

DISSERTATION

Titel der Dissertation

Studien zum wissenschaftlichen Determinismus vor der
Entstehung der Quantenmechanik.

Von der klassischen Mechanik zur Philosophie Edgar Zilsels.

Verfasserin

Mag. Donata Romizi

angestrebter akademischer Grad

Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 092 296

Dissertationsgebiet lt. Studienblatt:

Philosophie

Betreuer / Betreuerin:

Univ.-Prof. Mag. Dr. Friedrich Stadler

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
A. DIE NATUR UND DIE ENTSTEHUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUS	16
1. Die „Determinismensfamilie“: eine begriffliche Ausrüstung.....	17
Einleitung.....	17
a. Die „Komponenten“ des wissenschaftlichen Determinismus	22
b. Die „Festigkeit“ des wissenschaftlichen Determinismus	30
c. Die „Tiefe“ des wissenschaftlichen Determinismus	35
d. Die „Breite“ des wissenschaftlichen Determinismus	43
2. Der implizite wissenschaftliche Determinismus (IWD) im Rahmen der Entwicklung der klassischen Mechanik	51
a. Die <i>received opinion</i> über den wissenschaftlichen Determinismus: eine Kritik. Der implizite wissenschaftliche Determinismus (IWD).....	51
b. Die „Determinismen“ der frühen Neuzeit.....	63
c. Der mathematische Kern des impliziten wissenschaftlichen Determinismus	71
d. Die Untermauerung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus durch das klassische Wissenschaftsverständnis	80
Schluss	88
B. DIE SCHWÄCHUNG DES IMPLIZITEN WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUS IM 18. UND IM 19. JH.....	92
3. Die Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus in Bezug auf seine Tiefe: Die deterministische Welt als Vorstellung	93
Einleitung.....	93
a. Das Auftauchen der Frage nach der Begründung und nach der Realitätsbezogenheit der Mechanik und der erste Teil des Lösungsversuchs Kants	97
b. Die Verankerung der Gesetze der Mechanik in den menschlichen Erkenntnismodi, oder: wie Kant die Allgemeingültigkeit der Mechanik um den Preis eines Verlustes ihrer Realitätsbezogenheit begründet.....	114
c. Vom Anwendungsproblem zu einer nicht-realistischen Auffassung der Naturgesetze	122
Schluss	141
4. Die Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus in Bezug auf seine Festigkeit: das Eindringen der Wahrscheinlichkeit in die Wissenschaft im Laufe des 19. Jahrhunderts	145
Einleitung.....	145
a. Das trojanische Pferd: die Aufnahme probabilistischen Wissens in die Wissenschaft. Klassische Wahrscheinlichkeitsrechnung und Fehlertheorie	149
b. Adolphe Quetelet und der Streit um den statistischen Determinismus	161

c. Chaotische Einzelne, regelmäßige Kollektive: Frequentismus und statistische Mechanik	173
d. Die Wahrscheinlichkeit in der Physik und die Determinismusfrage im späten 19. Jh.	196

C. DIE *BREITE* DER DETERMINISMUSFRAGE: DIE ENTSTEHUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUSBEGRIFFS IM WELTANSCHAULICHEN KONTEXT (ca. 1860-1920)..... 208

5. „Verweltanschaulichung“ der Wissenschaft, „Verwissenschaftlichung“ der Weltanschauung: Wissenschaftler zwischen Naturphilosophie, Populärwissenschaft und Politik..... 209

Exkurs - Von Weltbildern zu Ideologien: Das Kontinuum der „Diskurse über die Welt“ im 19. Jh. und bis dem Ersten Weltkrieg	218

6. Die Entstehung des wissenschaftlichen Determinismusbegriffs im weltanschaulichen Kontext (zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts)..... 228

a. Die Physiologen	228
b. Mathematik, Philosophie, Religion	252
c. Voluntaristische Erkenntnistheorie und pragmatische Metaphysik.....	276

7. Indeterminismus des Verstandes, Determinismus des Willens. Die wissenschaftliche Determinismusfrage bei Edgar Zilsel (1891-1944)..... 298

a. Einleitung und Kontextualisierung: „Wiener Indeterminismus“	298
b. <i>Das Anwendungsproblem</i> (1916): frühe indeterministische Konzepte bei Edgar Zilsel	311
c. Die Wahrscheinlichkeit und ihre Anwendung in der Physik	326
d. Der Wille zur Rationalisierung: Indeterminismus, Politik, Gesellschaft.....	347

8. Zusammenfassung, Schlussbemerkungen, Ausblick..... 371

LITERATUR	385
Abstracts	417
Danksagung.....	422
<i>Curriculum vitae</i>.....	423

Einleitung

Die Arbeit an der vorliegenden Dissertation begann in dicht besiedelten Forschungsfeldern, betrat jedoch bald wissenschaftliches Niemandsland. Das Forschungsprojekt, aus dem die Arbeit entstanden ist, zielte auf eine Rekonstruktion des Dialogs zwischen Quantenphysikern und Wissenschaftsphilosophen des Wiener Kreises mit Bezug auf die berühmte indeterministische Wende, die angeblich im Rahmen der Entwicklung der Quantenmechanik vollgezogen wurde. Dieses historische Unternehmen hätte wiederum dem philosophischen Ziel dienen sollen, von dem Gesichtspunkt der Interaktion zwischen einer wissenschaftsphilosophischen und einer physikalischen Perspektive aus die eben genannte angebliche indeterministische Wende besser zu verstehen. Darüber hinaus versprach das charakteristische, einmalige gesellschaftliche und politische Engagement des Wiener Kreises im Wien der 1920er und 1930er Jahre, auch die ideologische und gesellschaftliche Dimension der Determinismusfrage ans Licht zu bringen. Bei dem rückblickenden Versuch aber, den Ursprung und die Natur des wissenschaftlichen Determinismus zu rekonstruieren, um die Determinismusfrage besser zu verstehen, habe ich die gut erforschten Themen der Entwicklung und Deutung der Quantenmechanik einerseits und der Wissenschaftsphilosophie des Wiener Kreises andererseits allmählich verlassen¹, um mich in eine neue Fragestellung zu vertiefen, die meines Wissens bis dato kaum Aufmerksamkeit gefunden hat: worin besteht eigentlich jener wissenschaftliche Determinismus, den die Entstehung der Quantenmechanik angeblich überwunden hat? Was ist mit diesem Konzept gemeint, wann und wie ist dieses

¹ Auch die Arbeit an der ursprünglichen Fragestellung hat aber einige Früchte gebracht: vgl. Romizi (2010), (2012a), (2012b), (2013a), und (2013b), die großteils aus einer entsprechenden internationalen Vortragstätigkeit entstanden sind. Der Forschung über den Wiener Kreis (sowie der Teilnahme an den Tätigkeiten des Instituts Wiener Kreis) verdanke ich nicht nur die „Entdeckung“ des Werks Edgar Zilsels, dem das letzte Kapitel vorliegender Arbeit gewidmet ist, sondern auch viele Impulse für die wissenschaftsphilosophische und erkenntnistheoretische Reflexion über die Determinismusfrage: der Ausmaß, in dem vor allem die Arbeiten Philipp Franks und Herbert Feigl über die Kausalität, die Ablehnung des Determinismus seitens Richard von Mises, und die intensive Beschäftigung Otto Neuraths mit der Statistik neben der Lektüre der Arbeiten Zilsels meine Betrachtung der Determinismusfrage beeinflusst haben, ist mir erst im Nachhinein bewusst geworden. Es ist schwierig, diesem allgemeinen Einfluss durch einzelne bibliographische Hinweise gerecht zu werden: allerdings kommen solche Hinweise im Laufe der vorliegenden Arbeit oft vor. Hier möchte ich kurz auf einige inhaltliche wichtige Punkte hinweisen: die Auseinandersetzung von Frank mit Cassirer (Frank 1949 [1938]) hat meine ungewöhnliche Überzeugung einer gewissen Kontinuität zwischen Kant und Mach *in Bezug auf die Determinismusfrage* gestärkt (außerdem bedeuten die Arbeiten Franks zur Kausalität eine wertvolle Bereicherung der Perspektive auf die Determinismusfrage: vgl. Frank 1907, 1928 und 1932). Der Beitrag von Mises zur ersten Tagung des Wiener Kreises in Prag (Mises 1930/31a) hat meine Überzeugung des wesentlich mathematischen Charakters des Determinismus mitgeprägt. Die „Notes on Causality“ von Feigl (1953) haben mich erstmals auf jene rationalistische Verflechtung zwischen Gründen und Ursachen aufmerksam gemacht, die ich dann historisch bestätigt gefunden habe. Die wissenschaftstheoretischen Überlegungen Neuraths über die Statistik und ihre Anwendung haben meine Aufmerksamkeit darauf gelenkt, wie die Überwindung des Determinismus einer Veränderung im Konzept der Wissenschaftlichkeit entspricht.

Konzept entstanden, worauf hat es sich bezogen? Was bedeutet seine Überwindung, hat sie wirklich erst mit der Entstehung der Quantenmechanik stattgefunden?

Über die Determinismusfrage gibt es eine *received opinion*, die eine ausführliche Erforschung solcher Fragen hemmt, indem sie eine Standardantwort liefert: Alle (mir bekannten) philosophischen und wissenschaftsphilosophischen Nachschlagwerke stimmen dahingehend überein, dass der wissenschaftliche Determinismus aus der Newtonschen Mechanik entsprang, dass er in der Laplaceschen Vorstellung einer allwissenden ‚Intelligenz‘ seinen aussagekräftigsten Ausdruck gefunden hat, und dass er durch die Entwicklung der Quantenmechanik überwunden wurde. Auf welchen Forschungsergebnissen basiert aber diese *received opinion*? Eine umfassende Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus existiert bis dato nicht. Einen Überblick über die Entwicklung des wissenschaftlichen Determinismus *vor* der Quantenmechanik bieten meines Wissens nur Cassirer (2004 [1937]), der seinen erkenntnistheoretischen Überlegungen bezüglich der Physik seiner Zeit einen historischen Rückblick auf die Determinismusfrage vorausgehen lässt; Hacking (1987a und 1990, Kap. 18), der die Entstehung des Determinismusbegriffs im wissenschaftlichen Sinne in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts dokumentiert hat; und schließlich der erste Band des großen kollektiven Werks *The Probabilistic Revolution*, der zusammen mit ein paar anderen Publikationen über dasselbe Thema aus den 1980er Jahren einen guten Einblick in die Verbreitung der Statistik vor allem im 19. Jh. geboten hat und somit suggeriert hat, dass eine „Erosion“ (der Ausdruck ist von Hacking, der auch zu dieser Forschung viel beigetragen hat) des wissenschaftlichen Determinismus wohl deutlich *vor* der Entstehung der Quantenmechanik stattgefunden hat².

Was insbesondere die Physik betrifft, gibt es auch Arbeiten, die klar gemacht haben, dass der angebliche Determinismus der „klassischen“ Physik schon zur Zeit der Entwicklung der statistischen Mechanik zumindest ins Wanken geraten ist³: offensichtlich ist diese Einsicht noch nicht wirklich in die *received opinion* über die Determinismusfrage eingedrungen⁴. Diese basiert maßgeblich auf einem extrem pauschalisierenden, einheitlichen Bild der der

² Vgl.: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987); Porter (1986); Hacking (1987a, 1987b, 1990); Gigerenzer *et al.* (1989);

³ Vgl. z. B. Brush (1976a; 1976b), Coen (2002; 2007), und Stöltzner (1999).

⁴ Man kann verschiedene Gründe dafür vermuten. Erstens waren sich die „Helden“ der molekularen und statistischen Deutung der Thermodynamik, Maxwell und Boltzmann, noch nicht ganz darüber klar, was die Bedeutung ihres neuen Ansatzes für die Determinismusfrage sein sollte (vgl. unten, §4.c und d), oder zumindest haben sie – im Gegensatz zu einigen Quantenphysikern – ihre Forschungsergebnisse nicht entschlossen unter dem Motto des „Endes einer deterministischen Epoche“ popularisiert. Ein weiterer Grund, weshalb die Bedeutung der statistischen Mechanik für die Determinismusfrage bisher eher unterbeleuchtet geblieben ist, kann sein, dass die wissenschaftsphilosophische Forschung über Thermodynamik und statistische Mechanik meistens das Thema des Zeitpfeiles, und nicht das des Determinismus, fokussiert.

Quantenmechanik vorangehenden Physik, sowie auf einer Vernachlässigung der vielfältigen und bedeutungsvollen erkenntnistheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Reflexionen, die zwischen der Neuzeit und dem Ende des 19. Jahrhunderts stattgefunden haben: jahrhundertlange Entwicklungen werden in der *received opinion* unter dem Label des wissenschaftlichen Determinismus vereinheitlicht, und die Frage nach dem Ursprung, den Bedeutungen und den Veränderungen dieses Konzepts in der langen Zeit zwischen der Neuzeit und den späten 1920er Jahren wird dadurch verdrängt.

Dabei erscheint eine Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus von der Entstehung der klassischen Mechanik bis zur Entstehung der Quantenmechanik umso untersuchungswürdiger, als die wenigen, von mir eben erwähnten ‚Puzzlestücke‘ dieser Geschichte mehrere ‚Rätsel‘ erblicken lassen, die v.a. bei einem Vergleich mit der *received opinion* sehr verblüffend sind: Wenn das Konzept des wissenschaftlichen Determinismus, wie sowohl Cassirer als auch Hacking behaupten, erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auftaucht, worin bestünde jener wissenschaftlicher Determinismus, den wir mit der klassischen Mechanik assoziieren? Und welchen Sinn hat dann die Behauptung, der wissenschaftliche Determinismus sei im Zusammenhang mit der Newtonschen Mechanik entstanden, die ja auf das Ende des 17. Jahrhunderts zurückgeht? Ist der wissenschaftliche Determinismus mit dem Mechanismus zu identifizieren, wie Hacking ohne weiteres annimmt? Ist er mit dem rationalistischen Weltbild der Neuzeit zu identifizieren, wie Cassirer suggeriert? Wie würde man dann aber die Tatsache erklären, dass gerade zwei Hauptvertreter des Mechanismus bzw. des Rationalismus, wie Descartes und Leibniz, zwei Gegner von Newton und von seiner angeblich deterministischen Mechanik gewesen sind? Wenn die Verbreitung des statistischen Ansatzes in der Wissenschaft eine Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus zu bedeuten hatte, warum entsteht der wissenschaftliche Determinismusbegriff gerade in der Zeit, in der die Statistik einen Höhepunkt erreicht (d.h. um die Mitte des 19. Jahrhunderts)? Und warum wird erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ein Konzept explizit, nämlich jenes des wissenschaftlichen Determinismus, das vermutlich schon seit dem Ende des 17. Jahrhunderts vorhanden sein soll?

Meine Arbeit wird natürlich nicht all diese Fragen ausreichend beantworten, und auch nicht die vielen anderen, die sich im Laufe meiner Forschung noch gestellt haben. Sie möchte in historischer Hinsicht nur signalisieren, dass der Bedarf einer ernsthaften Erforschung der wissenschaftlichen Determinismusfrage vor der Quantenmechanik besteht, und sie möchte zu dieser sowohl in historischer als auch in philosophischer Hinsicht beitragen.

Die Rekonstruktion der jahrhundertelangen Geschichte eines wissenschaftlichen Konzepts ist kein Unternehmen, das eine einzelne Person (ganz zu schweigen von einer einzelnen Dissertation) auch nur annähernd vollständig durchführen könnte. Trotzdem, und trotz der wissenschaftlichen ‚Gefahren‘, die daraus entstehen, habe ich mich schließlich entschieden, doch eine derart lange Zeit – von der Neuzeit bis zu den 1920er Jahren – zu untersuchen: ein wichtiger Grund dafür ist die Überzeugung, dass die historische Entwicklung eines Konzepts nicht als *histoire événementielle* betrachtet werden kann, sondern nur dann aufschlussreich wird, wenn sie in der zeitlichen Dimension der *longue durée* betrachtet wird⁵. Der wissenschaftliche Determinismus ist nicht plötzlich mit Newton oder mit seinen *Principia* entstanden, um dann mit Planck (bzw. mit der Entdeckung der Quanta) oder mit Heisenberg (bzw. mit der Formulierung der Unschärferrelation) zu verschwinden: es handelt sich um ein komplexes und vielseitiges Konzept, das eine ebenso komplexe und vielseitige Geschichte durchlaufen hat, die man auf keine Auflistung der angeblich entscheidenden Autoren, Werke oder Ereignisse reduzieren kann.

Im Gegensatz zu der *histoire événementielle* (und im Gegensatz zu den meisten Versionen der schon erwähnten *received opinion* über die Determinismusfrage) orientiert sich meine wissenschaftsphilosophisch interessierte Rekonstruktion der Entwicklungen des wissenschaftlichen Determinismus bewusst *nicht* hauptsächlich an großen Persönlichkeiten (mit der noch zu begründenden Ausnahme von Kant im Kap. 3) oder an angeblich entscheidenden Ereignissen oder Werken. So kommen z.B. in den Titeln der Kapitel und der Absätze kaum Namen von Wissenschaftlern oder Philosophen vor⁶, und die Betrachtung der verschiedenen Denker und Autoren ist völlig von der jeweils untersuchten, spezifischen Frage abhängig⁷. Allerdings muss die vorliegende Arbeit wegen der Betrachtung einer *longue durée* notwendigerweise (1) ‚stichprobenartig‘ vorgehen (insbesondere was die primären Quellen betrifft) und (2) weithin auch auf Sekundärliteratur beruhen (was insbesondere für das Kap. 2 gilt). Durch diese zwei methodologischen Kompromisse erhoffe ich mir, die Unmöglichkeit (in diesem Rahmen) jener „kollektiven Arbeit“ halbwegs zu kompensieren, die Braudel für

⁵ Vgl. den berühmten, schönen Aufsatz von Fernand Braudel, „Histoire et Sciences sociales: La longue durée“ (Braudel 1958).

⁶ Es liegt eine gewisse Ironie in der Tatsache, dass gerade Edgar Zilsel, der sich so sehr gegen den Persönlichkeitskult engagierte, in dieser Hinsicht eine Ausnahme bildet: meine Behandlung seines Werks ist jedenfalls hoffentlich sachlich und kritisch genug, um nicht als „Kult“ gelten zu müssen.

⁷ So habe ich z.B. entschieden, Autoren wie z.B. Fechner, Maxwell, Mach und Poincaré an unterschiedlichen Stellen, in verschiedenen Zusammenhängen zu erwähnen, statt die jeweilige gesamte Position in Bezug auf die Determinismusfrage ‚in einem Zug‘ zu rekonstruieren.

die interdisziplinäre Untersuchung sozialer, ökonomischer und kultureller Phänomene unter der Perspektive der *longue durée* als notwendig betrachtete⁸.

Somit sind wir beim Thema Interdisziplinarität angelangt, zu dem ich wieder auf die Anfangsphase meiner Überlegungen und Recherchen verweisen möchte, die im Rahmen des Initiativkollegs *Die Naturwissenschaften im historischen Kontext* begonnen wurden. Entsprechend der interdisziplinären und internationalen Ausrichtung des Programms⁹ trägt die vorliegende Arbeit noch die Spuren von drei Jahren intensiven Dialogs zwischen PhilosophInnen, HistorikerInnen und NaturwissenschaftlerInnen. Ein solcher interdisziplinärer Dialog, der meistens alles andere als reibungslos verläuft, hat aber den Vorteil (neben der Möglichkeit, Wissen von zunächst fremden Disziplinen zu erwerben), das Bewusstsein der eigenen Ansätze und Methoden und ihrer Grenzen durch den Vergleich mit den ‚fremden‘ zu erhöhen. Eine zusätzliche Bemühung ist dann vonnöten, wenn man auch noch über die Grenzen der eigenen Disziplin hinaus will, um ein interdisziplinäres Forschungsprojekt zu verfolgen. Die Schwierigkeiten, die mir die Betrachtung physikalischer Theorien bereitet hat, brauchen im Rahmen dieser Einleitung keine lange Erläuterung: es handelt sich einfach darum, dass eine Annäherung an naturwissenschaftliche Theorien, oder sogar eine Deutung ihrer Inhalte, ohne eine entsprechende Ausbildung oft an Grenzen stößt. Ich darf nur hoffen, dass meine Bemühungen in dem mir immer noch nicht völlig zugänglichen naturwissenschaftlichen Bereich (und insbesondere im Bereich der Physik) für die Zwecke der vorliegenden Arbeit hinreichend gewesen sind¹⁰. Eine der größten methodologischen Schwierigkeiten, denen ich begegnet bin, hat sich allerdings an der Schnittstelle zwischen Philosophie und Geschichte ergeben¹¹: es handelt sich um den Konflikt

⁸ Die französische *École des Annales*, zu der Braudel gehörte, wurde 1929 gegründet, d.h. im selben Jahr, in dem auch der Wiener Kreis in seinem „Manifest“ (Stadler Hrsg. 2012) die Wichtigkeit der kollektiven Arbeit hervorhob. In der heutigen akademischen Welt scheinen die Möglichkeiten einer solchen kollektiven Arbeit zunächst von neuen Medien gefördert zu werden; allerdings sind die prekären Arbeitsverhältnisse, der chronische Zeitmangel (samt Publikationsdruck) und die immer noch wachsende Spezialisierung als Bedingungen zu betrachten, die die Realisierung einer kollektiven Arbeit an interdisziplinären, von einer *longue durée* charakterisierten Fragen eher hindern.

⁹ Das Ziel dieses Doktoratsprogramms, an dem 2006 bis 2009 12 KollegiatInnen teilgenommen haben, war (laut der noch existierenden Homepage: <http://www.univie.ac.at/HPS/> - Stand: Juli 2013), „auf dem Fundament bereits vorhandener Kooperationen zwischen VertreterInnen mehrerer Naturwissenschaften und der Philosophie mit wissenschaftshistorisch arbeitenden HistorikerInnen eine inter- und transdisziplinäre Ausbildungsprogramm für DoktorandInnen zu schaffen, welches die Naturwissenschaften und Mathematik mit den Kultur- und Geisteswissenschaften auf dem Gebiet der ‚History and Philosophy of Science‘ in einem gemeinsamen Curriculum zusammenführt“.

¹⁰ Inwiefern WissenschaftsphilosophInnen eine zusätzliche Ausbildung im Bereich der von ihnen in Betracht gezogenen Wissenschaften benötigen würden, ist allerdings eine interessante Frage, die ich hier nur erwähnen möchte, die ich aber in diesem Rahmen nicht beantworten kann.

¹¹ Meine methodologische und inhaltliche Reflexionen an der Schnittstelle zwischen Geschichte und Philosophie – und insbesondere zwischen Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftsphilosophie – sind in hohem Maße von

zwischen dem philosophischen Gebot der logischen Präzision und dem Ziel der historischen Untersuchung eines Konzepts, jenes des wissenschaftlichen Determinismus, das sich im Laufe der Geschichte verändert und unterschiedliche Formen angenommen hat. Gerade am Anfang einer wissenschaftsphilosophischen Arbeit ist normalerweise in systematischer Hinsicht angebracht, das Forschungsobjekt der darauffolgenden Untersuchung – in diesem Fall den wissenschaftlichen Determinismus – mit einer gewissen logischen Schärfe zu definieren. Wenn man aber *eine* solche *genaue* Definition des Forschungsobjekts voraussetzt, tendiert dessen historische Dimension zu verschwinden. Je genauer die Formulierung des Konzeptes ist, desto unwahrscheinlicher wird es, dass genau diese Formulierung eine längere Geschichte – oder überhaupt eine Geschichte – hat. Logische Genauigkeit und historische Tiefe eines Konzepts scheinen umgekehrt proportional zu sein: je mehr man die Schärfe der Definition eines Konzepts erhöht, desto verschwindend kürzer wird seine Geschichte – und umgekehrt. Wenn man die Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus über Jahrhunderte (unter der Perspektive der *longue durée*) verfolgen will, muss man die Definition dieses Konzepts weithin offen und umfassend lassen. Die historische Auseinandersetzung mit einem Konzept ist eine Art heraklitischer Erfahrung, bei der man sich in etwas vertieft, was immer das gleiche ist und gleichzeitig immer etwas anderes.

Eine Versöhnung zwischen dem systematischen Gebot der logischen Präzision und dem Anspruch auf eine von der *longue durée* charakterisierte historische Perspektive habe ich im Kap. 1 versucht. Hier bespreche ich unterschiedliche Versionen und Bedingungen des Konzepts des wissenschaftlichen Determinismus, einerseits ohne die Vielfalt reduzieren zu wollen, andererseits aber mit differenzierendem Blick. In diesem Rahmen schlage ich ein neues, a-historisches und dreidimensionales ‚Messsystem‘ vor, das auch unabhängig von der Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus angewandt werden kann, um jede Formulierung des wissenschaftlichen Determinismus einzuordnen. Der begriffliche dreidimensionale Raum, der dadurch entsteht, umfasst mehr oder weniger alle Formulierungen des wissenschaftlichen Determinismus, die in der darauffolgenden Rekonstruktion der Geschichte dieses Konzepts vorkommen, und er sollte quasi als Maßstab dienen, die jeweilige historisch vorhandene Formulierung des Determinismus einzuordnen und zu reflektieren.

Die drei Dimensionen, die ich im ersten Kapitel definiere, sind die „Festigkeit“, die „Tiefe“ und die „Breite“. Die „Festigkeit“ bezieht sich auf den Grad der Notwendigkeit, mit dem bei dem jeweiligen Konzept des wissenschaftlichen Determinismus das Zustand eines physikalischen Systems die anderen „determiniert“. Nach meiner These ist der wissenschaftliche Determinismus im Wesentlichen ein mathematisches Konzept, und er sieht in seiner rein mathematischen Formulierung den maximalen Grad der Notwendigkeit vor: das Verhältnis zwischen den verschiedenen Zuständen entspricht einem deduktiven, a-temporalen Verhältnis der logischen Implikation. Diese Implikation gleicht einem Bikonditional und bedeutet – in der physikalischen Deutung – die Reversibilität physikalischer Phänomene. Wenn man stattdessen das determinierende Verhältnis nach dem Muster eines induktiv gewonnenen Kausalitätsverhältnisses deutet, spielt die zeitliche Dimension eine Rolle, und die „Festigkeit“ des determinierenden Verhältnisses wird insofern niedriger, als die Induktion bekannterweise keine absolute Gültigkeit und Gewissheit begründen kann. Schließlich hat es im Laufe der Geschichte auch einen *statistischen* Determinismus gegeben, bei dem das determinierende Verhältnis bloß einer statistischen Korrelation entsprach, und daher die schwächstmögliche Version des Determinismus (was die Festigkeit betrifft) darstellt. Diese Version des wissenschaftlichen Determinismus kann leicht in den Indeterminismus umkippen, wenn man bei der Deutung der statistischen Gesetzmäßigkeit statt ihrer normativen (determinierenden) Kraft den Grad an Undeterminiertheit betont, den diese zulässt. Dieses „Umkippen“ hat im Laufe der Geschichte (vor allem im 19. Jh.) tatsächlich stattgefunden, wie die Entwicklungen der Determinismusfrage bezeugen, die ich im Kap. 4 rekonstruiert habe.

Die Dimension der „Tiefe“ des wissenschaftlichen Determinismus soll darauf hinweisen, wie stark die ontologische Verpflichtung der jeweiligen Version des Determinismus sei. Hier ersetze ich die traditionelle Unterscheidung zwischen einem ontologischen und einem epistemischen Determinismus mit einer differenzierteren Klassifizierung. Ich unterscheide zwischen einem feststellenden, einem pragmatischen, einem normativen und einem realistischen Sinn, in dem der wissenschaftliche Determinismus formuliert werden kann, je nachdem, ob man ihn im Bezug auf vorhandene empirische Ergebnisse, auf eine wissenschaftliche Heuristik, auf ein Idealbild der Wissenschaftlichkeit, oder auf die Realität an sich formuliert.

Schließlich unterscheide ich zwischen verschiedenen „Breiten“ des wissenschaftlichen Determinismus, je nach der Ordnungsgröße des Objekts, von dem der Charakter der (Vorher)bestimmtheit prädiiziert wird: normalerweise versteht man unter wissenschaftlichem Determinismus die Behauptung der Vorherbestimmtheit des Verlaufs der ganzen *Welt*, aber

vor allem in der neueren Literatur ist auch z.B. von deterministischen *Systemen* oder von deterministischen *Gesetzen*, oder *Beschreibungen* die Rede. In dem Fall von (wissenschaftlichen!) deterministischen Weltbildern, die auch eine ethische Komponente implizieren (typischerweise wenn das Problem des freien Willens in Betracht gezogen wird), schlage ich vor, von deterministischen *Weltanschauungen* zu sprechen. Auch die Reflexion dieser dritten Dimension der „Breite“ lässt übrigens erahnen, wie die übliche Gegenüberstellung „Determinismus vs. Indeterminismus“ alles andere als eine ‚saubere‘ und exhaustive ist: mit Bezug auf physikalische Systeme, Theorien, Gesetze oder Beschreibungen ist die Alternative zu „deterministisch“ meistens nicht „indeterministisch“, sondern „statistisch“, „stochastisch“ oder auch „chaotisch“ (besonders kompliziert wird eine Einordnung des modernen Konzepts von „deterministischem Chaos“). Dies suggeriert, dass man nicht jede Ablehnung des Determinismus gleich als „Indeterminismus“ bezeichnen sollte, sondern eine weitere Reflexion und Begründung meistens vonnöten ist, wenn man ein nicht-deterministisches Konzept einordnen möchte.

Die genannten Dimensionen der „Tiefe“, „Festigkeit“ und „Breite“ strukturieren meine Darstellung der Entwicklung der Determinismusfrage in ihren wissenschaftsphilosophisch relevanten Aspekten von der Neuzeit bis in die 1920er Jahre. Als Basis dieser Überlegungen wird im Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit der historische Ursprung des wissenschaftlichen Determinismus beleuchtet, wobei drei Punkte von besonderem Interesse sind: Erstens soll die *received opinion* über die Determinismusfrage kritisch hinterfragt werden, um ihre Mängel deutlich zu machen; zweitens wird die lange Abwesenheit des wissenschaftlichen Determinismus als explizite und bewusste Lehre durch meine Prägung des Ausdrucks „impliziter wissenschaftlicher Determinismus“ hervorgehoben; und drittens soll der Kern jenes Konzepts identifiziert werden, das wir rückblickend als wissenschaftlichen Determinismus betrachten. Dabei versuche ich, sehr wohl *post hoc* und aus der dritten-Person-Perspektive, einerseits diesen Kern von anderen ähnlichen Konzepten zu unterscheiden, andererseits den Zusammenhang zwischen einigen dieser Konzepte (vor allem dem Mechanismus, dem Satz vom zureichenden Grund und dem klassischen Wissenschaftsverständnis) einerseits und dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus andererseits zu beleuchten.

Durch die darauffolgenden zwei Kapitel möchte ich anhand einer historischen Rekonstruktion von relevanten Entwicklungen in den Wissenschaften und in der wissenschaftsphilosophischen Reflexion bis dem späten 19. Jh. behaupten, dass das ‚anonyme‘ Konzept des wissenschaftlichen Determinismus schon in der Zeit vor seiner

expliziten Formulierung einer Schwächung unterzogen worden ist, und zwar sowohl in Bezug auf seine „Tiefe“, als auch in Bezug auf seine „Festigkeit“.

Den ersten Aspekt ziehe ich zunächst im Kap. 3 in Betracht, um ihn dann aber in den darauffolgenden Kapiteln wieder mehrmals zu erwähnen. Das Kap. 3 fokussiert vor allem auf die Erkenntnistheorie und Metaphysik der Naturwissenschaft von Immanuel Kant: das verhältnismäßig große Gewicht, das diesem im Rahmen des Kapitels zukommt, hängt damit zusammen, dass ich eine ungewöhnliche Deutung der Position Kants in Bezug auf die Determinismusfrage vorschlage, die also ausführlich zu begründen ist - wobei eine solche Begründung von der Tatsache erschwert ist, dass ein Konsensus über die Interpretation wichtiger Aspekte der Erkenntnistheorie und Naturphilosophie Kants noch nicht erreicht ist¹². Meine These betrifft aber nur die Determinismusfrage und lautet: obwohl Kant meistens als Vertreter einer Art wissenschaftlichen Determinismus betrachtet wird, hat er mit seiner Philosophie eher zu einer Schwächung des (noch impliziten) wissenschaftlichen Determinismus beigetragen. Ich analysiere insbesondere seine Zurückführung der Gesetze der klassischen Mechanik auf die menschlichen Erkenntnismodi und deute diese als Relativierung ihrer Gültigkeit. Für die Geschichte der Determinismusfrage bedeutet dies eine einflussreiche ‚Ent-ontologisierung‘ des (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus, die durch weitere Relativierungen des apriorischen Begriffs der Kausalität bzw. der Gesetzmäßigkeit bis überhaupt zur Überwindung ihres apriorischen Charakters im 19. Jh. vervollständigt wird. Wenn man den Grad an ‚Ent-ontologisierung‘ wissenschaftlicher Gesetze und Theorien in Betracht zieht, der z.B. durch die Auffassung der Gesetze als Funktionen und der Theorien als Bilder oder Modelle schon im 19. Jh. erreicht wurde, kann man sich übrigens wundern, dass die späteren Diskussionen um die Deutung der Quantenmechanik vor allem seitens der Physiker (und der Popularisierer der Quantenmechanik, unter denen die Quantenphysiker selbst waren) oft als Diskussionen über die Beschaffenheit der Realität an sich geführt wurden.

Im Kap. 4 verfolge und vertiefe ich die Spur, die vor allem die Literatur der 1980er Jahre über die *probabilistic revolution* hinterlassen hat: die Verbreitung des statistischen Denkens und der statistischen Methoden in den Wissenschaften bedeutete schon im 19. Jh. eine zusätzliche Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus, und zwar eine, die die „Festigkeit“ der von ihm behaupteten determinierenden Verhältnisse betraf. Dieses Kapitel

¹² Vgl. z.B. die neulich erschienene Nummer 43 (2012) der *Studies in History and Philosophy of Science*, in der die Thesen des gegenwärtig vielleicht wichtigsten Interpreten der Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie Kants, Michael Friedmans, heftig diskutiert werden (Suárez – Uebel (Hrsg. 2012)).

erweitert den Blick um die Sozialwissenschaften und hebt die Doppelsinnigkeit der statistischen Gesetzmäßigkeit hervor: diese wurde im Bereich der Sozialwissenschaften mit unterschiedlichen argumentativen Zwecken und Bewertungen oft als statistischen *Determinismus* gedeutet, während die Bedeutung, die ihr kurz darauf durch die molekulare Deutung der Thermodynamik in der Physik zukam, eher im Sinne einer *Infragestellung* des Determinismus interpretiert wurde. Die Doppeldeutigkeit der statistischen Gesetzmäßigkeit wird auch von einer neuen, ab der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelten Auffassung der Wahrscheinlichkeit widergespiegelt: diese, die später als Frequentismus bezeichnet wird, liefert das Bild von Gesetzen, die sich aus zufälligen Ereignissen herauskristallisieren, so dass das Zufällige sogar als Bedingung der Gesetzmäßigkeit erscheint. Die zwei letzten Absätze des Kapitels 4 fokussieren auf die Rolle der statistischen Gesetzmäßigkeit in der molekularen Deutung der Thermodynamik sowie in der probabilistischen Deutung des Zweiten Hauptsatzes: inwiefern diese Entwicklungen schon aus der damaligen Perspektive der Physiker eine Überwindung des Determinismus in der Physik bedeuteten, ist eine Frage, zu deren Beantwortung ich nur ansatzweise beitragen kann. Dass die Bedeutung der statistischen Ausarbeitung der Thermodynamik für die Determinismusfrage groß gewesen ist, und dass sie im Sinne einer Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus gewirkt hat, geht aber auch aus dem Kap. 7 hervor.

Trotz der wissenschaftlichen und wissenschaftsphilosophischen Entwicklungen, die das implizite Konzept des wissenschaftlichen Determinismus vor allem im Laufe des 19. Jahrhunderts schon geschwächt hatten, tauchte der wissenschaftliche Determinismusbegriff gerade in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf – und zwar sogar mit Anspruch auf die maximale „Breite“: als Weltbild oder als Weltanschauung. Dies haben schon Cassirer und Hacking behauptet, Hacking hat es auch mit kurzen Hinweisen auf verschiedene Autoren dokumentiert. Die Frage, auf die sie aber nicht eingegangen sind, und die sich anhand der erwähnten Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus schon vor seinem Explizit-Werden noch dringlicher stellt, ist, warum der wissenschaftliche Determinismus gerade in dieser Zeit ein explizites, identifizierbares Konzept geworden ist, und in welchem Rahmen. Wenn man die von Cassirer und Hacking kurz betrachteten Autoren und Aufsätze ausführlicher analysiert, wenn man außerdem die Diskussionen rekonstruiert, zu denen sie beitrugen, wenn man schließlich versucht, den entsprechenden historischen, gesellschaftlichen, und kulturellen Kontext miteinzubeziehen, fällt folgendes auf: der Begriff des wissenschaftlichen Determinismus tauchte zwar in sehr unterschiedlichen Debatten und Kontexten auf, war aber in allen Bereichen durch den Charakter der Öffentlichkeit

gekennzeichnet. Während die in den Kap. 3 und 4 betrachteten Entwicklungen eine Angelegenheit einer kleinen Gruppe der Gelehrten geblieben waren, wurde der wissenschaftliche Determinismus im 19. Jh. meistens anlässlich öffentlicher Vorträge oder populärwissenschaftlicher Arbeiten vertreten und in diesem Rahmen zum ersten Mal ausdrücklich so bezeichnet. Es gibt sogar Fälle von Wissenschaftlern (wie z.B. Helmholtz oder Ostwald), die sich als ‚Fachmänner‘ der Schwachpunkte des wissenschaftlichen Determinismus durchaus bewusst waren, die aber vor der Öffentlichkeit unterschiedliche Arten des wissenschaftlichen Determinismus vertraten. Im Rahmen dieser öffentlichen Diskussionen, die ich im Kap. 6 rekonstruiere, wurde der wissenschaftliche Determinismus oft heftig angefochten. Das Bestritten-Werden und das Explizit-Werden dieses Konzepts interpretiere ich als zwei Seiten derselben Medaille: indem der wissenschaftliche Determinismus hinterfragt wurde, wurde er mit einer bestimmten Position identifiziert und aus der Namenlosigkeit herausgezogen; dies wiederum machte ihn als Angriffsziel sichtbarer. Im Rahmen der Kontroversen um den wissenschaftlichen Determinismus, die ich im Kap. 6 schildere, erscheint die Determinismusfrage oft auch als Stellvertreter anderer gesellschaftlicher und manchmal sogar politischer Fragen: für oder gegen den Determinismus zu sein konnte z.B. bedeuten, für oder gegen die Annahme eines freien Willens und die damit verbundene Eigen-Verantwortung des Menschen, für oder gegen die Kirche bzw. den religiösen Glauben, für oder gegen die Wissenschaft zu sein. Der Wissenschaft selbst kam ab der Mitte des 19. Jahrhunderts eine gesellschaftliche und ideologische oder sogar politische Bedeutung zu: mal wurde sie als Konkurrentin der Religion empfunden, mal wurde sie als Motor des Fortschritts zelebriert, mal wurde die „wissenschaftliche Weltanschauung“ als Bedrohung der Anerkennung der menschlichen Freiheit zurückgewiesen. Manche Aspekte der Verflechtung zwischen wissenschaftlichen Weltbildern, Weltanschauungen und Ideologien ziehe ich im Kap. 5 in Betracht, das somit als eine Kontextualisierung des Kapitels 6 zu sehen ist: eben wegen dieser Verflechtungen konnten sich Naturwissenschaftler, Mathematiker und Philosophen als *public men* an den Kontroversen um die Determinismusfrage beteiligen, deren Bedeutung weit über die innenphysikalischen Aspekte hinaus ging.

Im letzten Kapitel erlaubt mir schließlich die Betrachtung des Umgangs mit der Determinismusfrage in Österreich in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts und die Reflexion der Rolle der Determinismusfrage in den Werken Edgar Zilsels eine Zusammenführung der bisher dargestellten Entwicklungen. Außerdem kann dadurch ein

Beitrag zur gegenwärtig als dürftig zu bezeichnenden Forschungslage zu Edgar Zilsel¹³ geleistet werden. Jüngst haben vor allem Michael Stöltzner (1999; 2003b) und Deborah Coen (2007) die These vertreten, dass Formen des Indeterminismus schon vor der Entstehung der Quantenmechanik in Österreich präsent gewesen sind, wobei Stöltzner sogar den einflussreichen Ausdruck „Wiener Indeterminismus“ geprägt hat. Während einerseits die von mir in den Kapiteln 3 bis 6 betrachteten Entwicklungen, die auf internationaler Ebene stattfanden, den spezifisch österreichischen Charakter der Überwindung des Determinismus stark relativieren, finde ich andererseits die Forschungsergebnisse von Stöltzner und Coen insbesondere in zweierlei Hinsicht sehr relevant: erstens haben sie nicht-deterministische bis indeterministische Züge im Denken einer ganzen Reihe österreichischer Wissenschaftler und Philosophen ans Licht gebracht und in die entsprechenden historischen, gesellschaftlichen, philosophischen und wissenschaftsphilosophischen Zusammenhänge eingebettet. Somit haben sie auch einen sehr wertvollen Beitrag zur Geschichte der Determinismusfrage vor der Entstehung der Quantenmechanik geleistet, die m. E. insgesamt noch ein *desideratum* ist. Zweitens haben sie jene Gleichsetzung zwischen Indeterminismus und Irrationalismus gebrochen, die die einflussreiche, so genannte „Forman These“ (Forman 1971) suggeriert hatte.

Gegen eine solche Gleichsetzung spricht auch meine Rekonstruktion der Auseinandersetzung Zilsels mit der Determinismusfrage: In der Philosophie Zilsels kommen alle Formen der Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus zur Geltung, die ich in den vorangehenden Kapiteln schildere. Seine Auffassung der Gesetzmäßigkeit ist insofern ‚ent-ontologisierend‘, als er diese als Produkt einer rationalisierenden Tätigkeit des Erkenntnissubjekts betrachtet, zudem einer Tätigkeit, die prinzipiell nie vollendet werden kann (hier sieht man übrigens, wie ein kantischer Einfluss zu einer Überwindung des wissenschaftlichen Determinismus im realistischen Sinne beitragen kann). Was die „Festigkeit“ der Gesetzmäßigkeit betrifft, wird Zilsel von seiner intensiven Beschäftigung mit der Wahrscheinlichkeitstheorie und mit der Statistik sowie mit ihrer Anwendung in der statistischen Mechanik zu einem ‚statistischen Weltbild‘ geführt. In diesem Weltbild

¹³ Nachdem Zilsel lange fast nur mit Bezug auf die sogenannte „Zilsel-These“ über die Entstehung der modernen Wissenschaft (Zilsel 1976; 2003) in Erwägung gezogen worden ist (mit den wichtigen Ausnahmen von Dvořák (1981; 1990; 1993) und Haller - Stadler (Hrsg. 1993)), hat sich die Forschung zu seinem Werk in den letzten Jahren auch anderen Aspekten seines Denkens gewidmet: vgl. die Aufsätze von Lenhard – Krohn (2003), Nemeth (1997; 2011) und Wulz (2011; 2012). Diese kurze Auflistung deckt aber ziemlich alle relevante Arbeiten zu Zilsel in der Sekundärliteratur: der Vielfältigkeit des Werks dieses Denkers muss die Forschung noch gerecht werden. Ein neuer, von Elisabeth Nemeth und Monika Wulz herausgegebener Band über die Philosophie Zilsels soll bald diesem Forschungsbedarf entgegenkommen.

kristallisieren sich die Naturgesetze aus zufälligen Ereignissen und höchst unterschiedlichen Individuen als bloße Durchschnittsgesetze heraus. Die Identifizierung von Kausalverhältnissen kann sich somit nur auf „Partialursachen“ beziehen, während sich schließlich eine große „Weltunbekannte“ als „irrationaler Rest“ unsrer Kausalforschung ewig entzieht.

Trotz all dieser in seiner Philosophie präsenten indeterministischen Konzepte kann Zilsel mit Sicherheit nicht als Vertreter eines Irrationalismus betrachtet werden – ganz im Gegenteil. Soweit die Determinismusfrage auch in Österreich eine öffentliche und ideologische Komponente zeigte, engagierte sich Zilsel vor allem als Sozialwissenschaftler und als Marxist (*sui generis*) aktiv und entschlossen für die Wertschätzung und Anwendung des kausalen Denkens, und zwar nicht nur in den Naturwissenschaften, sondern auch in den Geistes- und Sozialwissenschaften. In dieser Hinsicht teilte er die „wissenschaftliche Weltauffassung“ und das einheitliche Erkenntnisideal des Wiener Kreises, sowie die Bemühungen vor allem des sogenannten „linken Flügels“ des Wiener Kreises um eine „Einheitswissenschaft“. Eine einheitliche Betrachtung der Natur- und der Sozialwissenschaften basierte allerdings zu diesem Zeitpunkt schon auf einer Auffassung der Wissenschaftlichkeit, die den klassischen wissenschaftlichen Determinismus auch unabhängig von der Quantenmechanik überwunden hatte.

A. DIE NATUR UND DIE ENTSTEHUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUS

Die Begriffe haben nämlich ebenso wie die Individuen ihre Geschichte und vermögen es ebenso wenig wie diese der Gewalt der Zeit zu widerstehen, aber bei alledem und mit alledem behalten sie gleichwohl eine Art Heimweh nach ihrer Geburtsstätte.

(Kierkegaard 1961 [1841], S. 7)

1. Die „Determinismensfamilie“: eine begriffliche Ausrüstung

Einleitung

Würde man nun eher gar nichts mit einem Begriffe anfangen können, als bis man ihn definiert hätte, so würde es gar schlecht mit allem Philosophieren gehen¹⁴.

„Aber ist ein verschwommener Begriff überhaupt ein *Begriff*?“ – Ist eine unscharfe Photographie überhaupt ein Bild eines Menschen? Ja, kann man ein unscharfes Bild immer mit Vorteil durch ein scharfes ersetzen? Ist das unscharfe nicht oft gerade das, was wir brauchen?¹⁵

Wir sehen ein kompliziertes Netz von Ähnlichkeiten, die einander übergreifen und kreuzen. Ähnlichkeiten im Großen und Kleinen. Ich kann ~~Ähnlichkeiten~~ Ähnlichkeiten nicht besser charakterisieren als durch das Wort ‚Familienähnlichkeiten‘; denn so übergreifen und kreuzen sich die verschiedenen Ähnlichkeiten, die zwischen den Gliedern einer Familie bestehen.¹⁶

Dieses Kapitel ist hauptsächlich einer systematischen Analyse der Idee des *Determinismus* gewidmet: es soll eine begriffliche ‚Ausrüstung‘ schaffen, auf die man sich im Laufe der Arbeit immer wieder zurückbeziehen kann.

Die meisten modernen Versuche einer Auseinandersetzung mit dem Thema des Determinismus weisen sofort darauf hin, wie komplex und unklar sich der Begriff zeigt¹⁷. Für die Komplexität und die Undeutlichkeit, die die Determinismusfrage so schwer fassbar machen, kann man verschiedene Gründe nennen, von denen viele gerade auch zeigen, warum eine Untersuchung dieser Frage interessant und fruchtbar sein kann:

(1) Erstens, das Problem des Determinismus taucht schon *seit Jahrtausenden* (man denke z. B. an die Debatte um den Fatalismus zu der Zeit der Stoiker) *in den verschiedensten Gebieten* der Erkenntnis immer wieder auf. Hinzuweisen ist hierbei aber darauf, dass diese Aussage erst im historischen Rückblick entsteht, im Zuge dessen heute verschiedene Fragen als Versionen

¹⁴ Kant (1998 [1787²]), S. 778, Fußnote 1.

¹⁵ Wittgenstein (1990b), S. 280.

¹⁶ Wittgenstein (1990b), S. 278.

¹⁷ Vgl. z.B.: Warnock – Strawson – Thomson (1969), S. 248: “‘Determinism’ has meant so many different things to different people that perhaps it will be better to avoid asking straight out what it is. We should only find ourselves with a long list of not very clear theses. A list of that sort would be an interesting place to start a discussion from, but compiling the list and explaining the items would leave us no time for discussion of it”. Montague (1974), S. 326: “Imprecision concerning the notion of determinism, besides being traditional, continues to provide an amazingly ample source of philosophic confusion”. Earman (1982), S. 1: “Determinism is a perennial topic of philosophical discussion. Very little acquaintance with the philosophical literature is needed to reveal the Tower of Babel character of the discussion”. Vgl. auch: Stegmüller (1969), S. 466-67; Butterfield, J. (1998); Hoefer (2003), “Introduction”; Campbell – O’ Rourke – Shier (Hrgs. 2004), S. 7.

eines einzigen Problems betrachtet werden: eigentlich erscheint das *Wort* „Determinismus“ erst im 18. Jahrhundert¹⁸ und das Konzept eines wissenschaftlichen Determinismus nach der Mitte des 19. Jahrhunderts - wie im Laufe vorliegender Arbeit weiter geklärt werden soll.

(2) Die zeitliche und ‚räumliche‘ (im Raum der verschiedensten Disziplinen) Verbreitung der Determinismusfrage ist leicht erkennbar. Viel weniger Beachtung erfährt die Tatsache, dass die Determinismusfrage eine *starke ‚emotionale‘ Komponente* hat¹⁹, die z. B. dazu beitragen kann, dass einzelne Aussagen über die (Un)vorhersagbarkeit einer beschränkten Menge wissenschaftlicher Forschungsobjekte bzw. Systeme sehr leicht zu einer ganzen (in)deterministischen Weltanschauung werden können: So sieht man von den Differentialgleichungen ausgehend den freien Willen bedroht, oder man schließt aus der Quantenmechanik die Existenz des ‚reinen‘ oder ‚absoluten‘ Zufalls. Diese emotionale Komponente spielt eine wichtige Rolle, wenn die Determinismusfrage im Rahmen der Popularisierung wissenschaftlicher Theorien besprochen wird – wie wir im Teil C vorliegender Arbeit sehen werden. Man hat in manchen Fällen fast den Eindruck, dass der (In)determinismus *die Form* ist, in der einige wissenschaftliche Theorien popularisiert werden²⁰.

Heutzutage wird die Determinismusfrage als interdisziplinäres und überaus komplexes Problem aufgefasst.²¹ Man kann verschiedene Formen des Determinismus unterscheiden, z. B. einen wissenschaftlichen Determinismus, einen logischen Determinismus, einen ethischen Determinismus, einen wirtschaftlichen Determinismus, einen politischen Determinismus... Sobel (1998) hat neunzig (!) Varianten des Determinismus identifiziert²².

Die gegenwärtige Debatte konzentriert sich auf den wissenschaftlichen Determinismus und auf den ethischen Determinismus oder das Problem des freien Willens, wobei die angeblichen

¹⁸ Vgl. Hacking (1983), S. 457.

¹⁹ Solche emotionalen Implikationen sind z. B. in dem Klassiker von Popper über den (In)determinismus (Popper 1982) offensichtlich, in dem eine leidenschaftliche Verteidigung des Indeterminismus durchgeführt wird, vor allem um die menschliche Kreativität zu ‚retten‘: “Outstanding among the reasons for my conviction is the intuitive argument ... that the creation of a new work, such as Mozart’s G minor symphony, cannot be predicted, in all its details, by a physicist, or physiologist, who studies in detail Mozart’s body – especially his brain – and his physical environment” (Popper 1982, S. 41).

²⁰ Das ist z. B. der Fall, wenn man die Popularisierung der Quantenmechanik in den Zeitungen der 20er und 30er Jahren betrachtet: siehe Ratzer (2002, S. 171), die anschließend an ihre Analyse schreibt: „Ohne Zweifel war es die Nachricht vom ‚Ende jeglicher Naturgesetzlichkeit im klassischen – deterministischen Sinne‘, die die Popularisierer und Vulgarisierer der Quantenmechanik am nachhaltigsten beschäftigte“.

²¹ Bezüglich insbesondere des interdisziplinären Charakters vgl. z. B. Atmanspacher – Bishop (Hrsg.) (2002). Der hohe Grad an Komplexität ist aus einem hauptsächlich philosophischen Standpunkt in Dowe – Noordhof (2004) offensichtlich.

²² Man kann aber die Sache umgekehrt betrachten, wie eine Anekdote bei Hacking (1983, S. 457) zeigt: „J.L. Austin was once asked, ‘There is more than one distinct doctrine of determinism, do you not agree, Professor Austin?’ . ‘No’, he answered tartly, ‘less than one’“.

Folgen des ersteren für den zweiten besprochen werden²³. Ich werde später versuchen, eine Definition beider Formen des Determinismus zu liefern. Zunächst möchte ich aber kurz die Aufmerksamkeit auf die Verbindung zwischen Wissenschaft und Ethik lenken, die diese aktuellen Debatten implizieren. Es handelt sich dabei um ein weiteres Merkmal des schon erwähnten interdisziplinären Charakters der Determinismusfrage, von dem ich an dieser Stelle einen Aspekt kurz betonen möchte: wie die Frage des (In)determinismus die Grenzen zwischen den Naturwissenschaften und den Geisteswissenschaften überquert. Die Determinismusfrage ist nicht bloß ein Problem, das Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften gemeinsam haben: Sie betrifft gerade die *Natur dieser Unterscheidung*. Denn eine wichtige Voraussetzung der Differenzierung zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften ist oft (gewesen), dass man zwei Kategorien von Forschungsobjekten unterscheiden kann: diejenigen, die strengen Gesetzen gehorchen, und diejenigen, die ‚frei‘ sind. Diejenigen, die man (kausal) erklären kann, und diejenigen, die man ‚nur‘ verstehen kann und soll. Das Reich der Natur und das Reich der Menschen (wobei dem Reich des nicht-menschlichen Lebens eine sehr umstrittene Zwischenstellung zukommt). Das ‚Determinierte‘ und das ‚Undeterminierte‘. Diese Grenzen in Frage zu stellen – was die Debatten über die Determinismusfrage oft machen – ist weitreichender, als die bloße Abhandlung eines interdisziplinären Problems.

(3) Die Determinismusfrage hat also viele Menschen zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Erkenntnisgebieten rational und emotional beschäftigt und hat sich allein schon wegen ihrer vielfältigen Präsenz als an sich interessant erwiesen. Darüber hinaus erscheint eine Auseinandersetzung mit ihr aber auch in heuristischer Hinsicht als vielversprechend in *Bezug auf andere wichtige Themen*, wie die Beziehung und die Grenzen zwischen verschiedenen Disziplinen, insbesondere zwischen Naturwissenschaften und Geisteswissenschaften, und die Popularisierung der Wissenschaft. Ermöglicht wird dies genau durch jene Komplexität und Undeutlichkeit, die den Logiker nerven und den Kulturhistoriker begeistern können.

Ich möchte aber hier das in einem aktuellen, berühmten *Kompendium Kulturgeschichte* wiedergegebene²⁴ schöne Zitat aus Nietzsche – „Definierbar ist nur das, was keine Geschichte hat“ – nicht benutzen, um mich der Aufgabe zu entziehen, die Determinismusfrage präziser zu definieren. Obwohl nämlich die logische Präzision und die historische Komplexität eines

²³ Viele der aktuellsten Beiträge befinden sich in Kane (Hrsg. 2002) und Campbell – O’ Rourke – Shier (Hrsg. 2004). Siehe auch Esfeld (2000).

²⁴ Daniel (2001), S. 9.

Problems *prima facie* den zueinander konjugierten Größen der Heisenbergs Unschärferelationen ähneln - je mehr logische Präzision wir schaffen, desto mehr verlieren wir von der historischen Komplexität und umgekehrt - möchte ich die Hoffnung hegen, dass eine systematische und eine historische Perspektive nicht nur integrierbar sind, sondern auch füreinander nützlich sein können. Die vorliegende Arbeit soll also einen Versuch in diese Richtung darstellen.

Einerseits beruht sie nämlich auf der historistischen Annahme, dass philosophisch-wissenschaftliche Fragen durch eine historische Untersuchung der Kontexte ihrer Formulierung besser verstanden werden können.

Andererseits werde ich eine systematische Betrachtungsweise nie beiseitelassen, weil ich der Meinung bin, dass die historische Untersuchung davon sehr profitieren kann. Nicht nur darum, weil eine bestimmte Begriffsklarheit natürlich auch bei historischen Rekonstruktionen wertvoll ist, sondern auch aus einigen weiteren Gründen, die ich im Folgenden kurz darlegen möchte.

(i) Ich bin der Meinung – wenn es auch nach einem Paradoxon klingt –, dass die *historische* Analyse eines Problems bzw. eines Begriffs immer eine systematische, sogar *unhistorische* Perspektive in einem gewissen Ausmaß voraussetzt. Denn eine notwendige Bedingung einer solchen Geschichte ist, dass es einen Gegenstand (d. h. das Problem oder den Begriff) dieser Geschichte *überhaupt gibt*, der immer als ‚derselbe‘ anerkannt werden kann, während man seine historische Änderungen untersucht. Keine Veränderung kann identifiziert werden, ohne einen Gegenstand dieser Veränderung festzulegen, der im Diskurs immer derselbe bleibt, der also dem Fluss seiner Geschichte gewissermaßen entzogen wird²⁵.

Je detaillierter und historisch ‚treuer‘ die Analyse eines Problems vorgenommen wird, desto mehr erscheinen seine einzelnen Formulierungen als *verschiedene* Probleme, so dass der Gegenstand der Geschichte am Ende verloren geht, und mit ihm die Möglichkeit seiner Geschichte selbst zu erfassen. Die Determinismusfrage wurde in der Vergangenheit auf die verschiedensten Weisen formuliert, und jede Formulierung ist wie ein Knoten in einem spezifischen Begriffsnetzwerk, in dem sie von den (expliziten oder impliziten) Definitionen anderer Begriffe (z. B. Kausalität, Realität, Raum, Zeit, Zustand, Funktion, Wissenschaft usw.) jeweils abhängt. Daher würde eine detaillierte, ausschließlich historische Untersuchung jeder dieser Formulierungen die Determinismusfrage in viele verschiedene (weil sie

²⁵ Vgl. die heraklitische Anspielung Waismanns in seinem „How I see Philosophy“ (1956): „A whole chapter might be written on the fate of questions, their curious adventures and transformations – how they change into others and in the process remain, and yet do not remain, the same“ (in: Waismann 1968, S. 15)

verschiedenen Begriffskonstellationen angehören) Fragen zersplittern, die nicht mehr als einheitliche Geschichte erscheinen würden. Damit eine solche einheitliche Geschichte überhaupt möglich wird, muss man notwendigerweise eine ‚extrahistorische‘ Determinismusfrage als Gegenstand der Geschichte behalten.

In diesem Sinne glaube ich, dass die Möglichkeit der Geschichtsschreibung (vor allem bei der Ideengeschichte) auf einer logischen, sogar unhistorischen Betrachtungsweise teilweise beruht und sogar beruhen muss.

(ii) Der zweite Grund, aus dem die systematische Betrachtungsweise m. E. der historischen dienen kann, ist etwas spezifischer. Die *logische* Identifizierung gewisser *logischer* Lücken zwischen Begriffen und Problemen, die sich aber tatsächlich als verbunden ergeben oder ergeben haben, weist manchmal/teilweise auf die *historische* Natur dieser Verbindungen hin. Je schwächer sich beispielsweise die *logische* Verbindung zwischen der Quantenmechanik und dem Problem des freien Willens zeigt, desto größer wird der ‚Verdacht‘, dass *historische* oder *kulturhistorische* Faktoren zu dieser Verbindung beigetragen haben.

Diese methodologische These formuliere ich absichtlich eher vorsichtig, weil mir bewusst ist, dass ‚logisch‘ und ‚nicht-logisch‘ selbst historisch geprägte Kategorien sind. Daher kann es sehr wohl sein, dass die angeblichen ‚logischen Lücken‘ nur aus der heutigen Betrachtungsweise als solche identifizierbar sind, während sie in einer als vollkommen logische Zusammenhänge erscheinen konnten. Trotzdem glaube ich (wie zu Punkt 1 eben angemerkt), dass die Fixierung eines begrifflichen ‚fixen (extrahistorischen) Rahmens‘ kaum zu entbehren ist, da der historische Wandel nur innerhalb eines solchen Rahmens identifiziert werden kann. Daher werde ich es mir gelegentlich erlauben, vorauszusetzen, dass manche ‚logische Lücken‘, die heute als solche erkennbar sind, auch früher erkennbar gewesen wären. Wenn sie also nicht erkannt wurden, lag dies wahrscheinlich daran, dass andere (kulturelle und historische) Faktoren einen Einfluss auf die damalige Perspektive hatten.

(iii) Schließlich lohnt es sich auf einen Zugang Neuraths hinzuweisen, der im Jahr 1916 auf eigene, originelle und scharfsinnige Weise den Nutzen einer logischen Untersuchung für eine historische dargestellt hat - und zwar in Richtung einer ‚Entnaturalisierung‘ der Geschichte²⁶. Neurath empfiehlt nämlich als Vorarbeit einer Wissenschaftsgeschichte eine begriffliche Klassifizierung wissenschaftlicher Theorien, die auf der Identifizierung ihrer elementaren logischen Komponenten beruht. Alle möglichen Kombinationen solcher logischen

²⁶ Neurath (1981 [1914/15]); dazu vgl. Nemeth (2007), S. 287-290. ‚Entnaturalisierung‘ ist mein Ausdruck.

elementaren Komponenten schaffen einen breiten Spielraum an denkbaren Theorien, von denen nur einige im Laufe der wissenschaftlichen Entwicklung tatsächlich vorgebracht werden. Das historisch Reale wird dann im Lichte des logisch Möglichen betrachtet, und das trägt zu einer ‚Entnaturalisierung‘ der Geschichte bei:

For only if we are aware that historically given theories are but special cases in a broad spectrum of thinkable possibilities will we be able to escape the lure of an illusory history of science determined by an inner logic to have arrived at our current theories²⁷

Natürlich wäre die Beziehung zwischen einem systematischen und einem historischen Ansatz zur Wissenschaftsgeschichte oder zur Wissenschaftsphilosophie ein breites Thema an sich, das ich allerdings hier nicht weiter vertiefen kann.

Aus den eben ausgeführten Überlegungen sollte klar geworden sein, dass der Zweck dieses Kapitels *nicht* darin bestehen kann, *einen* Begriff von „Determinismus“ mit höchster logischer Präzision zu definieren, um sich dadurch in die Lage zu versetzen, seine ‚unreine‘ oder ‚vage‘ Formulierungen als ‚fehlerhafte Versionen‘ auszuschließen. Denn infolge des Prinzips *omnia determinatio est negatio* würden genau diejenigen Überlagerungen, Abweichungen und Schwankungen, Umsetzungen und Bearbeitungen der Begriffe Determinismus / Indeterminismus, die sie historisch und kulturell so reich und bedeutend gemacht haben, aus dem Blick geraten. In der vorliegenden Arbeit nähere ich mich den verschiedenen Versionen des Determinismus einerseits an, indem ich sie in ihren Besonderheiten voneinander unterscheide; andererseits sollen dabei aber auch die historischen und historisch-philosophischen Verflechtungen, durch die verschiedene Lesarten des Determinismus in Bezug zueinander standen, nicht vernachlässigt werden.

a. Die „Komponenten“ des wissenschaftlichen Determinismus

Since the seventeenth century, philosophers have typically taken their current best physical theory as their guide to the truth of determinism²⁸.

²⁷ Nemeth (2007), S. 289.

²⁸ Butterfield (1998), S. 34. Wie später noch klarer auszuführen sein wird, halte ich diese Aussage nicht für ganz korrekt, vor allem weil der wissenschaftliche Determinismus (und eigentlich das Wort „Determinismus“ selbst) sich erst im 19. Jh. durchsetzen.

Essential to an understanding of determinism is an appreciation of how determinism works or fails to work in physics²⁹.

The best examples of determinism, or the lack of it, are found in the theories of physics³⁰.

Während der „allgemeine“ Determinismus (AD) als die ziemlich vage Idee dargestellt werden kann, dass

(AD) Alle Ereignisse in der Welt von den ihnen vorangegangenen Ereignissen völlig vorherbestimmt werden³¹,

ist die Version des Determinismus, die im Mittelpunkt dieser Arbeit steht, diejenige, die als „wissenschaftlicher“ Determinismus bezeichnet wird, und die gewöhnlich im Zusammenhang mit physikalischen Theorien formuliert wurde und wird.

In der mittlerweile kaum mehr überschaubaren Forschungsliteratur wurden viele Definitionen des wissenschaftlichen Determinismus vorgeschlagen: hier möchte ich nicht „die richtige“ oder „die beste“ finden, sondern mich auf die Wiedergabe und Reflexion einiger ausgewählter Deutungsmodelle beschränken.

In vielen Darstellungen des *wissenschaftlichen Determinismus* (WD) wird Laplace zitiert:

(WD, I)

Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui pour un instant donné connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée, et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome: rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux³².

Das Zitat hebt auf anschauliche Weise die „weltbildschaffende Funktion“³³ der Physik – damals eher noch als *philosophia naturalis* aufgefasst – hervor. Aus systematischer Sicht sind allerdings zwei Probleme im Zusammenhang mit dieser Formulierung zu merken.

(1) Die Fiktion einer übermenschlichen Intelligenz führt zur Verflechtung einer epistemischen (Determinismus als Vorhersagbarkeit) mit einer ontologischen (Determinismus als

²⁹ Earman (1982), S. 1.

³⁰ Clifford (2005), S. 210.

³¹ So wird z.B. der allgemeine Determinismus im *Oxford Companion to Philosophy* dargestellt: „*Determinism*. It is often taken as the very general thesis about the world that all events without exception are effects – events necessitated by earlier events“ (Weatherford 2005a, S. 208). Bei (AD) verwende ich „Ereignis“ im allgemeinen Sinn von „Geschehnis, Vorkommnis, Begebenheit“ (vgl. Wahrig 1991: *Deutsches Wörterbuch*) und ohne philosophische Implikationen. Mit „Ereignis“ können auch menschliche Gedanken und Taten gemeint werden. Mit „Welt“ wird in den Diskursen um den Determinismus normalerweise „alles, was es gibt“, „das Ganze“ gemeint, und im Folgenden werde ich auch das Wort in diesem Sinne benutzen – wenn nicht anders spezifiziert.

³² Laplace (1986 [1825]), S. 32-33.

³³ Vgl. Pulte (2007), S. 42, und Heidelberger (2002).

Vorherbestimmtheit der Welt an sich) Auffassung des Determinismus³⁴. Die übermenschliche Intelligenz verkörpert hier das alte Ideal der Objektivität als Möglichkeit der Aufhebung der Kluft zwischen Erkenntnis und Realität: die Vorhersagbarkeit (seitens der übermenschlichen Intelligenz) bedeutet unmittelbar die Vorherbestimmtheit (der Welt an sich)³⁵. Heutzutage ist es aber üblich, zwischen epistemischem und ontologischem Determinismus zu unterscheiden³⁶.

(2) Das zweite Problem an der Laplaceschen Formulierung des Determinismus ist die Spannung zwischen der menschlichen Perspektive („Nous“), die im ersten Satz des Zitates zentral ist, und der übermenschlichen Perspektive der „Intelligenz“ im zweiten Teil des Zitates: während die erste zeitlich situiert ist und die Entwicklung der Welt nach dem Modell des Kausalverhältnisses auffasst, kann die übermenschliche Intelligenz die ganze, deterministische Entwicklung der Welt mit *einem* Blick umfassen, was die zeitliche Dimension eher irrelevant zu machen scheint („*l'avenir comme le passé, serait présent à ses yeux*“: d.h., alles wird auf die Gegenwart reduziert). Auf dieses Problem werde ich im Laufe der Arbeit immer wieder zurückkommen.

Eine viel nüchternere, aber vielleicht präzisere Formulierung des Laplaceschen Determinismus bietet John Earman in seinem mit dem *Lakatos Award* ausgezeichneten Buch *A Primer On Determinism*:

(WD, II)

Letting W stand for the collection of all physically possible worlds, that is, possible worlds which satisfy the natural laws obtaining in the actual world [...] The world $W \in W$ is *Laplacian deterministic* just in case for any $W' \in W$, if W and W' agree at any time, then they agree for all times. By assumption, the world-at-a-given-time is an invariantly meaningful notion and agreement of worlds at a time means agreement at that time on all relevant physical properties³⁷.

Wenn man bedenkt, dass wir noch bis heute keine befriedigende Definition von Naturgesetzen geschafft haben³⁸, und wenn man ferner merkt, welch schwierige Annahmen („by assumption...“) Earman für seine Definition benötigt, wird es einem bewusst, wie flüchtig und

³⁴ Die Unterscheidung zwischen einem „epistemischen“ und einem „ontologischen“ Determinismus bespreche ich ausführlicher im § 1.c.

³⁵ Über das Verhältnis zwischen der Annahme einer übermenschlichen Intelligenz und dem Begriff der „realen“ Welt siehe Frank (1932), Kap. X.

³⁶ Vgl. z.B. die Trennung zwischen „determinism“ und „predictability“, die von Butterfield (1998, S. 35) und noch entschiedener von Hofer (2003) hervorgehoben wird.

³⁷ Earman (1983), S. 13. Eine aktuellere Darstellung der Position Earmans über den wissenschaftlichen Determinismus findet man in Earman (2004).

³⁸ Ganz im Gegenteil scheint der Skeptizismus gegenüber den Begriff „Naturgesetz“ in der letzten Zeit zu wachsen: vgl. z.B. Cartwright (1983), van Fraassen (1989) and Giere (1999).

schwer erfassbar der Determinismus sogar in seiner „wissenschaftlichen“ Version und in einer so präzisen Formulierung ist. Interessant ist, dass Earman unter anderem die Vorstellung *mehrerer* (wenigstens zwei) Welten für seine Darstellung des Determinismus braucht: es scheint, dass die Vorstellung zumindest einer anderen Welt quasi als *Maßstab* nötig ist, um durch einen Vergleich die deterministische Welt als „deterministisch“ bezeichnen zu können. In der Formulierung Earmans geht es jedenfalls um „potentielle“ Welten, die offensichtlich von unserem Vorstellungsvermögen, von unserem Begriff von „Naturgesetzen“ und von unseren Relevanzkriterien (siehe den Begriff von „agreement on all *relevant* physical properties“) stark geprägt sind.

Die Geschichte der Definitionen des Determinismus ist von einer zunehmenden Bescheidenheit charakterisiert: während Laplace von einem realen deterministischen „Universum“ gesprochen hat und Earman von einer möglichen deterministischen „Welt“, betrifft der Determinismus in zwei aktuelleren philosophischen Nachschlagwerken nicht mehr die Welt, sondern unsere Theorien:

(WD, III)

The key idea is that determinism is a property of a theory [...]

(„Determinism and Indeterminism“, *Routledge Encyclopaedia of Philosophy*, 1998³⁹)

At first glance, we might say that such a *theory* [= a theory of physics] is deterministic whenever the state of a system at some initial time plus the laws of the theory fix that system's state at any later time

(„Determinism, scientific“, *The Oxford Companion to Philosophy*, 2005⁴⁰. Meine Hervorhebungen)

Diese zwei kurze Zitate bezeugen eine Bedeutungsverschiebung des Determinismusbegriffes von einer (auch) ontologischen zu einer ausschließlich epistemischen Auslegung. Außerdem wird *der* Determinismus zu einem Adjektiv – „deterministisch“ – das einem einzelnen und begrenzten Objekt (und zwar einer spezifischen Theorie) zugeschrieben wird. Die historischen Entwicklungen und Veränderungen der Determinismusauffassung sollen im Laufe vorliegender Arbeit beleuchtet werden. Nun geht es mir darum, die Idee des Determinismus sowie ihre Implikationen und Voraussetzungen in systematischer Hinsicht weiter zu reflektieren.

Der Determinismus betrifft ein Objekt: nennen wir es *ein System*. Dieses System kann ein spezifisches System sein, das von einer physikalischen Theorie beschrieben wird, oder es kann

³⁹ Identisch mit Butterfield (1998), S. 35.

⁴⁰ Identisch mit Clifford (2005), S. 210.

auf die ganze Welt oder das Universum erstreckt werden (siehe unten, §1.d). Die Idee des Determinismus setzt jedenfalls voraus, dass wir ein System als eine *isolierte Gesamtheit* in Betracht ziehen können, um von ihm etwas zu behaupten (i.e. dass es sich deterministisch entwickelt). Wenn das System sich nämlich deterministisch entwickeln soll, dann muss die Möglichkeit ausgeschlossen werden, dass etwas außerhalb des Systems (i.e. etwas, dass wir nicht in Betracht gezogen hatten) unerwartet in Wechselwirkung mit dem System tritt und seine deterministische Entwicklung „stört“⁴¹.

Dieses System verändert sich im Laufe der *Zeit*: es durchläuft verschiedene Zustände (und trotzdem bleibt es als ‚dasselbe‘ System identifizierbar und erkennbar), und jeder Zustand ist einem *Zeitpunkt* zugeordnet⁴². Die Zeitauffassung, die hinter dem Determinismus steckt, ist ziemlich geheimnisvoll: Einerseits brauchen wir offensichtlich die zeitliche Komponente, um behaupten zu können, dass *spätere* Zustände des Systems von den *Vorigen* determiniert werden. Andererseits impliziert der Determinismus, dass die Festlegung eines Zustands des Systems zu einem Zeitpunkt die entsprechende Festlegung aller anderen Zustände dieses Systems – sowohl in der Vergangenheit, als auch in der Zukunft – *unmittelbar* bedeutet. Wie schon erwähnt, drückt dies Laplace in Bezug auf eine „übermenschliche Intelligenz“ eindrucksvoll aus: „l’avenir comme le passé, serait présent à ses yeux“. Die Art ‚ewige Gegenwart‘, die aus dieser Vorstellung hervorgeht, scheint den Zeitpfeil festzuhalten bzw. zu vernichten und die Asymmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft zu brechen. Der Zeitpfeil verwandelt sich dabei quasi in eine a-temporale logische Implikation. Als typischer Ausdruck des Determinismus wird oft die Reversibilität physikalischer Phänomenen erwähnt, die der *mathematische Formalismus* der klassischen Mechanik impliziert, und die den Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft irrelevant macht. So schreiben z.B. Prigogine und Stengers (1986, 269-270) in Bezug auf die klassische Dynamik:

La loi dynamique est une loi *réversible*, elle décrit aussi bien le passage d’un état vers l’état immédiatement précédent que vers l’état immédiatement suivant. Le futur et le passé jouent, en dynamique, exactement le même rôle – c’est-à-dire pas de rôle du tout. La définition d’un état instantané en termes des positions des particules qui le

⁴¹ Vgl. z.B. das Problem der “space invaders” bei Earman (2004), S. 4.

⁴² Der berühmte Aufsatz von Bertrand Russell “On the Notion of Cause” (erstmalig 1912 veröffentlicht, 1953 in Feigl / Broadbeck (Hrsg.) mit einem anderen Text von Russell integriert und wieder veröffentlicht) enthält eine interessante Besprechung von einigen Problemen, die entstehen, wenn man versucht, den Kausalbegriff und den Determinismus mit dem Zeitbegriff in Zusammenhang zu bringen (vgl. Russell 1953, S. 391ff.). Über den Begriff des Zeitpunkts im Bezug auf den Determinismus vgl. Stegmüller (1969), S. 491.

constituent et des vitesses de ces particules, contient le passé et le futur du système [...]. Comme le disait Bergson, en chaque instant, tout est donné [...] ⁴³

Im Laufe vorliegender Arbeit soll diese Frage noch mehrmals besprochen werden.

Bei den Formulierungen des Determinismus wird jedenfalls normalerweise ein Modell des (deterministischen) Systems hergestellt, das seine Entwicklung als Abfolge *verschiedener Zustände* abbildet, die „ihrem Wesen nach“ beschrieben werden können. Das heißt, die meisten Formulierungen des Determinismus setzen voraus, dass wir imstande sind, die erwähnten Zustände (1) voneinander zu unterscheiden, (2) prinzipiell vollständig oder wenigstens – wie Earman gemeint hat – bezüglich aller ihren „relevanten“ Eigenschaften zu beschreiben, und (3) so zu beschreiben, dass die Beschreibung „*die richtige*“ ist.

Was diesen letzten Punkt betrifft, macht Butterfield (1998, 36) darauf aufmerksam, dass die Behauptung des Determinismus eine vollständige Theorie des jeweiligen Systems voraussetzen würde: „a complete theory, a theory that in some sense describes the whole truth about the system“. Diesbezüglich äußert Ströker (1990, 20-21) aus moderner Sicht einen gewissen Skeptizismus:

Es geht denn in der Physik auch gar nicht um die vollständige Erfassung von Systemeigenschaften. So würde selbst ein strenger mechanischer Determinismus nicht eo ipso ausschließen, dass das fragliche System hinsichtlich nichtmechanischer Eigenschaften indeterministisch ist. Es ist mithin in der Behauptung eines physikalischen Determinismus genauestens im Auge zu behalten, auf welche Systemeigenschaften sie sich bezieht. ⁴⁴

Heutzutage sind die meisten Wissenschaftsphilosophen und viele Naturwissenschaftler mit der Idee vertraut, dass wir physikalische Systeme mittels *Modellen* beschreiben, die eine partielle, vereinfachte und idealisierte Darstellung der Realität anbieten. Das heißt, dieselben Phänomene können durch verschiedene Modelle beschrieben werden, die verschiedene, gleichberechtigte

⁴³ In seiner schon erwähnten Definition des Determinismus weist auch Earman auf eine Koinzidenz zweier Welten hin, deren ganze Entwicklung *auf einmal* gegeben wird.

⁴⁴ Vgl. auch Stegmüller (1969), S. 453: „Generell ist zu sagen: Um eine Präzisierung zu erreichen, müssen die Eigenschaften bzw. die Zustandgrößen, in Bezug auf welche deterministische Voraussagbarkeit behauptet wird, genau angegeben werden“. Und weiter (S. 487-488): „Es ist offenbar unmöglich, die Zustände eines Systems in allen überhaupt denkbaren Hinsichten zu beschreiben. Eine derartige Beschreibung würde prinzipiell nie ans Ende kommen [...] Um zu einem klaren Begriff des deterministischen Systems zu gelangen, *muß man ihn auf eine Klasse K von Eigenschaften bzw. von quantitativen Zustandsgrößen*, die mathematisch als Funktionen ausdrückbar sind, *relativieren*. [...] So ist z.B. die klassische Mechanik nicht schlechthin deterministisch, sondern deterministisch *in bezug auf die mechanischen Merkmale von Systemen*. Die letzteren Eigenschaften bilden also in diesem Fall zusammen die Klasse K. Mit dem mechanischen Determinismus ist durchaus die Auffassung verträglich, dass die Systeme *in bezug auf ihre nichtmechanischen Eigenschaften nicht deterministisch sind*“.

Aspekte der zu untersuchenden Phänomene beleuchten⁴⁵. Die klassischen Deterministen setzten aber meistens voraus, nicht nur, dass deterministische Beschreibungen des Systems möglich sind, sondern dass diese ‚die Wahrheit‘ über das System ausdrücken bzw. der ‚Natur‘ oder dem ‚Wesen‘ des Systems entsprechen. Das ist z.B. der Fall, wenn ein Phänomen auf mechanische Eigenschaften reduziert wird, ohne dabei zu bedenken, dass *wir* ein mechanisches Modell des Systems geschaffen haben, wobei andere Modelle vielleicht möglich gewesen wären. Der Determinismus basiert also auf die Idee, dass die Beschreibung der Zustände eines als deterministisch erklärten Systems (bzw. das Modell des Systems, das diese Beschreibung ermöglicht) *das ‚Wesentliche‘* an der Natur der entsprechenden Phänomene wiedergibt.

Im Prinzip scheinen die bisher erwähnten Elemente - ein geschlossenes System, eine messbare zeitliche Dimension und verschiedene, eindeutig beschreibbare Zustände - zu genügen, um den Determinismus formulieren zu können. So können wir die Entwicklung eines deterministischen Systems als eine Abfolge diskreter Zustände abbilden, von denen Folgendes behauptet wird:

- 1) jeder Zustand ist einem gewissen Zeitpunkt zugeordnet;
- 2) jedem Zustand folgt *notwendigerweise ein anderer bestimmter* Zustand;
- 3) die Festlegung eines Zustandes bedeutet *unmittelbar* die Festlegung sowohl der vorigen, als auch der nächsten Zustände.

Auch wenn (3) natürlich (2) impliziert, habe ich sie getrennt formuliert, weil es eine gewisse Spannung zwischen (2) und (3) gibt. Wenn wir den Schwerpunkt auf (3) setzen, behaupten wir, dass die Kenntnis (die mathematische Beschreibung) eines beliebigen Zustandes unmittelbar die Kenntnis (die mathematische Beschreibung) sowohl der ‚vorigen‘, als auch der ‚nächsten‘ Zuständen *impliziert*. Das determinierende Verhältnis zwischen den verschiedenen Zuständen würde somit dem logisch-mathematischen a-temporalen Verhältnis der Implikation (genauer: des Bikonditionals) ähneln. In diesem Sinne könnten wir in sehr allgemeiner Weise die Abfolge der Zustände eines deterministischen Systems abbilden, wie folgt (Wissenschaftlicher Determinismus aus der Perspektive der Ewigkeit):

$$(WD^e) \dots Z_{t-1} \leftrightarrow Z_{t0} \leftrightarrow Z_{t1} \dots$$

Wenn wir hingegen die zeitliche Dimension in den Vordergrund rücken und den Determinismus als Weltbild eines zeitlich situierten Beobachters in Betracht ziehen

⁴⁵ So spricht man heute z.B. von deterministischen und indeterministischen Beschreibungen derselben Phänomene und von „observational equivalence between deterministic and indeterministic descriptions found in science“ (vgl. Wendl 2011; Zitat auf S. 194).

(entsprechend dem Punkt 2), dann können wir ihn abbilden, wie folgt („Wissenschaftliche Determinismus aus zeitlicher Perspektive“):

$$(WD') \dots Z_{t-1} \rightarrow Z_{t0} \rightarrow Z_{t1} \dots$$

wobei das Symbol „ $\rightarrow$ “ das *zeitliche* Folgen darstellen soll – im Gegensatz zum *logischen* Folgen. Die „geheimnisvolle“ Natur des Verhältnisses zwischen den Zuständen einer deterministischen Welt werde ich im nächsten Absatz weiter besprechen.

Nun möchte ich zusammenfassend noch mal auf die Begriffe hinweisen, die die Idee des Determinismus voraussetzt:

- den Begriff eines isolierten und ganzheitlich betrachteten *Systems*;
- eine komplizierte und noch zu klärende zeitliche Dimension, die jedenfalls erlaubt, eine *diskrete Abfolge von Zeitpunkten* festzusetzen;
- den Begriff einer Abfolge *verschiedener Zustände* des Systems, wobei jeder Zustand einem entsprechenden Zeitpunkt zugeschrieben wird
- die Möglichkeit einer *eindeutigen und absolut geltenden* Beschreibung des Systems in seinen *wesentlichen* Eigenschaften (diese Voraussetzung gilt eher für den klassischen wissenschaftlichen Determinismus);
- den Begriff eines *determinierenden Verhältnisses* zwischen aufeinander folgenden Zuständen, wobei die Natur dieser determinierenden Beziehung im nächsten Absatz weiter besprochen werden soll.

Jede dieser Voraussetzungen hat sich im Laufe der Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus als problematisch erwiesen und jeder dieser Begriffe wird in der aktuellen Literatur über den (In)determinismus hinterfragt und diskutiert. Besonders bemerkenswert in diesen Diskussionen ist die häufige Behauptung, eine physikalische Theorie könnte beliebig als deterministisch oder indeterministisch aufgefasst werden, je nach dem wie wir die von der Determinismusfrage implizierten Begriffe auffassen⁴⁶. Eine detailliertere Analyse dieser modernen Debatten und dieser Problematiken aus systematischer und heutiger Sicht würde den Rahmen der vorliegenden historischen Arbeit sprengen: als wesentlicher, für die weiteren Ausführungen zentraler Aspekt, ist aber die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem

⁴⁶ In Bezug auf die Quantenmechanik wird es z.B. immer wieder behauptet, dass eine Antwort auf die Frage, ob die Theorie deterministisch oder indeterministisch sei, von unserer Auffassung des Zustandsbegriffes abhängt (vgl. beispielweise Stegmüller (1969), S. 498-500, Earman (1986), S. 2, Ströker (1990), S. 21-22). Vgl. auch Butterfield (1998), S. 38: „Indeed, there are many examples of a set of differential equations which can be interpreted as a deterministic theory, or as an indeterministic theory, *depending on the notion of state* used to interpret the equations“ (meine Hervorhebung).

Determinismusbegriff und anderen, aus wissenschaftsphilosophischer Sicht zentralen Begriffen, hervorzuheben:

This is already enough to make strong the suspicion that a real understanding of determinism cannot be achieved without simultaneously constructing a comprehensive philosophy of science.⁴⁷

b. Die „Festigkeit“ des wissenschaftlichen Determinismus

Im vorigen Absatz habe ich (WD^e) und (WD^z) als zwei mögliche Darstellungen des Determinismus formuliert. Beide Darstellungen enthalten den Begriff eines *determinierenden Verhältnisses* zwischen aneinander folgenden Zuständen.

Das Verhältnis, das ich bei (WD^e) mit dem Symbol „ $\leftrightarrow$ “ bezeichnet habe, kann man physikalisch als Hinweis auf eine Reversibilität physikalischer Phänomene interpretieren. Darüber hinaus stellt aber (WD^e) ein deterministisches System so dar, dass die Festlegung eines Zustandes dieses Systems *unmittelbar* die Festlegung sowohl der vorigen, als auch der nächsten Zustände bedeutet. Somit betrachtet man die ganze Entwicklung des Systems mit *einem* Blick, und aus dieser Perspektive – die alles als gegenwärtig auffasst – erscheint die Bedeutung von „ $\leftrightarrow$ “ ähnlich derjenigen eines logischen Bikonditionals. Die mathematische Beschreibung eines Zustandes ‚impliziert‘ jene der Vorigen und der Nächsten. Aus einem empiristischen Standpunkt wird eine solche rationalistische Auffassung des determinierenden Verhältnisses wenigstens seit Hume kritisiert⁴⁸.

Bei (WD^z) hingegen betrachtet man die deterministische Entwicklung des Systems aus einer zeitlich situierten Perspektive. Dabei wird nicht geleugnet, dass die Festlegung eines Zustandes die Festlegung der Vorigen impliziert. Die Entwicklung des Systems wird aber nicht insgesamt auf einmal betrachtet: durch das Symbol „ $\rightarrow$ “ wird jene Notwendigkeit hervorgehoben, mit der frühere Zustände die nächsten determinieren. (WD^z) drückt den Determinismusbegriff von Laplace aus, wenn er sich nicht auf die übermenschliche Intelligenz, sondern auf „uns“ Menschen bezieht: „Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre“ (vgl. oben, WD,I).

⁴⁷ Earman (1986), S. 21. Frank (1907) hebt z.B. die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Kausalitätsbegriff und dem Begriff des „Zustandes“ eines physikalischen Systems hervor, während Cassirer (1937) die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Kausalitätsbegriff und dem Gegenstandsbegriff betont.

⁴⁸ Vgl. z.B. Feigl (1953), S. 408: „The *rationalistic* conception [of causality] identifies (I should say, confuses) the causal relation with the logical relation of implication (or entailment). This [...] was repudiated once and for all by Hume.“

Dieser Satz von Laplace bringt uns nun einen Schritt weiter, denn er führt uns zum Begriff der *Kausalität*. Ein Bezug auf das Kausalverhältnis ist für eine allgemeine Darstellung des Determinismus aus systematischer Sicht eigentlich *nicht* notwendig. Dieser Umstand erweist sich als besonders glücklich, wenn man bedenkt, dass der Kausalitätsbegriff für den Wissenschaftsphilosophen immer noch mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet ist⁴⁹. Versuche, eine Trennung zwischen dem Problem des Determinismus und dem der Kausalität festzusetzen wurden an einigen Stellen unternommen⁵⁰. Stellen wir ein deterministisches System als eine Abfolge unterschiedlicher Zustände dar, von denen es gilt, dass die Festlegung eines Zustandes die Festlegung aller anderen eindeutig und mit Notwendigkeit determiniert, dann erscheinen Begriffe wie „Kausalität“ oder „Naturgesetz“ nur als zusätzliche Explikationen von etwas (dem determinierenden Verhältnis zwischen den Zuständen), das im deterministischen Weltbild schon enthalten ist. In *diesem* Sinne sind solche Begriffe eher ‚Nebenprodukte‘ als Voraussetzungen des Determinismus⁵¹.

Trotzdem wurde die Determinismusfrage im Laufe der Geschichte oft als „Kausalprinzip“ oder als „Kausalgesetz“ diskutiert, und Hinweise auf „Naturgesetze“ oder – wie im oben wiedergegebenen Zitat aus Clifford (vgl. WD, III) – auf die Gesetze physikalischer Theorien kommen in den Definitionen des Determinismus oft vor. Der Grund für diese zusätzlichen Hinweise kann man intuitiv erfassen: beim *wissenschaftlichen* Determinismus erwarten wir nicht nur, dass ein Zustand Z_{t1} aus dem Vorigen Z_{t0} folgen muss (z.B. weil ein Gott so bestimmt hat oder weil diese Entwicklung ein *Thelos* anstrebt), sondern auch, dass dies nach einer natürlichen, wissenschaftlich erfassbaren Gesetzmäßigkeit geschieht.

Entsprechend dem ersten Teil der Laplaceschen Formulierung des Determinismus kann man (WD²) so interpretieren, dass jeder Zustand als *Ursache* des Nächsten aufgefasst wird: „Nous devons donc envisager l'état présent de l'univers comme l'*effet* de son état antérieur, et comme la *cause* de celui qui va suivre,“ (vgl. oben, (WD, I); meine Hervorhebungen). Der Kausalitätsbegriff wird mit dem Determinismus in Zusammenhang gebracht, weil er die *Notwendigkeit* und die *zeitliche Asymmetrie* ausdrücken soll, die nach der Formulierung (WD²)

⁴⁹ Einen guten Überblick auf die verschiedenen, aktuellen Kausalitätsauffassungen bietet Campaner (2007).

⁵⁰ Vgl. z. B. Weiszäcker (1944, S. 75ff.), Stegmüller (1969), S. 468; Popper (1982), S. 4 und Earman (1982), S. 5-8. Dieser letzte bemerkt: “Perhaps the most venerable of all the philosophical definitions [of determinism] holds that the world is deterministic just in case every event has a cause. The most immediate objection to this approach is that it seeks to explain a vague concept – determinism – in terms of a truly obscure one – causation. If we can achieve an analysis of determinism without explicit appeal to the notion of cause and effect, then that analysis is to be preferred to the one in question” (Earman 1986), S. 5. Man merke, wie die schon erwähnte Definition des Determinismus von Earman – wie auch die späteren Definitionen von Butterfield und Clifford – jeglichen Bezug auf die Kausalität entbehren.

⁵¹ Historisch bzw. psychologisch gesehen könnte man im Gegenteil vermuten, dass der Determinismus eher aus einer radikalen Erweiterung des Gültigkeitsbereichs der Kausalität oder der Naturgesetzen entsteht.

das Verhältnis zwischen den aneinander folgenden Zuständen eines deterministischen Systems charakterisieren. Allerdings könnte sich die Idee, einen Zustand als Ursache des nächsten Zustandes zu betrachten, als problematisch erweisen – vor allem, wenn man sich auf die ganze Welt bezieht. Unser Kausalitätsbegriff basiert nämlich normalerweise auf induktiver Verallgemeinerung: wenn wir also die Notwendigkeit nicht als eine Art logischer Implikation, sondern als physikalisch gemeintes Kausalverhältnis auffassen, dann können wir auch den Begriff der *Wiederholung gleicher Zustände* schwer entbehren. „Aus dem physikalischen Zustand A *muss* der Zustand B folgen“: eine solche ‚notwendige‘ Beziehung kann man kaum anders auffassen als „wir wissen, dass immer, wenn A vorkommt, daraus B folgt“. Begriffe wie „Kausalgesetz“ (gleiche Ursachen haben gleiche Wirkungen) und „Naturgesetz“ („immer wenn..., dann...“) – die im Zusammenhang mit der Determinismusfrage oft vorkommen – implizieren die Wiederholung von gleichen Zuständen. Eigentlich kann sich aber eine deterministische Welt – so wie wir sie definiert haben – im Prinzip so entfalten, dass jeder Zustand nur einmal vorkommt. Aus systematischer Sicht ist es bei (WD^e) sogar zu bemerken, dass auch nur eine einzige Wiederholung des gleichen Zustandes die deterministische Abfolge der Zustände in ein *loop* stürzen würde. Denn zwei gleiche Zustände müssten die gleiche Abfolge von vorigen und folgenden Zuständen hervorrufen. Ein Zustand könnte nur dann zweimal (oder mehrmals) vorkommen, wenn die Entwicklung des Systems kreisförmig wäre. Hier zeigt sich wieder eine gewisse Spannung zwischen dem Begriff der logisch-mathematischen Folge oder Implikation, auf dem (WD^e) basiert, und dem Begriff der kausalen Folge oder des Kausalverhältnisses, auf dem (WD^z) basiert. Um diesen zweiten Begriff – sowie den Begriff von „Naturgesetz“ – zu ‚retten‘, kann man unterschiedliche Strategien umsetzen, z.B.:

- man betrachtet Z_{t_0} als Ursache von Z_{t_1} nur im Sinne eines „*singular causal claim*“, das nicht von einem entsprechenden – auf Induktion basierten – „*general causal claim*“ abhängt⁵²;
- man bezieht die Begriffe von „Kausalität“ oder „Naturgesetz“ nicht auf Zustände des Systems, sondern auf verschiedene Prozesse, die sich *innerhalb* der Entwicklung des Systems abspielen. Man könnte z.B. behaupten, dass kein Zustand der Welt zweimal (oder mehrmals) vorkommt,

⁵² Vgl. die Unterscheidung zwischen „property causation“ und „token causation“ in Sober (1985). Während der Begriff von „property causation“ der Idee entspricht, dass A die Ursache von B insofern ist, als „immer, wenn A, dann B“, benutzt Sober den Begriff von „token causation“ in Bezug auf Fälle, die kein Beispiel eines allgemeingültigen Kausalverhältnisses sind, die aber trotzdem in einem gewissen Sinne als Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu betrachten sind. Sober gibt Beispiele von „token causation“ (eins von denen ist die „Genealogie“, bei der die Vorfahren bzw. die Eltern in einem Sinne als „Ursache“ der Nachkömmlinge zu betrachten seien) an, aber er gibt auch zu, dass er nicht imstande ist, eine Erklärung von „token causation“ zu geben (Sober 1985, 408): somit bleibt es offen, ob wir ohne jegliche induktive Verallgemeinerung zum Begriff von „token causation“ kommen können.

dass aber innerhalb der Entwicklung der Welt viele verschiedene Kausalprozesse stattfinden, sie sich wiederholen (dürfen). Ein Zustand der Welt würde in diesem Sinne einer gewissen Kombination dieser Kausalprozesse entsprechen, so dass jede Kombination nur einmal vorkommen würde, auch wenn dieselben Kausalketten sich wiederholen könnten.

Damit sind aber die Schwierigkeiten bei der Vorstellung einer Abfolge von Zuständen als einer Kausalkette noch nicht beseitigt. Im ersten Fall bleibt die Frage offen, inwiefern wir überhaupt singuläre Kausalsätze formulieren können, ohne auf Induktion basierenden Allgemeinsätze zu implizieren: laut Stegmüller (1969, S. 443) steckt z.B. „nach der logischen Analyse in einem singulären Kausalsatz eine Regularitäts- oder Gesetzesannahme“. Im zweiten Fall hätten wir erstens sowieso auf die Vorstellung der Entwicklung der ganzen Welt als Kausalkette verzichtet; zweitens hätten wir das Problem nur auf die einzelnen „Kausalprozesse“ verschoben. Man kann dieses Problem bei Russell (1953, S. 391) wiedererkennen – obwohl er von „events“ spricht:

An „event“, in the statement of the law [of causality], is obviously intended to be something that is likely to recur, since otherwise the law becomes trivial. It follows that an „event“ is not a particular, but some universal of which there may be many instances. It follows also that an „event“ must be something short of the whole state of the universe, since it is highly improbable that this will recur. What is meant by an „event“ is something like striking a match, or dropping a penny into the slot of an automatic machine. If such an event is to recur, it must not be defined too narrowly: we must not state with what degree of force the match is to be struck, nor what is to be the temperature of the penny. For if such considerations were relevant, our „event“ would occur at most once...

Während ich hier nicht versuchen möchte, das Problem zu lösen, möchte ich auf folgende zwei Details dieses Zitats hinweisen: (1) man merke, wie Russell an dieser Stelle die Laplacesche Vorstellung der Entwicklung der *ganzen* Welt als Kausalkette schließlich ablehnt („an ‚event‘ must be something short of the whole state of the universe“); (2) man bedenke erneut (vgl. oben, § 1.a), wie die Vorstellung des Determinismus wesentlich davon abhängt, wie man die „Zustände“ auffasst und auf welcher Ebene man sie beschreiben will. Ob man ein Kausalverhältnis zwischen Zuständen feststellen kann oder nicht, hängt auch davon ab, wie man die Zustände definiert bzw. auf welcher Ebene man sie beschreibt.

Der Kausalitätsauffassung von Russell folgend könnte man behaupten, dass (WD^c) in Vergleich zu (WD^z) einen Fortschritt in der Entwicklung der Wissenschaft darstellt. So schreibt Russell (1953, S. 395; meine Hervorhebung):

The law of gravitation will illustrate what occurs in any advanced science. In the motions of mutually gravitating bodies, there is nothing that can be called a cause, and nothing that can be called an effect; there is merely a formula. Certain differential equations can be found, which hold at every instant for every particle of the system, and which, given the configurations and velocities at one instant, or the configurations at two instants, render the configuration at any other earlier or later instant theoretically calculable. That is to say, the configuration at any instant is a *function* of that instant and the configurations at two given instants.

Bei dieser Auffassung des determinierenden Verhältnisses verschwindet – wie schon erwähnt (vgl. oben, § 1.a) – der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft:

the future „determines“ the past in exactly the same sense in which the past „determines“ the future. The word „determine“, here, has a purely logical significance: a certain number of variables „determine“ another variable if that other variable is a function of them.⁵³

In meiner Formulierung des Determinismus sollen sowohl „ $\leftrightarrow$ “ (bei WD^e) als auch „ $\rightarrow$ “ (bei WD^z) das Wesentliche am klassischen deterministischen Weltbild ausdrücken: d.h., den Begriff einer *absoluten, strengen* Notwendigkeit. Auch bei (WD^z) soll das Symbol „ $\rightarrow$ “ eine strenge Form der Kausalität ausdrücken: Z_{t1} folgt mit absoluter Notwendigkeit Z_{t0} , das heißt, (a) wenn Z_{t0} der Fall ist, *muss* Z_{t1} der Fall sein, und (b) wenn Z_{t0} der Fall ist, *kann nur* Z_{t1} der Fall sein. Wenn man hingegen „ $\rightarrow$ “ als bloß probabilistisches Kausalverhältnis interpretiert – d.h., wenn man behauptet, dass Z_{t1} mit einem gewissen Wahrscheinlichkeitsgrad (sei er auch gleich 99,9%) Z_{t0} folgt – wird (WD^z) mit (WD^e) nicht mehr kompatibel, denn die Eindeutigkeit und die Reversibilität des Verhältnisses zwischen den aneinander folgenden Zuständen gehen verloren. Was das im Bezug auf das physikalische Weltbild bedeutet, soll im Laufe der Arbeit noch besprochen werden (vor allem im Kap. 4, in Bezug auf die Entstehung der Thermodynamik). Es sei an dieser Stelle nur kurz bemerkt, dass das klassische deterministische Weltbild die „maximale Festigkeit“ des determinierenden Verhältnisses zwischen Zuständen voraussetzt, dass es aber im 19. Jh. auch einen „*statistischen* Determinismus“ gegeben hat: das, was im Bereich der Sozialwissenschaften als ein solcher galt, markierte kurz darauf den Anfang des Indeterminismus in der Physik (vgl. unten, Kap 4).

⁵³ Russell (1953), S. 390. Anders als beim klassischen Determinismus bezieht sich aber Russell hier auf Funktionen, die „bloß“ empirisch beobachtete, in der Zukunft „bloß“ wahrscheinliche Regelmäßigkeiten ausdrücken.

c. Die „Tiefe“ des wissenschaftlichen Determinismus

I take determinism to be an ontological doctrine, a doctrine about the temporal evolution of the world. This ontological doctrine must not be confused with predictability, which is an epistemological doctrine, the failure of which need not entail a failure of determinism.⁵⁴

Schon mehrmals habe ich mich auf den Unterschied zwischen Determinismus im epistemischen und im ontologischen Sinn bezogen. Unter „epistemischem Determinismus“ versteht man normalerweise die Behauptung der *prinzipiellen* Möglichkeit einer vollkommenen *Vorhersagbarkeit* der Entwicklung eines physikalischen Systems. Das würde bedeuten, dass

(WD, Ep)

- (1) der Beobachter prinzipiell den Zustand des physikalischen Systems S zu einer beliebigen Zeit t^0 mit beliebiger Präzision kennen könnte, und dass
- (2) er aufgrund dieser Kenntnis (und eventuell der Kenntnis der in Frage kommenden „Naturgesetze“⁵⁵) den Zustand dieses Systems zu jeder beliebigen Zeit t^1 (bzw. t^{-1}) mit beliebiger Präzision vorhersagen (bzw. nachhersagen) könnte.

Da die Naturwissenschaftler sich normalerweise von ihren Theorien Informationen über *zukünftige* Zustände erwarten, dürfen wir den epistemischen Determinismus als die Behauptung der prinzipiellen Vorhersagbarkeit auffassen.

Der ontologische Determinismus bezieht sich hingegen nicht auf unsere Theorien und Kenntnisse, sondern auf die Welt an sich, und zwar unabhängig von ihnen. Wir können ihn als die Idee darstellen, dass

(WD, On)

das System S an sich in dem Sinne vorherbestimmt ist, dass jeder Zustand dieses Systems mit Notwendigkeit aus dem jeweils vorherigen Zustand folgt – unabhängig davon, was jeglicher Beobachter über das System weiß oder wissen kann (und unabhängig davon, dass es überhaupt einen Beobachter gibt).

⁵⁴ Earman (2004), S. 1 (siehe auch S. 5 und 6). Vgl. auch Earman (1986), S. 8-10, wo Earman die angebliche Widerlegung des Determinismus von Popper insofern ablehnt, als er behauptet, Popper hätte nur den Determinismus als Vorhersagbarkeit widerlegt: “Producing an ‘epistemological sense’ of determinism (...) invites potentially misleading argumentation – e.g., in such-and-such a case prediction is not possible and, therefore, determinism fails. The most notorious form of this argument is due to Sir Karl Popper” (S. 8).

⁵⁵ Über die *prinzipielle* Entbehrlichkeit des Begriffes der „Naturgesetze“ für eine Darstellung des Determinismus vgl. oben, §1.b. *Tatsächlich* ist es schwierig, sich einen *menschlichen* Beobachter vorzustellen, der nur aufgrund der Kenntnis eines physikalischen Zustandes und ohne jeglichen Bezug auf irgendeine Gesetzmäßigkeit die zukünftigen Zustände des Systems vorhersagen kann.

Eine übliche und wichtige Folge dieser These ist das, was Earman in dem am Anfang vorliegenden Absatzes wiedergegebenen Zitat behauptet: wenn wir den Anspruch des epistemischen Determinismus nicht erfüllen können, wenn wir also die zukünftigen Ereignisse oder Zustände des Systems überhaupt nicht oder nur nach Wahrscheinlichkeitsverteilungen vorhersagen können, bedeutet das keine Widerlegung des ontologischen Determinismus, sondern ein Zeichen eines Mangels an unserer Erkenntnis oder eine Unvollkommenheit unserer Vorhersagefähigkeit.

Offensichtlich ist der ontologische Determinismus immer „rettbar“: egal wie viel wir von der Welt wissen und welche Erfahrungen wir in der Welt machen, der Determinist kann sich immer auf das „noch Unbekannte“ stützen, um seine These zu vertreten. Das heißt, der in (WD, On) ausgedrückte ontologische Determinismus ist weder falsifizierbar noch verifizierbar. Aus diesem Grund, und im Allgemeinen wegen seiner Abhängigkeit von der Voraussetzung einer Welt-an-sich (eine Voraussetzung, die aus moderner Sicht nach einem naiven Realismus klingt) wurde und wird der ontologische Determinismus wenigstens in der wissenschaftsphilosophischen Literatur des 20. Jahrhunderts oft als „bloß“ metaphysisch vernachlässigt oder abgelehnt⁵⁶. Solch eine Ablehnung ist m.E. nicht ganz gerechtfertigt. Erstens haben wir bis heute keine eindeutige, unumstrittene Definition von „Metaphysik“. Zweitens: wenn wir mit „metaphysisch“ meinen, dass (WD, On) weder falsifizierbar noch verifizierbar ist, ist der in (WD, Ep) ausgedrückte *epistemische* Determinismus *genauso metaphysisch*, weil, indem das Adverb „*prinzipiell*“ verwendet wird, jede *aktuelle* Erkenntnis für die These irrelevant wird („unser Vorhersagefähigkeit ist tatsächlich eingeschränkt, aber im Prinzip, wenn wir nur alle Informationen hätten...“). Drittens: man sollte sich weiters fragen, *was* genau die These (WD, On) weder falsifizierbar noch verifizierbar macht. Der Determinismus wird oft so formuliert, dass (WD, On) für *jedes* System bzw. für die ganze Welt gelten soll. Dann könnte das „Metaphysische“ in der „Breite“ (vgl. unten, §1.d) des Objekts liegen, auf das der Determinismus sich bezieht: wenn wir von einer „Vorherbestimmtheit der Welt an sich“ reden und wir uns auf „alles“ oder auf „das Ganze“ beziehen, wird es sicherlich sehr schwer, diese Behauptung zu verifizieren bzw. zu falsifizieren. Der epistemische Determinismus wäre aber bei einer solchen allgemeingültigen Auffassung genauso „metaphysisch“, wenn er den Anspruch der „Vorhersagbarkeit“ auf die ganze Welt erstrecken würde. Die Breite des Objektes, auf das der Determinismus sich bezieht, muss aber nicht

⁵⁶ Vgl. z. B. Stegmüller (1969), S. 473 und Butterfield (1998).

unbedingt die maximale Breite sein (vgl. unten, § 1.d). Wenn man hingegen den ontologischen Determinismus als „metaphysisch“ ablehnt, weil er sich auf eine von uns unabhängige Realität bezieht, dann müsste man z. B. auch jede einzelne Aussage eines Wissenschaftlers – auch über einzelne, einfache Systeme – als „metaphysisch“ betrachten, wenn er sie so meint, dass sie sich auf reale Ereignisse und nicht nur auf seine Erkenntnis oder auf seine Theorien bezieht. Würde man den ontologischen Determinismus wegen des Bezugs auf eine von dem Beobachter unabhängige Realität ablehnen, hätte man jedenfalls schon eine Stellung bezüglich der immer noch offenen Debatte Realismus vs. Antirealismus vorausgesetzt, und die Realisten (d. h. wahrscheinlich die meisten Naturwissenschaftler) als „Metaphysiker“ abgewertet.

Im Vorfeld einer historischen Untersuchung der Determinismusfrage wäre es auf jeden Fall unangebracht, durch einen normativen Ansatz die erwähnten Formulierungen des Determinismus als „metaphysisch“ abzulehnen. Darüber hinaus erweist sich der Unterschied „ontologisch / epistemisch“ gerade als begriffliches Instrument für eine historische Untersuchung als ungenügend, wenn man die Geschichte der Determinismusfrage in den letzten zwei Jahrhunderten nachvollziehen will. Die Frage rund um die Unterscheidung zwischen unserer Erkenntnis der Realität und der Realität „an sich“ wurde in den letzten zweieinhalb Jahrhunderten philosophisch so gründlich bearbeitet, dass eine Beibehaltung des Gegenpaars „ontologisch / epistemisch“ ohne weitere Spezifizierung im Laufe der historischen Untersuchung Verwirrungen mit sich bringen würde. Das Adjektiv „ontologisch“ zeigt z.B. eine besondere Undeutlichkeit. Wie schon erwähnt, wird mit „ontologischem Determinismus“ meistens eine Position gemeint, die die Vorherbestimmtheit der *Welt-an-sich* behauptet. Aber bei Leibniz (1646-1716) gehört z.B. die „Ontologie“ einer *Scientia Generalis*, die als „Wissenschaft vom *Denkbaren*“ definiert wird⁵⁷. Und bei Kant „wird [die Ontologie] Transzendental-Philosophie genannt, weil sie die Bedingungen und ersten Elemente aller *unserer Erkenntniß* a priori enthält“:

Sie [die Ontologie] *kann uns nun nichts von Dingen an sich selbst lehren*, sondern nur von den Bedingungen a priori, unter denen wir Dinge in der Erfahrung überhaupt erkennen können, d. i. Prinzipien der Möglichkeit der Erfahrung⁵⁸

Der Kantschen Position entsprechend werden auch in der modernen Literatur Formulierungen des Determinismus manchmal als „ontologisch“ gekennzeichnet, die sich auf die – sozusagen –

⁵⁷ Leibniz (1903), S. 511 (meine Hervorhebung): „*Scientia Generalis nihil aliud est quam Scientia [cogitandi] < de Cogitabili in universum quatenus tale est >*“.

⁵⁸ Kant, aus dem handschriftlichen Nachlaß, zit. in: Eisler (1964), S. 400; meine Hervorhebung.

„Welt-für-uns (alle)“ beziehen – d.h. auf eine intersubjektiv gültige Erkenntnis, und *nicht* auf die Welt „an sich“. Im Adjektiv „ontologisch“ steckt in dieser Hinsicht dieselbe Doppeldeutigkeit, die im Begriff „objektiv“ steckt: manchmal ist „objektiv“ als „real“ gemeint und manchmal als „intersubjektiv gültig“. Genauso bezieht sich das Adjektiv „ontologisch“ manchmal auf die Welt-an-sich, und manchmal auf die „Welt-für-uns (alle)“. So gesehen, wird auch der Begriff „epistemisch“ gewissermaßen irreführend. Denn wenn man sich mit „epistemisch“ auf eine *prinzipielle* Erkenntnis bezieht, tendiert der Unterschied zu „ontologisch“ zu verschwinden. Wenn man z.B. behauptet, dass eine gewisse Unvorhersagbarkeit der Phänomene *prinzipiell* unüberwindbar ist, meint man damit auch, dass die „Welt-für-uns (alle)“ (oder sogar die Welt „an sich“) indeterministisch ist. Wenn Laplace behauptet, dass man *prinzipiell* alle Ereignisse vorhersehen könnte, meint er wahrscheinlich damit, dass die Welt „an sich“ deterministisch strukturiert ist.

Man könnte natürlich noch wie folgt argumentieren: der Determinismus ist epistemisch, wenn er sich auf die Erkenntnis bezieht, und ontologisch, wenn er sich auf die Realität bezieht; dabei hat sich der Begriff von „Realität“ im Laufe der Geschichte einfach geändert, was aber die besagte Klassifizierung an sich nicht betreffen soll. Dementsprechend müsste man aber bei einer historischen Untersuchung gewisse begriffliche Schwierigkeiten in Rechnung stellen, z. B.:

- Wenn wir mit „ontologisch“ „die Welt-an-sich betreffend“ meinen, wie kann man der Kausalität und dem Determinismus bei Kant eine „ontologische“ Bedeutung zuschreiben⁵⁹? Kant schreibt nämlich ganz explizit, dass die „Dinge *an sich*“ dem Grundsatz der Kausalität „*nicht* unterworfen sind“⁶⁰.
- Wenn wir mit „ontologisch“ „die Welt-an-sich betreffend“ meinen, wie kann es sein, dass der „ontologische“ Indeterminismus genau in der Zeit auftaucht, in der der Begriff von einer „Welt-an-sich“ immer mehr in Frage gestellt wird (d.h. von der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bis zur Entwicklung der Quantenmechanik⁶¹)?⁶²

⁵⁹ Überhaupt wird Kant gerne in der Literatur als Determinist betrachtet (vgl. z.B. Stöltzner 2003a, z.B. S. 84, und Norton 2003, z.B. S. 7); seine Position ist aber viel subtiler, auch wenn man sich auf seine Erkenntnistheorie beschränkt und seine Verteidigung des freien Willen nicht berücksichtigt. Die Frage nach der Bedeutung der Kantischen Philosophie in Bezug auf den Determinismus behandle ich ausführlich im § 3.a und b, in dem ich die Kantische Erkenntnistheorie und Wissenschaftsphilosophie eher im Sinne einer *Schwächung* des Determinismus interpretiere.

⁶⁰ Kant (1998 [1787²]), S 29; meine Hervorhebung. Man bemerke auch, dass Kant an dieser Stelle dabei ist, für den freien Willen (d. h. für einen ethischen *Indeterminismus*) zu argumentieren.

⁶¹ Idealismus, Positivismus, Pragmatismus sind die (von einander sehr unterschiedlichen) Wegbereiter jener antirealistischen Ansichten, die später in der Kopenhagener Deutung der Quantenmechanik vorhanden sind (vgl. Beller 1999, Part Two). Aber genau in Bezug auf die Kopenhagener Deutung wird normalerweise behauptet, dass sie das definitive Auftauchen des *objektiven* Indeterminismus bedeutet!

Solche Schwierigkeiten, in die der traditionelle Unterschied „epistemisch/ontologisch“ geriet, hoffe ich durch eine neue, differenziertere „Klassifizierung“ vermeiden zu können.

Ziehen wir den folgenden Satz (WD, IV) in Betracht, der den wissenschaftlichen Determinismus noch mal formuliert:

(WD, IV)

Die Entwicklung der Welt bzw. eines bestimmten Systems ist zu jeder Zeit völlig vorherbestimmt, und zwar in dem Sinne, dass sie den oben erwähnten Charakterisierungen (WD^e) oder (WD^z) entspricht⁶³.

Fragen wir uns nun, wie dieser Satz aufzufassen sei, können wir in historischer und systematischer Hinsicht (mindestens) fünf Auffassungen unterscheiden:

1. „Realistische Auffassung“: (WD, IV) bezieht sich auf die Realität – unabhängig von unserer Erkenntnis.

Entsprechende Umformulierung von (WD, IV): „Die Entwicklung der Welt (oder eines beliebigen Systems) an sich ist völlig vorherbestimmt – egal, was wir davon wissen“.

2. „Kontrafaktisch-epistemische Auffassung“: (WD, IV) bezieht sich auf unsere *prinzipielle* Erkenntnismöglichkeiten.

⁶² Das Adjektiv „objektiv“ bringt sehr ähnliche Verwirrungen, wenn es auf die Auffassungen der Wahrscheinlichkeit angewendet wird. Hier kann ich nur zwei Beispiele erwähnen, die ähnliche Schwierigkeiten mit sich bringen, wie das Adjektiv „ontologisch“ in Bezug auf die Determinismusfrage: (1) Es wird behauptet, dass der Frequentismus eine *objektive* Wahrscheinlichkeitsauffassung ist, die sich im 19. Jahrhunderts verbreitet. Eine objektive – im Sinne von realistische - Auffassung der Wahrscheinlichkeit sollte der *Welt-an-sich* eine statistische Natur zuschreiben. Nun wird gerade im 19. Jh. der Begriff selbst von einer „Welt-an-sich“ von den verschiedensten Seiten angegriffen – vom Idealismus, vom Positivismus, vom Pragmatismus.... Später bringen Richard von Mises und Hans Reichenbach den Frequentismus zur reifsten Formulierung, und er wird die üblichste Wahrscheinlichkeitsauffassung im Logischen Empirismus (vgl. unten, § 7.c.): im Rahmen des Logischen Empirismus wird aber der Begriff von „Welt-an-sich“ als metaphysisch abgelehnt. Wie kann man daraus ein kohärentes Bild rekonstruieren, wenn man die Undeutlichkeit von „objektiv“ nicht monosemiert? (2) Nehmen wir jetzt an, dass „objektiv“ sich nicht auf die Welt-an-sich bezieht, sondern auf die ‚Welt-für-uns (alle)‘ – also: „objektiv“ hieße danach etwas wie „intersubjektiv gültig“. Wieso sollte dann die logische Auffassung der Wahrscheinlichkeit *nicht* als „objektive“, sondern als „epistemische“ Auffassung klassifiziert werden (wie normalerweise der Fall ist)? Nach der logischen Wahrscheinlichkeitsauffassung gilt nämlich das Folgende: „When once the facts are given which determine our knowledge, what is probable or improbable in these circumstances has been fixed objectively, and is independent of our opinion.“ (Keynes 1921, zit. in: Gillies (2000), S. 33). Der Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeitsbegriff und Determinismusfrage ist naheliegend: es geht darum, festzustellen, ob die (Un)determiniertheit, die in unserem „bloß“ probabilistischen Wissen steckt, als Unvorhersagbarkeit (für uns) oder als Unvorherbestimmtheit der Ereignisse an sich aufzufassen sei. Die Hauptrolle der Wahrscheinlichkeit in Bezug auf die Entstehung der Determinismusfrage wird unten, im Kap. 4 im Mittelpunkt stehen.

⁶³ Vgl. oben, § 1.a.

Entsprechende Umformulierung von (WD, IV): „Die Entwicklung der Welt (oder eines beliebigen Systems) könnten wir im Prinzip immer mit beliebiger Präzision vorhersagen“.

3. „Aprioristische Auffassung“: (WD, IV) ist eine notwendige Voraussetzung der (wissenschaftlichen) Erkenntnis.

Entsprechende Umformulierung von (WD, IV): „(Wissenschaftliche) Erkenntnis ist nur dann möglich, wenn wir die Entwicklung der Welt (oder eines beliebigen Systems) als völlig vorherbestimmt betrachten“.

4. „Heuristische Auffassung“: In der wissenschaftlichen Praxis ist es nützlich bzw. fruchtbar, (WD, IV) anzunehmen.

Entsprechende Umformulierung von (WD, IV): „(Wissenschaftliche) Erkenntnis ist gefördert, wenn wir annehmen, dass die Entwicklung der Welt (oder eines beliebigen Systems) völlig vorherbestimmt ist“.

5. „Faktisch-epistemische Auffassung“: (WD, IV) bezieht sich auf unsere *tatsächliche* Erkenntnis.

Entsprechende Umformulierung von (WD, IV): „Die Entwicklung der Welt bzw. eines gewissen Systems⁶⁴ können wir tatsächlich mit beliebiger Präzision vorhersagen“.

Diese diversen Behauptungen entsprechen *unterschiedlichen Arten von Fragen*, die man sich im Kontext der Wissenschaft stellen kann. Dementsprechend unterschiedlich sind daher auch die *Kriterien*, nach denen man die Plausibilität dieser verschiedenen Formulierungen des Determinismus einschätzen kann: insbesondere, die Bedeutung der vorhandenen empirischen *Evidenz* für die jeweilige Version des Determinismus ist unterschiedlich einzuschätzen.

Die „realistische Auffassung“ des Determinismus beantwortet die Frage nach der Natur der realen Welt. Es geht darum, ob der Determinismus *real oder nicht real* ist, bzw. ob (WD, IV) *wahr oder falsch* im Sinne einer Korrespondenzauffassung der Wahrheit ist. Die Behauptung der Wahrheit des Determinismus in diesem Sinne wollen wir „Determinismus **im realistischen Sinne**“ benennen.

Sowohl die „kontrafaktisch-epistemische“, als auch die „aprioristische Auffassung“ des Determinismus betreffen die Einschätzung des Grads an Vollkommenheit unserer Erkenntnis

⁶⁴ Die maximale „Breite“ des Determinismus (vgl. unten, § 1.d) eignet sich natürlich nicht besonders für eine „faktisch-epistemische Auffassung“ des Determinismus; diese letzte wird erst plausibel (aber nicht unbedingt wahr!), wenn man sich auf ein beschränktes Systems (oder auf eine Klasse von Systemen) bezieht.

bzw. unserer Wissenschaft. Indem sie beide eine Vorstellung der (wissenschaftlichen) Erkenntnis in ihrer Vollkommenheit implizieren, enthalten beide eine starke normative Komponente: sie lassen die Annahme des Determinismus als *notwendig* erscheinen bzw. sie drücken den Determinismus als absolutes Ideal für die Erkenntnis aus. Beide Formulierungen fassen also den Determinismus in einem **normativen Sinne** auf.

Die „heuristische Auffassung“ des Determinismus enthält auch eine – wenn auch schwächere – normative Komponente: allerdings bezieht sie sich nicht so sehr auf ein Idealbild der Erkenntnis, sondern betrifft die pragmatische Frage darüber, was *nützlich* bzw. *hilfreich* für die Entwicklung der Wissenschaft ist. Die Behauptung, dass die Annahme von (WD, IV) in diesem Sinne nützlich ist, nennen wir „Determinismus **im pragmatischen Sinne**“.

Schließlich kann der Determinismus auch die Form einer Konstatierung annehmen, die die tatsächliche Vorhersagbarkeit eines gewissen Systems oder einer gewissen Klasse von Systemen betrifft. Die Frage wäre in diesem Fall, ob die deterministische Natur von solchen Systemen tatsächlich als *bestätigt* gelten kann. Eine positive Antwort auf diese Frage nennen wir „Determinismus **im feststellenden Sinne**“.

Meine „Klassifizierung“ lässt sich in der folgenden Tabelle zusammenfassen:

<i>Auffassung des Determinismus</i>	<i>Kriterium, um den D. einzuschätzen: (WD, IV) ist...</i>	<i>Fragengebiet</i>	T i e f f e
Im feststellenden Sinne	Bestätigt oder nicht bestätigt?	Frage nach der Deutung tatsächlich vorhandener Erkenntnis	
Im pragmatischen Sinne	Eine nützliche oder nützlose Annahme?	Frage nach der fruchtbarsten Heuristik in der Wissenschaft	
Im normativen Sinne	Eine notwendige oder nicht notwendige Annahme?	Frage nach dem Idealbild unserer wissenschaftlichen Erkenntnis	
Im realistischen Sinne	Wahr (real) oder falsch?	Frage nach der Natur der Welt	

Wie schon erwähnt, unterscheiden sich die verschiedenen Auffassungen des Determinismus voneinander auch in Bezug auf ihr Verhältnis mit der empirischen Evidenz. Die Relevanz der empirischen Evidenz für die Bestätigung (oder Falsifizierung) der jeweiligen Determinismusauffassung nimmt – mit Bezug auf die Tabelle – von oben nach unten ab. Anders ausgedrückt: der Grad an Unterdeterminiertheit der verschiedenen Auffassungen des Determinismus steigt, wenn wir die Tabelle von oben nach unten betrachten. Konventionalistische Komponenten können natürlich auch die Relevanz empirischer Evidenz für die Behauptung des Determinismus im feststellenden bzw. im pragmatischen Sinne schwächen: im Lichte derselben Evidenz könnte man z.B. dasselbe System als deterministisch oder als nicht-deterministisch betrachten, je nach dem, welchen Grad der Präzision bei der Voraussage man mit dem Begriff des Determinismus verbindet. Oder auch: anhand eines tatsächlichen Erfolgs bei der Vorhersage von Phänomenen oder von Klassen von Phänomenen, kann man immer noch behaupten, dass eine solche Vorhersagbarkeit sich bloß relativ zu einem möglichen Modell verhält, während dieselben Phänomene im Rahmen eines anderen, realitätstreueren oder irgendwie besseren Modells prinzipiell unvorhersagbar wären. Der Vorhersagbarkeit einiger Phänomene im Makro-Bereich haben z.B. manche Autoren (wie z.B. Franz Exner oder Edgar Zilsel) entgegengesetzt, dass sie nur aus der statistischen Konvergenz gegen einen Durchschnittswert entsteht (dank des Gesetzes der großen Zahlen), wobei die *ursprünglicheren* Phänomene sich indeterministisch entwickeln und nicht genau vorhersagbar wären⁶⁵. Wie schon erwähnt, ob ein System für deterministisch oder nicht-deterministisch erklärt wird, hängt wesentlich davon ab, wie man die Systemzustände charakterisiert und auf welcher „Ebene“ (z.B. Mikro oder Makro) die Beschreibung des Systems stattfindet. Auch die Einschätzung der Bedeutung von empirischer Evidenz in Bezug auf den Determinismus im pragmatischen Sinne lässt der Interpretation einen gewissen Spielraum: ob der Determinismus eine nützliche Annahme für die Wissenschaft ist, oder nicht, hängt davon ab, wie wir diese Nützlichkeit auffassen.

Für keine der verschiedenen Auffassungen des Determinismus gibt es also eine eindeutige empirisch-physikalische Evidenz. Trotzdem wiegt die empirische Evidenz viel mehr in der Einschätzung des Determinismus im feststellenden Sinne und im pragmatischen Sinne als im normativen und im realistischen Sinne: wie schon erwähnt, sind beide Behauptungen, dass die Entwicklung der Welt „an sich“ deterministisch ist, und dass wir sie prinzipiell immer vorhersagen könnten, angesichts jeglicher Evidenz immer „rettbar“. Auch die Behauptung einer

⁶⁵ Über Exner und Zilsel vgl. unten, Kap. 7.

„Notwendigkeit“ des Determinismus in beiden Kantischen Sinnen von „transzendental“ bzw. von „apriori“ entzieht sich *per definitionem* einer empirischen Überprüfung. Die realistische und die normative Auffassung des Determinismus können eher als Ausgangspunkt eines „rationalistischen“ oder „deduktivistischen“ Ansatzes dienen, bei dem die Vorstellung des Determinismus nicht aus den Phänomenen induziert wird, sondern als „Brille“ fungiert, um an die Phänomene heranzugehen und um sie zu deuten.

Die Unterdeterminiertheit bzw. die empirische Unentscheidbarkeit der Determinismusfrage verringert nicht unbedingt ihre Bedeutung für die Wissenschaft. So verteidigt z.B. Earman (1986, S. 10) die Plausibilität selbst der im höchsten Grad unterdeterminierten Determinismusauffassung⁶⁶:

Unlike Popper and his kindred spirits in logical empiricism, I am not afraid to attach the label ‘metaphysical’ to the doctrine of determinism; indeed, it seems to me that determinism as James, Laplace and others understand it is *both* ‘scientific’ *and* ‘metaphysical’. Like Popper, I am interested in how scientific evidence, reasoning, and inference can be brought to bear on the doctrine of determinism. But the ties that bind determinism to hard empirical evidence (however that is taken) are far too complex, subtle and tenuous to be encapsulated in a tidy formula couched in terms of falsifiability, verifiability, testability, or the like. Nevertheless, I hold that the evidential grounding of determinism is not mysterious, or at least it is no more mysterious than the grounding of many other high level scientific claims, viz., that total energy is conserved or that the temporal evolution of the world is time reversible.

d. Die „Breite“ des wissenschaftlichen Determinismus

Die Möglichkeit einer empirischen Untermauerung des Determinismus hängt nicht nur mit seiner „Tiefe“ sondern auch mit seiner „Breite“ zusammen: je „tiefer“ und je „breiter“ der Determinismus gemeint ist, desto dünner wird seine Bindung an die empirische Basis. Mit „Breite“ meine ich die „Weite“ des Objektes, dem eine deterministische Entwicklung zugeschrieben wird – wie im Folgenden klarer werden soll.

Wie schon bemerkt, lässt sich schon anhand eines kurzen Vergleichs zwischen der Laplaceschen Determinismusauffassung und den modernen Formulierungen des Determinismus behaupten, dass die Auffassung des Determinismus im Laufe der Geschichte der Determinismusfrage „bescheidener“ geworden ist (vgl. oben, § 1.a). Diese „Bescheidenheit“ betrifft auch die „Breite“ des Determinismus: während Laplace von einem ganzen

⁶⁶ Wie aus dem Zitat, das am Anfang vorliegenden Absatzes steht, hervorgehen soll, bezieht sich Earman auf den Determinismus im realistischen Sinne, wenn er von Determinismus redet.

deterministischen *Universum* geträumt hat, ist heute z.B. „nur“ von bestimmten deterministischen *Theorien* oder von bestimmten deterministischen *Systemen* die Rede.

Mit „Determinismus als Weltbild“ möchte ich die maximale Breite des Determinismus bezeichnen: in diesem Fall – von dem die Laplacesche Determinismusauffassung ein Beispiel ist – identifiziert man das System, dessen Entwicklung von (WD^e) bzw. von (WD^z) beschrieben wird, mit der ganzen Welt, d.h., mit „allem, was es gibt“. Eine Behauptung darüber, wie die *ganze* Welt ist bzw. wie sich die *ganze* Welt entwickelt, ist natürlich ziemlich anspruchsvoll; im Fall des Determinismus hat sie aber wenigstens den Vorteil, dass sie die Voraussetzung der „Isolierbarkeit“ des Systems (vgl. oben, § 1.a) leicht erfüllt: wenn wir die ganze Welt (d.h. alles, was es gibt) in Betracht ziehen, können wir sicher sein, dass nichts außerhalb unseres Systems übrig bleibt, das seine (deterministische) Entwicklung „stören“ könnte.

Die Idee, dass der Determinismus nicht nur physikalische Systeme oder physikalische Theorien betrifft, sondern die „ganze Welt“, lässt sich auch weiter spezifizieren, so dass andere „Arten“ von Determinismus daraus entstehen. Wenn man nämlich z.B. präzisiert: „der Determinismus gilt in Bezug auf die ganze Welt, *also* auch für die Lebewesen“, gelangt man zur Frage des Determinismus im Bereich der Biologie oder der Lebenswissenschaften – eine Frage, die vor allem nachdem Darwin 1859 seine Evolutionstheorie formuliert hat, relevant geworden ist. Diese Frage per se würde sich als Gegenstand einer eigenen wissenschaftsphilosophischen Arbeit eignen. Ich werde dieses wissenschaftliche Problem als solches allerdings in der vorliegenden Arbeit nicht behandeln, sondern nur an jenen Stellen aufgreifen, an denen ich auf die entsprechenden Debatten der Physik eingehe⁶⁷.

⁶⁷ Eine solche Einschränkung entspricht nicht nur den normalen Grenzen einer Dissertation: sie kann auch inhaltlich teilweise gerechtfertigt werden. Gewissermaßen ist der „lebenswissenschaftliche (In)determinismus“ im Vergleich zu dem „physischen“ sekundär – und zwar sicherlich nicht in Hinsicht auf seine Wichtigkeit oder auf seinen Wert, sondern im logischen und historischen Sinn. Ich beziehe mich auf die Tatsache, dass der „lebenswissenschaftliche (In)determinismus“ – und insbesondere die Frage um die Vorhersagbarkeit/Vorherbestimmtheit der Lebensphänomene bei lebendigen Organismen – üblicherweise von der Frage abhängt, inwiefern das Organische auf das Anorganische reduziert werden kann oder inwiefern die Biologie auf die Physik (und auf die Chemie) reduziert werden kann. In dieser Hinsicht gehört die Determinismusfrage ursprünglich der Physik, und sie verbreitet sich im Bereich der Lebenswissenschaften erst wenn die Frage gestellt wird, ob das Lebendige auch der Physik gehört. Diese Behauptung wird im *Historischen Wörterbuch der Philosophie* unter dem Stichwort „Vitalismus“ insofern bestätigt, als es gezeigt wird, wie die vitalistische (d. h. antireduktionistische) Auffassung des Lebendigen als „Gegenströmung“ zu den modernen (seit dem 16.-17. Jh. sich verbreitenden) mechanistischen und materialistischen Ansichten im Bereich der Naturwissenschaften auftaucht (Vgl. Ritter, J. – Gründer, K. – Gabriel, G. (2001), Bd. 11, S. 1076-1077. Die Behauptung trifft vielleicht weniger auf die Debatte „Zufall vs. Plan in der Evolution“ zu, aber diese Debatte ist logisch weniger mit meinem Hauptthema verbunden). In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wird dann der Indeterminismus ein vorteilhafter Begriff, um den Bereich des Lebendigen der angeblich deterministischen Physik zu entziehen. Da aber indeterministische Ansichten fast gleichzeitig anfangen, sich auch im Bereich der Physik zu verbreiten, wird das Problem komplexer: es wird kurz später umgekehrt möglich, sich an die (Quanten)physik zu berufen, um das Leben dem Determinismus zu entziehen. Diese komplizierte Dialektik zwischen Biologie und Physik wird im Rahmen vorliegender Arbeit nur ansatzweise besprochen.

In ähnlicher Weise könnte man den Determinismus als Weltbild so präzisieren: „der Determinismus gilt im Bezug auf die ganze Welt, *also* auch für menschliche mentale Zustände und Taten“. Wir hätten somit beinahe die These des „ethischen Determinismus“ (ED) formuliert:

(ED) [...] the thesis that all our mental states and acts, including choices and decisions, and all our actions are effects necessitated by preceding causes⁶⁸

Die Verbindung des wissenschaftlichen Determinismus mit dem ethischen Determinismus wurde und wird im Rahmen des berühmten Problems des freien Willens heftig diskutiert⁶⁹. Ähnlich wie im Fall des Determinismus in den Lebenswissenschaften werde ich aber die Frage um den freien Willen *nur dann* berücksichtigen, wenn sie im Laufe meiner historischen Rekonstruktion im Zusammenhang mit dem wissenschaftlichen Determinismus auftaucht. Das heißt, dass die vorliegende Arbeit sich auf den wissenschaftlichen Determinismus konzentriert, und das (viel ältere) Problem des freien Willens *an sich* nicht betrachtet⁷⁰.

Sowohl der Determinismus im Bereich der Lebenswissenschaften als auch der Determinismus im Bereich der Ethik hängen mit der „Breite“ der Determinismusauffassung nur auf eine spezielle Weise zusammen: es geht eigentlich nicht so sehr darum, wie groß der Anteil der Welt ist, die der Determinismus beschreibt, sondern darum, welcher Art von Beschreibung eine Priorität zuerkannt werden soll. Wie schon erwähnt, hängt eine Antwort auf die Determinismusfrage davon ab, wie bzw. auf welcher Ebene die Phänomene beschrieben werden: insbesondere setzt der Determinismus voraus, dass die deterministische Beschreibung eines Systems die „echte“ Natur bzw. die wesentlichen Merkmale dieses Systems wiedergibt (vgl. oben, § 1.a). Dementsprechend kann die „Breite“ des wissenschaftlichen Determinismus auf Lebewesen und auf menschliche Handlungen in dem Sinne „erweitert“ werden, dass einer physikalischen, möglicherweise deterministischen Beschreibung biologischer Phänomenen oder menschlicher Absichten oder Taten eine Priorität oder eine besondere „Realitätsnähe“ zugeschrieben wird. Man behauptet, dass man diese letzten Phänomene auf physikalische Phänomene *reduzieren* könne. Die „maximale Breite“ des Determinismus hängt in dem Sinne

⁶⁸ Weatherford (2005c), S. 313.

⁶⁹ Vgl. z.B. Kane (Hrsg. 2002), Part II.

⁷⁰ Das Problem des freien Willens ist „perhaps the most voluminously debated of all philosophical problems“ Matson (1987), zit. in: Kane (Hrsg. 2002), S. 3. Vgl. auch Rosenberger (2006), S. 9.: „Seit über 2000 Jahren gehört die Debatte um Determination und Willensfreiheit zu den Dauerbrennern philosophischer und weltanschaulicher Debatten. Nahezu in allen Jahrhunderten ist der literarische Niederschlag dieser Debatte so groß, dass er sich einer vollständigen Wiedergabe entzieht. Das gilt erst recht zu Beginn des 21. Jh. Niemand vermag mehr zu überblicken, wer sich wann und wo zu diesem Thema zu Wort meldet“.

mit dem Reduktionismus zusammen, als sie impliziert, dass der Determinismus nicht nur für „alle Phänomene“ sondern vielmehr für „alle Arten von Phänomenen“ gilt: alle Arten von Phänomenen seien auf physikalische, sich deterministisch entwickelnde Phänomene reduzierbar.

Historisch gesehen hat der Versuch, den wissenschaftlichen Determinismus auf Lebewesen und menschliche mentale Zustände und Handlungen zu erstrecken, immer heftige und emotional stark beladene Debatten ausgelöst, bei denen auch weltanschauliche Komponenten eine wichtige Rolle gespielt haben. Jede Formulierung des (In)determinismus, in der außerwissenschaftliche Komponenten – insbesondere ethische und politische Argumente – eine wesentliche Rolle spielen, werde ich als „Determinismus als Weltanschauung“ benennen. Natürlich gilt für manche Formulierungen, dass diese Komponenten nicht ganz bewusst oder explizit vorhanden sind, dass sie also nur aus einer späteren Perspektive sichtbar werden⁷¹.

Weniger reich an außerwissenschaftlichen Implikationen und geläufiger in der modernen Wissenschaftstheorie (die keine Naturphilosophie mehr ist, sondern eine enge Verwandte der analytischen Philosophie) sind Ausdrücke wie „deterministisches Gesetz“, „deterministische Theorie“ und „deterministisches System“⁷². Dabei wird der Begriff „Determinismus“ zu einem Adjektiv, durch das ein „beschränktes“ Objekt beschrieben wird: die erwähnten Ausdrücke werde ich unter dem Begriff „deterministisch als Bezeichnung“ subsumieren.

Die Bezeichnung „*deterministische Gesetze*“ hat lange als Synonym des geläufigeren Begriffs „Kausalgesetze“ gegolten⁷³, und tut das noch immer; solange zumindest die Wahrscheinlichkeit nicht völlig und einstimmig in den Kausalitätsbegriff einbezogen wird⁷⁴. Mit „deterministischem Gesetz“ meint man normalerweise ein Gesetz, das erlaubt, ausgehend von der Erkenntnis des Zustands eines physikalischen Systems zu einer Zeit t_0 den Zustand dieses Systems zu einer anderen Zeit t_1 (oder t_{-1}) eindeutig und mit Gewissheit zu berechnen. Diese Formulierung ist natürlich rein epistemisch: wenn man dagegen die „*Naturgesetze*“ als „deterministisch“ betrachtet, oder denkt, dass unsere wissenschaftlichen, deterministischen

⁷¹ Die Grenze zwischen inner- und außerwissenschaftlich ist natürlich selbst höchst problematisch und wird im Laufe der Wissenschaftsgeschichte unterschiedlich gezogen.

⁷² „Strenggenommen kann der Ausdruck ‚deterministisch‘ auf *dreierlei* bezogen werden: auf *Gesetze* bzw. Gesetzaussagen, auf *Theorien* und auf *physikalische Systeme*“ (Stegmüller (1969), S. 452). Heutzutage kann gelegentlich die Rede auch von „deterministischen Modellen“ oder „deterministischen Beschreibungen“ sein (vgl. z.B. Bishop 2002 und Wendl 2011).

⁷³ Daher werden die Ausdrücke „Kausalgesetz“ oder „Kausalprinzip“ oft als Synonyme für „Determinismus“ benutzt. Über das Verhältnis zwischen Determinismus und Kausalität vgl. oben, § 1.b.

⁷⁴ Während Stegmüller im Jahr 1969 immer noch der Meinung war, dass der „Begriff des Kausalgesetzes uninteressant und farblos werden [würde], wollte man statistische Gesetze in die Klasse kausaler Gesetzmäßigkeiten mit einbeziehen“ (Stegmüller 1969, S. 453) ist heute die Idee einer „probabilistischen Kausalität“ in der Wissenschaftsphilosophie verbreitet (vgl. Hitchcock 2002).

Gesetze die Gesetzmäßigkeit der Natur genau widerspiegeln, gibt man diesem Determinismus eine realistische Bedeutung.

Eine *deterministische Theorie* soll dann eine Theorie sein, die nur deterministische Gesetze liefert. Schließlich wird ein *System* normalerweise „deterministisch“ genannt, wenn es durch deterministische Gesetze bzw. durch eine deterministische Theorie beschrieben wird (epistemische Version) bzw. wenn es deterministischen Naturgesetzen gehorcht (realistische Version)⁷⁵.

Wenn von „Gesetzen“, „Theorien“ oder „Systemen“ die Rede ist, ist die Alternative⁷⁶ zu „deterministisch“ meistens *nicht* „indeterministisch“ sondern „statistisch“ oder „stochastisch“. In Fällen, in denen keine „deterministischen“ Erklärungen für Phänomene bereitgestellt werden können, tendiert der Wissenschaftler dazu, zumindest statistische Regelmäßigkeiten kenntlich zu machen: die Ausdrücke „indeterministische Gesetze“ oder „indeterministische Theorien“ klingen innerhalb der Wissenschaft quasi wie ein Oxymoron. Insbesondere im Bereich der Physik besteht eigentlich keine Alternative zwischen Gesetzmäßigkeit und Nicht-Gesetzmäßigkeit (oder Zufall, oder sogar Freiheit), sondern zwischen unterschiedlichen Arten von Gesetzmäßigkeit.

Im Fall von „Beschreibungen“, „Modellen“ oder „Systemen“ kommen aber nicht nur die Bezeichnungen „stochastisch“ oder „chaotisch“⁷⁷ sondern auch die Bezeichnung „indeterministisch“ vor⁷⁸. Der Begriff des „Systems“ erweist sich dann als besonders geeignet, wenn der fachliche wissenschaftliche Diskurs zugunsten der Ausbildung eines Weltbildes verlassen wird: wenn nun unter „System“ die ganze Welt subsumiert wird, gelangen wir wieder zum Determinismus als Weltbild.

Im Lichte dessen, was in diesem Absatz gesagt wurde, können wir abschließend auch die „Breite“ des Determinismus mittels einer Tabelle veranschaulichen:

⁷⁵ Für genauere Definitionen vgl. Stegmüller (1969), S. 453 und Ströker (1990), S. 12. In beiden Aufsätzen werden aber die epistemische und die ontologische Seite nicht unterschieden: man neigt wie in den modernen Auseinandersetzungen mit dem Thema dazu, die ontologische Auffassung zu vernachlässigen.

⁷⁶ Ich benutze hier absichtlich das Wort „Alternative“ statt „Gegensatz“, weil deterministische und statistische Beschreibungen sich prinzipiell nicht ausschließen.

⁷⁷ Von „chaotischen Systemen“ ist erst seit der Entwicklung der Chaosforschung in den 1960er Jahren die Rede.

⁷⁸ Vgl. z. B. Stegmüller (1969), S. 486; Ströker (1990), S. 12, Ludwig (1990), S. 62, und Wendl (2011).

<i>Determinismus...</i>	<i>Objekt</i>	<i>Gegenpol</i>	<i>B r e i t e</i>
Als Bezeichnung („deterministisch“)	Gesetz Theorie Beschreibung Modell System	Statistisch / stochastisch Chaotisch Indeterministisch	
Als Weltbild	Welt (der Tatsachen)	Indeterminismus (ggf. Zufall)	
Als Weltanschauung	Welt (inkl. Gefühle, Handlungen und Werte)	Indeterminismus (ggf. freier Wille)	

Wie am Anfang dieses Absatzes schon erwähnt, gilt auch für die „Breite“ des Determinismus das, was schon bezüglich der „Tiefe“ bemerkt wurde: die Koppelung der jeweiligen Determinismusauffassung an die mögliche empirische Evidenz sowie die empirische Überprüfbarkeit der jeweiligen Determinismusauffassung werden schwächer, wenn man die Tabelle von oben nach unten betrachtet. Wenn die „Breite“ des Determinismus sich auf die ganze Welt erstreckt, wird es schwierig, die entsprechende Behauptung (d.h. dass die *ganze Welt* sich deterministisch entwickelt) zu überprüfen. Der induktive Schritt von der deterministischen Natur eines Gesetzes oder eines bestimmten (beschränkten) Systems zur Behauptung der deterministischen Natur der ganzen Welt ist viel zu kühn. Allerdings könnte die Auffassung des Determinismus als Weltbild oder als Weltanschauung im normativen oder im pragmatischen Sinne (wie oben definiert) gemeint sein: sie würde dann als eine *a priori* begriffliche Ausrüstung dienen, um das Erfahrene zu interpretieren oder zu systematisieren. Schließlich suggeriert die Tabelle eine weitere Reflexion darüber, wie eine Ablehnung des Determinismus charakterisiert werden soll. Die Tabelle zeigt nämlich deutlich, dass *die*

Determinismusfrage nicht auf den Gegensatz Determinismus vs. Indeterminismus reduziert werden kann: Wenn die Determinismusfrage sich auf ein begrenztes Objekt bezieht (Gesetz, Theorie usw.), ist die Alternative zu „deterministisch“ nicht unbedingt „indeterministisch“.

Die folgenden Worte Neuraths (1981 [1914/15], S. 87-88) kann man übrigens auch auf die Dichotomie „Determinismus vs. Indeterminismus“ beziehen:

Die Dichotomien sind [...] nicht nur gedanklich roh, sie sind meist ein Produkt wissenschaftlicher Rauflust. Man charakterisiert den Gegner möglichst scharf, um ihn möglichst energisch niederschlagen zu können. Übergänge sind bei solchen Gelegenheiten nur hinderlich. Dichotomien sind so ein Ergebnis des kriegesischen Geistes. Wieweit Dichotomien [...] gerade durch ihre Mangelhaftigkeit anregend auf das wissenschaftliche Leben wirken, will ich hier nicht näher überprüfen. Selbst wenn das der Fall wäre, wären sie zwar der Wissenschaft nützlich, aber selbst unwissenschaftlich. [...]

Die meisten Historiker der Physik operieren aber mit Dichotomien, ebenso wie Historiker anderer Wissenschaften, als ob dieselben das naheliegendste wären.

Allerdings ist in der Literatur üblich, den Indeterminismus bloß als Negation des Determinismus aufzufassen:

We follow the nearly universal practice of taking ‚indeterminism‘ as simply the negation of determinism; so our discussion can focus on determinism⁷⁹.

Wenn man in den aktuellen Nachschlagewerken nach dem Begriff „Indeterminismus“ sucht, wird man normalerweise auf den Begriff „Determinismus“ verwiesen. Auch in der Sekundärliteratur zum Thema (In)determinismus spricht man oft von der „*Determinismusfrage*“⁸⁰; worin eine Dominanz des Determinismus sichtbar wird. Diese übliche *asymmetrische* Behandlung von „Determinismus“ und „Indeterminismus“ lenkt zwar die Aufmerksamkeit auf den ersten Begriff, suggeriert aber dabei paradoxerweise eine logische *Symmetrie* zwischen den beiden Begriffen: man geht davon aus, dass der Indeterminismus implizit *a contrario* definiert wird, sobald man den Determinismus definiert hat. Allerdings ist eine solche *a contrario* Definition eigentlich gar nicht eindeutig und selbstverständlich: den Gegensatz zu der Aussage, „alle Ereignisse sind vorherbestimmt“, kann man z. B. unterschiedlich verdeutlichen: „kein Ereignis ist vorherbestimmt“, „einige Ereignisse sind nicht vorherbestimmt“, „wenigstens ein Ereignis ist nicht vorherbestimmt“. Während der „Beweis“ der Vorherbestimmtheit eines Ereignisses offensichtlich ungenügend

⁷⁹ Butterfield (1998), S. 34.

⁸⁰ Vgl. z. B. Stegmüller (1969) und Marx (1990).

ist, um die Welt deterministisch zu erklären, kann der „Beweis“ der Unvorherbestimmtheit eines einzelnen Ereignisses die Plausibilität des Indeterminismus massiv steigern – *wenn* dieser letzte auf die Behauptung der Falschheit des Determinismus reduziert wird.

Dennoch scheint mir Folgendes zu gelten: weder ist das Gegenteil des Determinismus notwendigerweise als Indeterminismus zu bezeichnen (siehe Tabelle) noch ist der Indeterminismus hinreichend definiert, wenn man ihn bloß als das Gegenteil des Determinismus auffasst. Aus diesem Grund werde ich mich in der vorliegenden Arbeit nicht an dem Gegensatz Determinismus vs. Indeterminismus orientieren, sondern den Determinismus als Bezugspunkt behalten und die im Laufe der Geschichte jeweiligen Ablehnungen des Determinismus einzeln in Betracht ziehen, bevor ich sie als „Indeterminismus“ bezeichne (es sei denn, die Autoren selbst bezeichnen die eigene Position als „Indeterminismus“). Aus rein systematischer Sicht würde ich vorschlagen, dass man die bloße Ablehnung des Determinismus nicht gleich als „Indeterminismus“ bezeichnen soll, solange sie nicht durch eine *positive* Behauptung über die Beschaffenheit wissenschaftlicher Theorien⁸¹ oder über die Beschaffenheit der Welt⁸² ergänzt wird. Auch meine historische Untersuchung macht klar, dass eine Ablehnung des Determinismus nicht unbedingt von positiven indeterministischen Thesen begleitet wird: der Begriff des Indeterminismus taucht erst im späten 19. Jh. und erstmals nur sporadisch auf, lange nachdem der Determinismus in vielerlei Hinsicht bereits geschwächt und hinterfragt worden ist.

⁸¹ Eine solche Behauptung wäre z.B.: „Statistische Gesetze sind Fundamentalgesetze der Theorie und können prinzipiell nicht auf deterministische Gesetze reduziert werden“. Krüger (1987) bezeichnet als „probabilism“ „the view that statistical laws may be fundamental in scientific explanation“ (S. 59). Diese Bezeichnung hat den Vorteil, dass man nicht von „Indeterminismus“ spricht, wenn die Aufmerksamkeit sich doch auf (statistische) *Gesetze* richtet. Der Nachteil ist aber, dass „Probabilismus“ ein schon besetzter Fachterminus der Philosophie ist, der ursprünglich eine andere Bedeutung hatte.

⁸² Ich beziehe mich hier auf Aussagen, wie.: „Es gibt den absoluten Zufall“, oder „Es gibt spontane Phänomene, die keine Ursache haben“.

2. Der implizite wissenschaftliche Determinismus (IWD) im Rahmen der Entwicklung der klassischen Mechanik

a. Die *received opinion* über den wissenschaftlichen Determinismus: eine Kritik. Der implizite wissenschaftliche Determinismus (IWD)

Der *received opinion* über den wissenschaftlichen Determinismus zufolge stammt der Determinismus aus der „Newtonschen“ oder aus der „klassischen“ Physik und erreicht seinen Höhepunkt in der Laplaceschen Vorstellung einer allwissenden Intelligenz. Außerdem besteht Konsens darüber, dass die spätere Entwicklung der Quantenmechanik eine Wende zum wissenschaftlichen Indeterminismus bedeutet hat. So liest man z.B. im *Oxford Companion to Philosophy* über den Determinismus:

After Newton propounded his laws of gravitation and mechanics, Laplace pointed out that if a powerful intellect (usually called Laplace's demon) possessed an understanding of Newton's laws, and had a description of the current position and momentum of each particle in the universe, and the requisite mathematical ability, that powerful intellect could predict and retrodict every event in the history of the universe. This 'clockwork universe' came to dominate the physical theory of the next two centuries... Recently, however, quantum mechanics and relativity theory have generally displaced Newtonian mechanics... Many scientists and not a few philosophers believe that the dragon of determinism has been slain⁸³.

Solch eine lineare Geschichte, die sich inzwischen weitestgehend durchgesetzt hat, ist in vielen Hinsichten zu präzisieren bzw. zu revidieren. Ich werde mich im vorliegenden Kapitel darauf beschränken, den ersten Teil der *received opinion* direkt und indirekt zu hinterfragen, und zwar den Teil, der die Entstehung und die Entwicklung des wissenschaftlichen Determinismus betrifft. Die folgenden Kapitel meiner Arbeit implizieren hingegen eine Kritik des zweiten Teils der *received opinion*, indem sie zeigen, dass der Determinismus schon deutlich vor der Entstehung der Quantenmechanik in Frage gestellt oder sogar abgelehnt wurde.

Dabei ist es nicht meine Absicht, eine alternative Geschichte der Determinismusfrage zwischen 17. und 20. Jh. vollständig zu rekonstruieren. Meine Kritik an der *received opinion* soll lediglich einerseits zeigen, dass sie eine Revidierung bedürfte, andererseits soll sie dazu führen, einige wichtige Aspekte der Determinismusfrage hervorzuheben und zu reflektieren, die ein besseres Verständnis derselben Frage ermöglichen könnten.

⁸³ Weatherford (2005a), S. 209.

Die *received opinion* über den wissenschaftlichen Determinismus wurde mitunter auch schon in Frage gestellt. Eine relativ neue und bekannte Stimme gegen die *received opinion* über den wissenschaftlichen Determinismus ist z. B. die von Earman (1982; 2004):

Classical physics is supposed by philosophers to be a largely deterministic affair and to provide the paradigm examples of how determinism works. [...] And it is only with the advent of quantum theory that a serious challenge to determinism is supposed to emerge. [...] This picture is badly out of focus. Newtonian physics, I will argue, is not a paradise for determinism; in fact, Newtonian worlds provide environments that are quite hostile to determinism, and some of the alleged paradigm examples of Newtonian determinism are not examples of determinism at all [...] ⁸⁴

Earman weist z.B. auf die unüberwindlichen Schwierigkeiten hin, die die Berücksichtigung von Zusammenstößen bzw. von Wechselwirkungen zwischen mehr als zwei Körpern innerhalb der klassischen Physik bereiten ⁸⁵. Außerdem hebt er hervor, dass die klassische Physik keine Obergrenze für die Geschwindigkeit vorsieht: das bedeutet, dass man zu keinem geschlossenen deterministischen Weltbild gelangen kann, denn man kann nie ausschließen, dass ein Teilchen mit unendlicher Geschwindigkeit (d.h. auf unvorhersehbarer Weise) in die angeblich deterministische Entwicklung des Systems einstürzt und diese Entwicklung „stört“.

Neulich hat auch das sogenannte „Norton dome“ eine lebendige Debatte ausgelöst: es handelt sich dabei um ein von John Norton entworfenes physikalisches System, dessen Verhalten innerhalb der newtonschen Mechanik zu erklären sei und aber gleichzeitig indeterministisch sei ⁸⁶.

Dieses und andere *innerphysikalische* Beispiele führen aber nicht unbedingt zu einer Widerlegung der *received opinion* über die *Geschichte* der Determinismusfrage. Wesley Salmon (1998, S. 29) hat zum Beispiel auf den Standpunkt Earmans Folgendes erwidert:

Although Earman has shown conclusively that Newtonian mechanics is not deterministic, Laplace unquestionably considered it a thoroughly deterministic theory, and so it was generally regarded prior to the twentieth century.

Ich möchte weiters die Frage aufwerfen, *in welchem Sinne* man die Behauptung auffassen soll, dass Laplace die Newtonsche Mechanik als „deterministisch“ betrachtet hat: er selbst redet nämlich nie von „Determinismus“. Ernst Cassirer (2004 [1937]) hat behauptet, dass

⁸⁴ Earman (1982), S. 1-2.

⁸⁵ Ich werde unten, im § 6.b, mit Hinweis auf die Arbeit von Poincaré auf diese Frage zurückkommen.

⁸⁶ Vgl. Norton (2003; 2008) und – was die Diskussion betrifft – vgl. z.B. Zinkernagel (2010) und Malament (2008).

selbst jene berühmte und schon erwähnte (vgl. oben, § 1.a, (WD,I)) Stelle bei Laplace, die heute als Standardformulierung des Determinismus gilt, bloß als „eine geistreiche Metapher“⁸⁷ gemeint war, während der ‚eigentliche‘ wissenschaftliche Determinismus als „allgemeines erkenntnistheoretisches Prinzip“ erst im Rahmen des berühmten Vortrags von Du Bois-Reymond über *Die Grenzen der Naturerkenntnis* - d.h. erst um 1872 - formuliert worden sei⁸⁸.

Ian Hacking widmet dieser späteren Datierung der Entstehung des Determinismus seitens Cassirer ein ganzes Kapitel seines Buchs *The Taming of Chance*, in dem er auch eine historische Rekonstruktion der Anwendung des Worts „Determinismus“ zwischen den 1780er und den 1860er liefert⁸⁹. Anhand dieser Rekonstruktion behauptet er, dass der Begriff eines *wissenschaftlichen* „Determinismus“⁹⁰ sich in Europa zwischen 1854 und 1872 durchsetzte.

Somit scheinen auch Cassirer und Hacking von der *received opinion* abzuweichen, oder wenigstens von der Idee, dass der wissenschaftliche Determinismus aus der Newtonschen Physik entsteht: wenn man die Entstehung des Determinismus erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einordnet, trennen sie mehr als hundertfünfzig Jahre von der Verfassung der Newtonschen *Principia* im Jahr 1687. Beide Cassirer und Hacking versöhnen sich aber schließlich mit der *received opinion*, indem sie behaupten, dass der spät formulierte wissenschaftliche Determinismus eigentlich eine frühere Weltauffassung zum Ausdruck bracht. Laut Cassirer ist nämlich die Laplacesche Formel

nichts Geringeres, als der Gesamtausdruck und die prägnante Zusammenfassung jener Weltansicht, aus der die großen philosophischen Systeme des 17. Jahrhunderts: die Systeme des klassischen Rationalismus, erwachsen sind.⁹¹

Auch Hacking relativiert die Bedeutung der Abwesenheit des *Determinismusbegriffs* (im wissenschaftlichen Sinne) bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit folgenden Worten:

⁸⁷ Cassirer (2004 [1937]), S. 10. Vgl. auch S. 19: „Bei Laplace selbst tritt diese Formel [die Laplacesche Weltformel] nur als ein gelegentliches geistreiches Aperçu auf“.

⁸⁸ Cassirer (2004 [1937]), S. 10. Über den Vortrag von Du Bois-Reymonds vgl. unten, §6.a.

⁸⁹ Hacking (1990), Kap. 18. Vgl. auch Hacking (1983).

⁹⁰ Gegen Ende des 18. Jahrhunderts war das Wort „Determinismus“ in Europa zwar schon vorhanden, es bezeichnete aber die Bestimmung des Willens durch Motive oder durch andere Bedingungen. In diesem Sinne (d.h. im Bereich der Ethik) taucht das Wort „Determinismus“ erst auf Deutsch auf. Kant war anscheinend unter den ersten, die dieses Wort benutzten – und zwar in seinem Buch *Die Religion innerhalb der Grenzen der bloßen Vernunft* (1793): allerdings bezeichnet Kant hier das Wort als einen schlechten Neologismus (vgl. Hacking 1983, S. 458).

⁹¹ Cassirer (2004 [1937]), S. 19. Der Zusammenhang zwischen wissenschaftlichem Determinismus und Rationalismus soll im Laufe vorliegender Arbeit klarer werden.

Of course, absence of a word never proves absence of the corresponding idea. [...] Holbach called himself a “materialist” and La Mettrie a “mechanist” and I would not discount those authors as propounding versions of “modern” determinism⁹²

Was man aus diesen Bemerkungen von Cassirer und Hacking folgern kann, ist eine wichtige Unterscheidung, die in der *received opinion* über den Determinismus normalerweise nicht vorkommt: *die Unterscheidung zwischen der Entstehung des wissenschaftlichen Determinismus und der Entstehung des wissenschaftlichen Determinismusbegriffes*. Um dieser Unterscheidung gerecht zu werden, werde ich die Formulierungen des Determinismus, die vor der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vorkommen, und die wir *ex post* als „wissenschaftlichen Determinismus“ betrachten, als „**impliziten wissenschaftlichen Determinismus**“ (**IWD**) bezeichnen.

Um genauer zu sein: Mit (**IWD**) bezeichne ich die im vorigen Kapitel besprochenen Konzepte von (WD^e) und/oder (WD^z), so wie sie in der Zeit zwischen der Entwicklung der Mechanik (ab dem 17. Jh.) und dem Auftauchen des *Determinismusbegriffes im wissenschaftlichen Sinne* (in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts) vorkommen. Wie ich in den nächsten Absätzen zeigen möchte, sind (WD^e) oder (WD^z) innerhalb dieses Zeitraums meistens nicht als eine explizite „Lehre“ formuliert worden, sondern waren implizit im mathematischen Instrumentarium der klassischen Mechanik in Zusammenhang mit dem damaligen Wissenschaftsverständnis.

Die Tatsache, dass der wissenschaftliche Determinismus bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts implizit geblieben ist, scheint mir sehr wichtig zu sein: Der implizite wissenschaftliche Determinismus war lange ein Glaube, der nicht durch einen entsprechenden Begriff identifiziert wurde und dadurch auch von anderen möglichen Ansichten unterschieden werden konnte. Tatsächlich gab es anscheinend lange *keine* mit dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus konkurrierenden Ansichten (im Sinne einer allgemeinen und expliziten Ablehnung vom impliziten wissenschaftlichen Determinismus): die Behauptung, dass eine wissenschaftliche Theorie deterministisch sei, war lange quasi eine analytische Wahrheit, eine Tautologie - wie ich im Folgenden zeigen möchte. Der implizite wissenschaftliche Determinismus ist lange unhinterfragt geblieben, obwohl wir davon ausgehen können, dass es schon zu seiner Blütezeit möglich gewesen wäre, anhand widersprechender empirischer

⁹² Hacking (1983), S. 461. Dass man den wissenschaftlichen Determinismus mit dem Mechanismus oder mit dem Materialismus ohne weiteres *identifizieren* kann, ist eine Behauptung, die m. E. belegt werden müsste – was Hacking nicht macht. Im Laufe vorliegender Arbeit werde ich mehrmals auf Gründe und auf historische Beispiele hinweisen, die für eine Trennung zwischen Determinismus und Mechanismus (oder zwischen Determinismus und Materialismus) sprechen. Vgl. auch unten, §2.b., Punkt 2.

Evidenz ihn in Frage zu stellen⁹³. Die Art „Unbewusstheit“, mit der den impliziten wissenschaftlichen Determinismus vertreten wurde und die lange Abwesenheit seiner Hinterfragung scheinen mir, zwei Seiten einer Medaille zu sein: man kann schwer hinterfragen, was implizit bleibt, aber man kann sich auch – umgekehrt – schwer einer Ansicht bewusst werden, die völlig unhinterfragt bleibt. Dieser Gesichtspunkt ermöglicht eine Lösung des scheinbaren Paradoxon, das Hacking Schwierigkeiten bereitet hat, als er gemerkt hat, dass Cassirer nicht ganz zu Unrecht die Entstehung des wissenschaftlichen Determinismus genau in der Zeit eingebettet hatte, in der Hacking selbst den *Untergang* des wissenschaftlichen Determinismus verortet hat⁹⁴. In der vorliegenden Arbeit betrachte ich als Lösung dieses Paradoxons die historisch fundierte Hypothese, dass die Entstehung des Determinismusbegriffes und die Hinterfragung, oder die „Krise“ des (impliziten) Determinismus zwei zusammenhängende Phänomene sind (vgl. unten, Kap. 6). Der implizite wissenschaftliche Determinismus wird erst dann zu einer expliziten These, die man durch den entsprechenden Begriff bezeichnen kann, wenn gegenseitige Positionen denkbar werden. Die Schwächung und die Hinterfragung des Determinismus werden uns aber erst in den folgenden Kapiteln beschäftigen.

Nun möchte ich, nach dem ich den Begriff vom impliziten wissenschaftlichen Determinismus „geprägt“ habe, noch einige Thesen bzw. Begriffe der *received opinion* hinterfragen, die ihn betreffen. Dafür werde ich sie zunächst kurz vorstellen und auf die jeweiligen Missverständnisse verweisen, die mit ihnen in Zusammenhang stehen, um in weiterer Folge zu alternativen Erklärungen und Begründungen zu gelangen.

1. Physik. Es wird oft behauptet, dass der wissenschaftliche Determinismus in Zusammenhang mit der Entwicklung der „Physik“ ab dem 17. Jh. entstanden sei. Bei einer solchen Behauptung wird die Projektion unserer heutigen Vorstellung von „Physik“ in die Vergangenheit fast unvermeidlich. Dabei kann es leicht passieren, dass Bedeutung und Stellenwert von Empirie und Experiment für die ab dem 17. Jahrhundert entstehende „Physik“ der Vergangenheit überschätzt werden. Es wäre dann verwunderlich, dass eine von der Erfahrung so leicht widerlegbare Idee wie die der vollkommenen Vorherbestimmtheit bzw. Vorhersagbarkeit aller

⁹³ Auch einige Probleme, die Earman an dem angeblichen Determinismus der klassischen Physik gemerkt hat, wären schon damals sichtbar gewesen. Ich werde wieder auf diese Frage zurückkommen.

⁹⁴ „It [is] a paradoxical thesis of Ernst Cassirer that far from determinism slowly being eroded after the time of Laplace [diese ist die These Hackings], what we call determinism was not even stated until 1872.“ (Hacking 1983, S. 455).

Phänomene gerade in einer empirischen Naturwissenschaft entstanden sei und sich durchgesetzt habe.

Die „Physik“, wie wir sie kennen, etablierte sich erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als eine von der philosophischen Fakultät unabhängige und von anderen wissenschaftlichen Disziplinen abgegrenzte Disziplin⁹⁵. Es ist daher angebracht, den impliziten wissenschaftlichen Determinismus nicht im Rahmen der gesamten „klassischen“ Physik zu betrachten, sondern ihn erst mit der Entwicklung der *Mechanik* zu diskutieren. Anzumerken ist dabei, dass die Mechanik lange eher der *Mathematik* (oder der sogenannten *mathesis mixta*) und weniger der Physik zugerechnet wurde⁹⁶. Dieser Aspekt der Geschichte der Physik muss hier besonders hervorgehoben werden, da er wesentlich dazu beiträgt, die Natur des wissenschaftlichen Determinismus zu verstehen. Besonders hinzuweisen ist darauf, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus sich innerhalb einer *theoretischen, aprioristischen und axiomatischen* Epistemologie entwickelte (mehr dazu unten im §2.c und 2.d).

2. „Klassische“ Physik bzw. klassische Mechanik. Laut der *received opinion* entstand der wissenschaftliche Determinismus im Zusammenhang mit der *klassischen* Physik bzw. – in den präziseren Formulierungen – mit der *klassischen* Mechanik. Was das Adjektiv „klassisch“ dabei bezeichnen soll, ist nicht eindeutig, und es gibt keinen allgemeinen Konsensus darüber, welche Physik als „klassisch“ zu betrachten ist⁹⁷. In den meisten Fällen dient das Adjektiv „klassisch“ einer pauschalisierenden Bezeichnung jener Physik, die vor den Relativitätstheorien

⁹⁵ Vgl. Stichweh (1984) und Schiemann (1997), S. 145-146.

⁹⁶ „Die heute vorherrschende Auffassung, [die Mechanik] sei als einer unter vielen Bereichen der ‚Experimentalwissenschaft‘ Physik zu subsumieren, verstellt völlig den Blick darauf, dass es sich bei ihr eben nicht um eine ‚Baconsche‘, sondern um eine ‚klassische‘ Wissenschaft im Sinne Kuhns handelt. Rationale Mechanik wurde im 18. und 19. Jahrhundert ganz überwiegend als *mathematische* Wissenschaft verstanden und betrieben [...]“ (Pulte 2005, S. 77; über die Geschichte der Mechanik als Teil der Mathematik und über die Kuhnsche Unterscheidung vgl. unten, § 2.c). Vgl. auch Truesdell (1968b, S. 138) in Bezug auf die *Principia* („It is densely mathematical. On many pages there is not a single word concerning what historians and physicists now call physics“) und in Bezug auf die Mechanik: „If we were to seek a word for what was done, it would not be physics“ (Truesdell 1968a, S. 136).

⁹⁷ So gibt Dijksterhuis (2002 [1950], S. 3) die inzwischen etablierten Definitionen bzw. Periodisierungen der klassischen Physik und der klassischen Mechanik wieder: „die antike Physik fängt mit Thales von Milet (c. 600 v. Chr.) an, die klassische mit dem Erscheinen von Newtons Principia im Jahre 1687, die moderne im Jahre 1900 an dem Tag, an dem Max Planck den Quantenbegriff einführte“. Die antike *Mechanik* bezeichnet er durch Namen wie Aristoteles und Archimedes, die klassische „benennt man nach Newton“, während die moderne Mechanik diejenige ist, „die im zwanzigsten Jahrhundert unter dem Einfluß der Relativitäts- und Quantentheorie ihren Einzug gehalten hat“. Was die „klassische“ Physik betrifft, schreibt aber Bellone (1973, S. 24-25, meine Übersetzung): „Der epistemologische Umsturz in der Wissenschaft zwischen dem 19. und dem 20. Jh. kann nicht durch die sogenannte ‘Krisis’ des Mechanismus und der klassischen Physik bezeichnet werden, denn es ist nicht sehr sinnvoll, die physikalischen Wissenschaften des 19. Jahrhunderts auf den Mechanismus oder auf die klassische Physik zu reduzieren“. Schiemann (1997, S. 33) weist auf die extreme Komplexität der historischen Entwicklung der klassischen Mechanik hin, und bezweifelt sogar, dass ein einzelner Begriff geeignet sei, um das vielfältige Bild der neuzeitlichen Mechanik zu bezeichnen.

und der Quantenmechanik betrieben wurde. Solch eine Pauschalisierung ist im historischen Kontext der Herausbildung des Gegensatzpaares „klassisch“ / „modern“ zu betrachten. In seinen jüngst veröffentlichten Arbeiten zeigt Richard Staley (2005; 2008a; 2008b, Part IV) in überzeugender Weise, dass das Adjektiv „klassisch“ in Bezug auf die Physik (z.B. in den Ausdrücken „klassische Physik“, „klassische Mechanik“ oder „klassische Thermodynamik“) erst um 1900 aufgetaucht ist⁹⁸. Bei der Anwendung des Adjektivs „klassisch“ in diesem Rahmen handelte sich – wie Staley zu bedenken gibt – um eine „retrospective homogenization“ (2008, S. 299), die den Pionieren einer „neuen“ Physik dazu diene, den revolutionären Charakter der eigenen Arbeit hervorzuheben⁹⁹. Da das Ende des Determinismus schon damals als eine der wesentlichen „Neuigkeiten“ der „neuen“ Physik empfunden wurde, erscheint die Aussage „die klassische Physik ist deterministisch“ fast tautologisch, denn mit „klassisch“ hat man ja oft „deterministisch“ gemeint.

Als weitere, hier kritisch zu unterstreichende Konsequenz der pauschalisierenden Auffassung einer „klassischen“ Physik vor 1900 innerhalb der *received opinion* besteht darin, dass, eine detaillierte Analyse des Determinismus des 19. Jahrhunderts bislang vernachlässigt wurde. Gerade im 19. Jh. allerdings fanden jene Veränderungen und Entwicklungen statt, die ‚das Schicksal‘ der Determinismusfrage entscheidend geprägt haben – wie in den nächsten Kapiteln zu zeigen sein wird¹⁰⁰.

Den Ausdruck „klassische Physik“ werde ich im Folgenden nicht benutzen. Als „klassische Mechanik“ werde ich jene mathematisch-physikalische Theorie bezeichnen, die von der Arbeit von Kopernikus, Kepler und Galilei vorbereitet wurde, die vom allgemeinen Mechanismus (Descartes) und vom Rationalismus (Descartes, Leibniz) geprägt wurde, die von Newton erstmals systematisiert wurde, die im Zeitalter der Aufklärung als rationale

⁹⁸ Somit widersprechen die Arbeiten Staleys die von Helmut Pulte vertretene These, nach der jene Mechanik, die „heute – ebenso gängig wie vereinfachend und irreführend – die ‚Newtonsche Mechanik‘ genannt [wird]“, „[b]ereits bevor sie überholt war, [...] auch als ‚klassisch‘ bezeichnet [wurde] – nicht also, um sie begrifflich zu archivieren und von ihren Nachfolgern, der Relativitätstheorie und die Quantenmechanik, abzugrenzen, sondern im Gegenteil, um ihre Leitbildfunktion für künftige Theoriebildung zu unterstreichen“ (Pulte 2005, S. 11-12). Pulte erwähnt da aber kein Beispiel einer solchen Bezeichnung.

⁹⁹ Aus seiner historischen Rekonstruktion der Anwendungen und Auffassungen des Begriffs „klassisch“ kommt Staley zum folgenden Schluss: „classical and modern physics were importantly co-created, fashioned in the same period, with the former ultimately defined by the adherents of the new physics“ (2008, S. 309). Was insbesondere den Ausdruck „klassische Mechanik“ betrifft, rekonstruiert Staley die Uneinigkeit und die Streiten, die es um 1900 bezüglich der Bedeutung dieses Ausdrucks gab, und an denen Wissenschaftler wie Boltzmann und Poincaré teilhatten (Staley 2008, S. 301-302).

¹⁰⁰ Die Schwierigkeiten bei einer eindeutigen Auffassung des Prädikats „klassisch“ entstehen m.E. vor allem daraus, dass ihm zwei Funktionen gleichzeitig zukommen: es soll einerseits eine historische Bedeutung haben, in dem es eine historische Phase der Physik bezeichnen soll; andererseits soll es aber auch einen Teil der Physik, der für die Erklärung bestimmter Phänomene immer noch angewendet wird, charakterisieren. Diese zwei Funktionen oder Bedeutungen passen nicht in jeder Hinsicht gut zusammen und machen auf jeden Fall das Prädikat zweideutig.

Mechanik mathematisch durchgearbeitet wurde, und die in der analytischen Mechanik von Lagrange und Hamilton-Jacobi ihren Höhepunkt der Abstraktion erreichte¹⁰¹. Selbstverständlich handelte es sich im Laufe dieser Entwicklung um unterschiedliche Theorien, die von den verschiedenen Wissenschaftlern formuliert wurden: in dieser Hinsicht ist auch die Rede von *einer* klassischen Mechanik pauschalisierend. Entscheidend war aber, dass diese Wissenschaftler daran glaubten, an *einer* Theorie zu arbeiten, und zwar an *der* Theorie, die *die* Realität (oder die Natur) widerspiegelt. Dieser *absolute* Wahrheitsanspruch, mit dem jede neue Version der Mechanik als ‚endlich‘ *die richtige* formuliert wurde, ist ein wesentliches Merkmal jenes Wissenschaftsverständnisses, das – wie ich im Folgenden zeigen möchte – den impliziten wissenschaftlichen Determinismus hervorgebracht hat: insofern ist das ideale Bild *der* klassischen Mechanik - als Ziel, nach dem die verschiedenen Formulierungen strebten - für meine Zwecke wichtiger, als die Unterschiede zwischen diesen Formulierungen, die eine detaillierte historische Analyse selbstverständlich hervorheben müsste.

3. „*Newtonsche Mechanik*“. Die „Newtonsche Mechanik“ gilt in der *received opinion* als Paradebeispiel – wenn nicht gleich als Ursprung – des wissenschaftlichen Determinismus. Newton selbst hätte sich aber verweigert, als Repräsentant des Determinismus aufzutreten. Das bezeugen vor allem seine Kontroversen mit den „Mechanisten“ und den „Rationalisten“, d.h. mit Kartesianern und Leibnizianern¹⁰². Newton wurde bekanntlich vorgehalten, dass er die Existenz einer „geheimnisvollen“ Kraft behauptet, der Schwerkraft, die auf unerklärliche Weise zwischen voneinander entfernten Körpern unmittelbar wirken sollte, wobei diese Art von Wirkung zu keinem physikalischen Mechanismus zurückzuführen sei. Newton argumentierte interessanterweise gegen diesen mechanistischen Anspruch in zwei verschiedenen Richtungen. Einerseits wäre laut Newton ein solcher Mechanismus eine „metaphysische Hypothese“, die keinen Platz „innerhalb der experimentellen Philosophie“ haben sollte¹⁰³. Andererseits – was Metaphysik und Religion betrifft – war eine ständige Sorge von Newton und von den Newtonianern, gegen die Mechanisten Gott und seiner Wirkung einen Freiraum im Weltbild zu

¹⁰¹ Über den Begriff, den Entstehungskontext und die Geschichte der „klassischen“ Mechanik vgl. Mach (1988 [1912]), Dijksterhuis (1959), Truesdell (1968a), v. Meyenn (1990), Schiemann (1997), und Pulte (2005).

¹⁰² Vgl. Smith (2008), Janiak (2009), Dijksterhuis (2002 [1950]), III.L., Guicciardini (2011), Kap. 7 und 8.

¹⁰³ So verglich sich Newton z.B. polemisch mit Leibniz: “It must be allowed that these two Gentlemen [er selbst und Leibniz] differ very much in Philosophy. The one proceeds upon the Evidence arising from Experiments and Phenomena, and stops where such Evidence is wanting; the other is taken up with Hypotheses, and propounds them, not to be examined by Experiments, but to be believed without Examination. The one for want of Experiments to decide the Question, doth not affirm whether the Cause of Gravity be Mechanical or not Mechanical; the other that it is a perpetual Miracle if it be not Mechanical” (Newton, zit. in Smith 2008, Kap. 2).

sichern, so dass der Eingriff Gottes die im (WD^{e/z}) dargestellte deterministische Kette hätte brechen müssen¹⁰⁴.

Jedenfalls stellt der in der *received opinion* über den Determinismus oft enthaltene Hinweis auf die „Newtonsche Physik“ den *wesentlichen* Beitrag in den Schatten, der gerade Newtons ‚Gegner‘ (Kartesianer und Leibnizianer) zur Durchsetzung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus leisteten. Die *Principia philosophiae* von Descartes (1908 [1644]), die das größte Angriffsziel Newtons gewesen sind, haben zur Entfaltung und Verbreitung eines deterministischen Weltbilds viel beigetragen, in dem sie zum ersten mal ein ausführliches „Programm zum Aufbau eines kosmologischen Systems auf mechanischer Grundlage“ dargelegt haben: auch wenn die fehlerhafte physikalische Theorien von Descartes (langsam) überholt wurden, „blieb [...] die mechanische Denkweise, die keine andere Erklärungsprinzipien als die Grundbegriffe und Axiome der Mechanik toleriert“¹⁰⁵. Genauso wichtig für die Entwicklung der implizite wissenschaftliche Determinismus war Descartes‘ Geometrisierung der Mechanik (man denke an das kartesische Koordinatensystem, ohne das die klassische Mechanik unmöglich wäre): wie im Folgenden klarer werden soll, ist gerade der mathematisch-geometrische Charakter der Mechanik, der zum impliziten wissenschaftlichen Determinismus führt. Was Leibniz betrifft, hat er auch als Hauptvertreter des Rationalismus, als Autor „des Satzes vom zureichenden Grund“ und als „Miterfinder“ der Infinitesimalrechnung, zum impliziten wissenschaftlichen Determinismus viel beigetragen – wie wir sehen werden. Schließlich ist es zu bemerken, dass das, was die *received opinion* als „Newtonsche Mechanik“ bezeichnet, sich eigentlich oft auf die mathematische Umformulierung, Überarbeitung und Systematisierung der Newtonschen *Principia* seitens der *Mathematiker* des 18. Jahrhunderts bezieht¹⁰⁶.

¹⁰⁴ Diesbezüglich merkt z.B. Dijksterhuis, (2002 [1950], S. 548) dass, obwohl Newton die physikalische Basis für die Entfaltung der mechanistischen Naturphilosophie geschaffen hat, „diese Entfaltung keineswegs in dem von ihm erhofften Geist“, insbesondere nicht im Sinne seiner „religiösen Vorstellungen“ und der „apologetischen Absicht der *Principia*“, sich vollzog. Auch Borzeszkowski – Wahsner (1980, insb. Kap. II; vgl. auch Wahsner 2007) betonen, wie Newton seine Mechanik nie zu einem mechanistisch geschlossenen Weltbild verallgemeinert hatte: die Grenzen seiner Mechanik habe er, erstens, durch den Platz markiert, dem er für einen aktiven Gott geschaffen hatte, zweitens, durch seine empiristische Zurückhaltung in Bezug auf die ‚reale Natur‘ der Phänomene und der Kräfte signalisiert, und, drittens, durch das Bewusstsein gesetzt, dass die Gültigkeit seiner Mechanik von bestimmten „experimentellen, axiomatischen und erkenntnistheoretischen Voraussetzungen“ (Borzeszkowski – Wahsner 1980, S. 20) abhing. „Damit ist ausgeschlossen“ – behaupten Borzeszkowski und Wahsner (1980, S. 19) – daß er Natur und Mechanik platt identifizierte“.

¹⁰⁵ Meyenn 1990, S. 42. Vgl. auch Mensching (2007), S. 25-26.

¹⁰⁶ „What physics textbooks now refer to as ‚Newtonian mechanics‘ and ‚Newtonian science‘ consists mostly of results achieved on the continent between 1740 and 1800“ (Smith 2008, Einleitung). Vgl. auch Guicciardini (2011), S. 188. Besonders erwähnenswert ist die Arbeit des genialen Mathematikers Leonhard Euler (1707-83), der die Newtonschen *Principia* (1) in eine systematische und mathematisierte Form Umformulierte, (2) für eine entsprechende Anwendung ausgearbeitete und (3) popularisierte; außerdem (4) trug er viel zur Entwicklung der

Auch in diesem Fall handelt es sich nicht nur um historische Details, sondern es geht wieder um die Anerkennung der Tatsache, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus weithin im Zusammenhang mit einer *nicht-empirischen* Epistemologie entwickelt wurde. Da im Bezug auf Newton immer wieder seinen angeblichen Empirismus hervorgehoben wird, kann eine Zurückführung des Determinismus auf seine Physik irreführend werden.

4. *These: Laplace.* Aus der *received opinion* über den Determinismus könnte man den Eindruck gewinnen, dass Pierre-Simon de Laplace (1749-1827) – der Autor der in der Literatur über den Determinismus meistzitierten Darstellung des wissenschaftlichen Determinismus – der „Stellvertreter“ für den Determinismus einer ganzen Epoche in ganz Europa war. Wie schon angedeutet: es ist nicht so selbstverständlich. Neun Jahre nach seinem Tod liest man genau in Frankreich in dem *Dictionnaire de l'Académie Française* (1836)¹⁰⁷ Folgendes:

Déterministe: Nom d'une secte peu connue en Allemagne et qui y a peu d'influence.

Déterminisme: Système, principes, doctrine des déterministes.

Die Suche nach dieser „deutschen Sekte“ erweist sich ebenso als ziemlich erfolglos: Ein Blick auf ein deutsches philosophisches Lexikon vom Anfang des 19. Jahrhunderts bestätigt die Forschungsergebnisse Hacking, welche die Existenz eines „Determinismus“ *nur im ethischen Sinne* bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts bezeugen:

Determinist: derjenige, welcher behauptet, die Seele werde in ihren Wirkungen von fremden Ursachen bestimmt [...]

Determinismus: diesen Namen führt der Satz der Bestimmung der Willkür durch innere hinreichende Gründe [...]¹⁰⁸

Es gab also vorerst zu der Zeit von Laplace keinen wissenschaftlichen Determinismus in dem Sinne, dass jemand sich als Deterministen erklärt hätte – keinen wissenschaftlichen Determinismus im Sinne einer unter diesem Namen bewusst formulierten Lehre. So kehren wir

Infinitesimalrechnung bei (vgl. Guicciardini 2009, Kap. 9 und Meyenn 1990, S. 58-63). Truesdell (1968a) zeigt, wie der mathematische Ausbau der Mechanik, der im 18. Jh. im Sinne einer starken Mathematisierung derselben stattfand, Neubewertet werden soll: in dieser Hinsicht kritisiert er die Behauptung Machs, dass Newton „die Aufstellung der heute angenommenen *Prinzipien der Mechanik zu einem Abschluß gebracht* [hat]“ (Mach 2012 [1912⁷], S. 210).

¹⁰⁷ Zit. in Hacking (1983), S. 455. Dabei präzisiert Hacking: „both entries quoted in full“.

¹⁰⁸ Wenzel (1807), S. 554. Die zwei Definitionen scheinen sich untereinander zu widersprechen, was die Unreife des Determinismusbegriffs auch im ethischen Sinne bezeugt.

zu einer schon erwähnten Frage zurück, die offen geblieben ist: in welchem Sinne hat Laplace eigentlich den Determinismus vertreten?

Einige Stimmen suggerieren, dass eine Antwort auf diese Frage nicht selbstverständlich ist: Wir haben schon Cassirer erwähnt, der die Bedeutsamkeit der Laplaceschen „Metapher“ zu relativieren versucht hat. Helmut Pulte, der der Laplaceschen „Dämonologie“ einen ganzen Absatz seines Buches *Axiomatik und Empirie* widmet, behauptet, dass die Figur des Laplaceschen Geistes ein „oft fehlgedeutet Beispiel“ sei (Pulte 2005, S. 59-64). Auch Jörn Heinrich, der vor kurzem die erste auf erkenntnistheoretische und epistemologische Fragen konzentrierte Monographie über Laplace veröffentlicht hat, behauptet: „Laplace hat *nicht* den Anfang einer radikalen reduktionistischen und deterministischen Naturphilosophie eingeleitet, als deren Hauptvertreter er heute zählt“¹⁰⁹.

Es ist erstmals interessant, den Kontext in Betracht zu ziehen, in dem Laplace seine berühmte Darstellung des Determinismus formuliert hat: es handelt sich um die *philosophische* Einleitung in ein *mathematisches* Werk – ein Werk über die Wahrscheinlichkeitstheorie¹¹⁰. Die Figur des Geistes, der die Zukunft der ganzen Welt vorausberechnet, ist eine plastische Darstellung und eine Hyperbel der Leistungsfähigkeit der Differentialgleichungen, die – wie im Folgenden erklärt werden soll – den Kern des impliziten wissenschaftlichen Determinismus ausmachen. Die Frage, die aber offen bleibt, bezieht sich auf die „Tiefe“ (vgl. oben, §1.c.) des von Laplace dargestellten Determinismus: man soll aus seiner Metapher nicht zu schnell schließen, dass er einen Determinismus im physikalischen, *realistischen* Sinne vertreten hat. Laplace vertritt nämlich oftmals in seinen Werken eine konstruktivistische Auffassung der Mathematik, die er z.B. definiert, wie folgt:

Invention d'autant plus satisfaisante pour l'esprit humain, qu'il l'a tirée en entier de son propre fonds: dans les arts, l'homme se sert des matériaux et des forces de la nature pour accroître sa puissance; mais ici, tout est son ouvrage¹¹¹

Man müsste sich also noch fragen – in heutiger wissenschaftstheoretischer Sprache – ob die Welt, deren Lauf der Laplacesche Geist vorausberechnet, die reale Welt ist, oder nicht eher

¹⁰⁹ Heinrich (2010), S. 12; meine Hervorhebung.

¹¹⁰ Laplace hat insgesamt fünf Monographien veröffentlicht: *Exposition du système du monde* (1796), *Traité de mécanique céleste* (1798-1825), *Théorie analytique des probabilités* (1812), *Essai philosophique sur les probabilités* (ab 1814 sowohl als nachträglich verfasste Einleitung in die *Théorie analytique des probabilités*, als auch gesondert veröffentlicht; die erste Deutsche Auflage wurde als *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit* von Richard von Mises herausgegeben), und *Précis de l'histoire de l'astronomie* (1821).

¹¹¹ Laplace, cit in Heinrich (2010), S. 158. Heinrich widmet einen ganzen Absatz der Laplaceschen „Philosophie der Mathematik“, und behauptet: „Laplace‘ Auffassung der Philosophie der Mathematik hat Ähnlichkeit mit der Position des Konstruktivismus“ (vgl. Heinrich 2010, S. 157-161).

„bloß“ ein Modell der Welt. Mit anderen Worten: ob die Determiniertheit und Vorhersagbarkeit, die Laplace darstellt, nicht nur ein Merkmal eines in sich geschlossenen „Spiels“ des Geistes sei. Auch diese letzte Vermutung wäre aber insofern übertrieben, als Laplace andererseits doch geglaubt hat, dass dem „Konstrukt“ der rationalen Mechanik sehr wohl „wirkliche“, an sich existierende Naturgesetze entsprachen¹¹². Laplace selbst kann uns nicht helfen, diesen Widerspruch zu lösen, denn eine eindeutige Antwort oder auch nur eine Besprechung von Fragen, wie z.B. die nach der Realität von Raum und Zeit, aufgrund seiner starken Ablehnung jeder Art von „Metaphysik“ von ihm bewusst weggelassen wurden¹¹³. So muss jeder Versuch, ein konsequentes Bild des Laplaceschen Determinismus zu rekonstruieren, m.E. an folgendem Widerspruch scheitern:

Die Schwierigkeit einer Einordnung von Laplace' Auffassung der Philosophie der Mathematik besteht darin, daß die realistische Interpretation quantitativer determinierender Naturgesetze und eine konstruktivistische Auffassung der Mathematik nicht widerspruchsfrei zu vereinbaren sind.¹¹⁴

Dieser Widerspruch ist aber *an sich* interessant, denn er bezeugt von einer Übergangsphase in der Auffassung der Mechanik, die auch in Bezug auf die Determinismusfrage wichtig ist. Einerseits ist die Figur des Laplaceschen Geistes ein plastischer Ausdruck des impliziten wissenschaftlichen Determinismus und weist darauf hin, dass er zu der Zeit von Laplace einen Höhepunkt erreicht hatte – wie wir noch in diesem Kapitel sehen werden. Andererseits deckt sich dieser Höhepunkt mit dem Anfang der Entstehung jenes Zweifels an einer vollkommenen Korrespondenz zwischen mathematischer Theorie und Realität, der ein wichtiger Aspekt der Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus im 19. Jh. darstellt (vgl. unten, Kap. 3).

Im Folgenden werde ich nicht einzelne Autoren wie Newton oder Laplace für eine detailliertere Besprechung in Betracht ziehen, sondern ich werde mich vor allem auf die klassische Mechanik im Allgemeinen beziehen, wie sie zwischen dem 17. und dem 18. Jahrhundert entwickelt und aufgefasst wurde. *Diese* Mechanik – und nicht nur ein allgemeiner

¹¹² So schreibt Laplace in seiner *Exposition du système du monde*: „Au milieu de l'infinie variété des phénomènes qui se succèdent continuellement dans les cieux et sur la Terre, on est parvenu à reconnaître le petit nombre des lois générales que la matière suit dans ses mouvements. Tout leur obéit dans la nature; tout en dérive aussi nécessairement que la retour des saisons, et la courbe décrite par l'atome léger que les vents semblent emporter au hasard est réglée d'une manière aussi certaine que les orbes planétaires.“ (Laplace, cit. in: Pulte 2005, S. 62, Fußnote 157). Vgl. auch Henrich (2010), S. 157 und S. 149f., wo der Autor versucht, den „Laplacesche Gesetzesdeterminismus“ richtig darzustellen.

¹¹³ Vgl. Henrich (2010), S. 144-149. Über die „Metaphysikkritik“ von Laplace vgl. *ebend.*, S. 161 ff. (siehe insbesondere S. 173).

¹¹⁴ Henrich (2010), S. 159.

„Mechanismus“ – bildete den wichtigsten Entstehungszusammenhang für den impliziten wissenschaftlichen Determinismus. Trotzdem wäre es unangebracht, den breiteren philosophischen Kontext völlig außer Acht zu lassen, in dem die Mechanik entwickelt wurde, als ob er mit dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus nichts zu tun hätte. Im Gegenteil kann man in der Zeit der Entwicklung der Mechanik mehrere Varianten des Determinismus identifizieren, von denen der implizite wissenschaftliche Determinismus nur eine, nur künstlich isolierbare, gewesen ist.

b. Die „Determinismen“ der frühen Neuzeit

Es ist eine interessante Tatsache, dass einer unter den ersten Wissenschaftlern, die explizit vom Determinismus im *wissenschaftlichen* Sinne gesprochen haben, und zwar der Physiologe Claude Bernard (1813-78), den Determinismus in seiner *wissenschaftlichen* Auffassung von einem „philosophischen“ Determinismus unterscheiden wollte¹¹⁵. Auch ohne die Unterscheidung von Bernard zu vertiefen und genau übernehmen zu wollen, kann man aus dieser Unterscheidung einen guten methodologischen Hinweis gewinnen: in Bezug auf den Zeitraum, der hier in Mittelpunkt steht (ungefähr von dem späten 16. Jh. bis zum frühen 19. Jahrhunderts), ist es zum Zweck der Klarheit und in systematischer Hinsicht hilfreich, den impliziten wissenschaftlichen Determinismus von *allgemeineren und qualitativen* Formulierungen von Begriffen und Lehren zu unterscheiden, die andererseits historisch mit dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus im Zusammenhang standen (im Sinne einer großen Ähnlichkeit oder eines gegenseitigen Einflusses):

(1) *Weltanschauliche Arten des Determinismus und ethischer Determinismus*. In demselben Zeitraum, in dem die rationale Mechanik, und somit der implizite wissenschaftliche Determinismus, entwickelt wurden, wurden auch andere, voneinander und von dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus auch sehr unterschiedliche deterministische Weltbilder bzw. Weltanschauungen formuliert: Schon während Tartaglia (*La Nova Scientia*, 1537), Kopernikus (*De revolutionibus orbium coelestium*, 1543), Kepler (*Mysterium Cosmographicum*, 1596) und Galilei (*Sidereus Nuncius*, 1610; *Il Saggiatore*, 1623; *Dialogo sopra i massimi sistemi*, 1632; *Discorsi*, 1638) die Grundlagenarbeiten zur Entstehung der Mechanik leisteten, tobten die

¹¹⁵ Vgl. Israel (1991), S. 334. Als „philosophischen Determinismus“ bezeichnet Bernard folgende Lehre von Leibniz: „L' âme humaine est un automate spirituel“. Auf Claude Bernard werde ich im § 6.a zurückkommen.

religiösen Kontroversen um die Prädestination, die infolge der Reformation und insbesondere des Calvinismus einen Höhepunkt erreicht hatten¹¹⁶. Und es war unter dem Einfluss Galileis und des rationalistischen Ideals einer axiomatischen Wissenschaft¹¹⁷, dass Hobbes in der Einleitung in seines berühmten *Leviathans* (1996 [1651], S. 5) sein mechanistisches Menschenbild so ausdrückte:

Denn da ja das Leben nur eine Bewegung von Gliedern ist [...] Denn was ist das *Herz* anderes als eine *Feder*, was sind die *Nerven* anderes als lauter *Stränge* und die *Gelenke* anderes als lauter *Räder*, die dem ganzen Körper Bewegung verleihen [...]

In den Jahren zwischen der Veröffentlichung vom Huygens *Horologium oscillatorium* (1673) und der ersten Ausgabe der *Principia* von Newton (1686), und während Leibniz dabei war, seine Version der Infinitesimalrechnung zu entwickeln, drückte Spinoza v.a. in seiner *posthum* erschienenen *Ethik* (1677) eine der radikalsten Versionen des Determinismus aus¹¹⁸. Später, zu der Zeit der französischen Aufklärung, während Mathematiker wie D'Alembert, Laplace und Lagrange wesentliche Beiträge zur Entwicklung der rationalen Mechanik leisteten, wurden jene materialistische und mechanistische Menschenbilder provokativ dargestellt, die die Religions- und Moralkritik der französischen Aufklärung zum Äußersten trieben: die schon erwähnten La Mettrie¹¹⁹ und D'Holbach¹²⁰ sind ein Beispiel dafür.

¹¹⁶ Über den „theologischen Determinismus“, vgl. Priarolo (2011), Kap. 2. Man soll nicht vergessen, dass die Vorstellung eines Gottes, der ordnet und verordnet, auch bei einigen wesentlichen wissenschaftlichen Leistungen der frühen Neuzeit eine wichtige Rolle gespielt hat – man denke z.B. an Kepler und an Newton.

¹¹⁷ Vgl. Höffe (2010), Kap. 2.2.

¹¹⁸ Infolge des Monismus und des Immanentismus Spinozas ist sein Determinismus gleichzeitig logisch, ontologisch und ethisch. Über den Determinismus bei Spinoza vgl. Priarolo (2011), S. 89ff.

¹¹⁹ In seinem anonym veröffentlichten und damals skandalösen Werk *L'homme machine* (1748) verbindet La Mettrie seinen Atheismus mit einer Art wissenschaftlichen Determinismus, die aber nicht so präzise und spezifisch ist, wie WD^z oder WD^e (deshalb würde ich im Unterschied zu Hacking nicht behaupten, dass La Mettrie denselben wissenschaftlichen Determinismus vertritt als Laplace; vgl. oben, §2.a): „Weshalb sollte es dann absurd sein zu denken, dass es physikalische Ursachen gibt, aus denen heraus alles entstanden ist und mit denen alle Dinge der Welt so notwendig verbunden sind, dass nichts von dem, was sich ereignet, sich nicht ereignen könnte? Ursachen, deren prinzipielle Unerkennbarkeit uns zu einem Gott Zuflucht nehmen ließ, der, folgt man bestimmten Leuten, nicht einmal ‚vernünftiges Wesen‘ ist? Den Zufall auf diese Weise auszuschalten heißt nicht, ein höchstes Wesen beweisen; denn es kann ja etwas anderes geben, das weder Zufall ist noch Gott: ich meine die Natur, deren Studium folglich nur zum Unglauben führen kann“ (La Mettrie 1985 [1748], S. 63-64).

¹²⁰ So bringt D'Holbach in seinem 1770 erschienenen *Système de la nature ou des lois du monde physique & du monde moral* seine Ideen auf den Punkt: „[so] verhält sich mit dem Menschen, der bei allen seinen Fortschritten, bei allen Veränderungen, die er durchmacht, immer nur nach den Gesetzen handelt, die seinem Körperbau und den Stoffen, aus denen die Natur ihn zusammengesetzt hat, eigentümlich sind. Der physische Mensch ist der Mensch, der durch den Antrieb von Ursachen handelt, die unsere Sinne uns erkennen lassen; der moralische Mensch ist der Mensch, der nach physischen Ursachen handelt, die zu erkennen unsere Vorurteile uns hindern“ (D'Holbach 1960 [1770], S. 13). Eine gemäßigte und lustigere Auseinandersetzung mit dem Problem des Determinismus im Rahmen der Aufklärung findet man im 1771 erschienenen berühmten philosophischen Roman von Diderot, *Jaques le Fataliste et son Maître* (Diderot 1995 [1771]). Borzeszkowski und Wahsner

Solche unterschiedliche Formulierungen, anders als der implizite wissenschaftliche Determinismus, betrafen alle das sensible Thema des Wesens des Menschen und seiner Willensfreiheit und waren mit heftigen politischen und religiösen Kontroversen verwoben. Jede dieser Formulierungen wurde gleich bestritten und sogar bekämpft: wenn meine Behauptung richtig ist, dass „Bestritten-werden“ und „Bewusst-werden“ im Bezug auf eine Position oder eine Lehre zwei Seiten einer Medaille sind (vgl. oben, §2.a), wird es dann besser verständlich, warum der Begriff „Determinismus“ zuallererst im ethischen Bereich explizit formuliert wurde. Während der implizite wissenschaftliche Determinismus sich zuerst lange relativ unbestritten und „namenlos“ entwickelte, entwickelte sich auch gleichzeitig ein ethischer Determinismus (vgl. oben, § 1.d, (ED)), der im Gegenteil sehr wohl bestritten war und der (*deswegen*, vermute ich) als erster durch den Begriff „Determinismus“ explizit bezeichnet wurde. Wie ich im Kap. 6 noch zeigen möchte, wird der implizite wissenschaftliche Determinismus überhaupt erstmals explizit, als er in den ethischen Bereich mit einbezogen wird. Auch vorher – und vor allem im Rahmen der Aufklärung – sind aber natürlich einige Formulierungen des ethischen Determinismus als mit der Entwicklung der Mechanik und des impliziten wissenschaftlichen Determinismus besonders eng verbunden zu sehen. Selbst die berühmte Determinismuskonzeption von Laplace ist in einen typisch aufklärerischen Diskurs einzubetten¹²¹, in dem auch einen ethischen Determinismus vertreten wird¹²². Die Frage nach dem Verhältnis zwischen implizitem wissenschaftlichem Determinismus und anderen Formen des Determinismus in der frühen Neuzeit ist eine interessante Frage, die meines Wissens noch nicht als solche untersucht wurde¹²³, und die im Rahmen vorliegender Arbeit nicht vertieft werden kann.

(2) *Allgemeiner Mechanismus* Unter den Weltbildern, die dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus nahe stehen, ist der „allgemeine Mechanismus“ dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus am nächsten. Mit dem Ausdruck „allgemeinem

(1980) machen Voltaire als „Initiator des mechanistischen Verständnisses der klassischen Mechanik“ (S. 13) für die Transformation der klassischen Mechanik in ein mechanistisches Weltbild verantwortlich.

¹²¹ In demselben Absatz, in dem das berühmte Zitat über die „übermenschliche Intelligenz“ vorkommt, spricht Laplace im typisch aufklärerischen Ton von den „Irrtümern“, „die in den Zeiten der Unwissenheit das Gesicht der Welt erfüllten. Die Magie und Astrologie bieten uns hiervon zwei große Beispiele dar, diese von Kindheit an eingepprägten Irrtümer, die ohne Prüfung angenommen wurden und nur den allgemeinen Glauben als Grundlage hatten, erhielten sich durch sehr lange Zeit, bis endlich der Fortschritt der Wissenschaften sie im Geiste der aufgeklärten Menschen zerstört hatte“ (Laplace 1932, S. 6).

¹²² Vgl. Laplace (1932), S. 1.

¹²³ In ihrer ideengeschichtlichen Untersuchung des Determinismus unterscheidet z.B. Priarolo (2011) zwischen einem naturphilosophischen, einem theologischen und einem anthropologischen Determinismus, und behandelt dann jeden für sich: die Frage nach dem Verhältnis zwischen diesen verschiedenen Formen wird somit weggelassen.

Mechanismus“ möchte ich das *qualitative und allgemeine* Konzept bezeichnen, nach dem alle Naturphänomene auf die Bewegung materieller Körper reduziert werden können (Materialismus), und nach dem die Kausalität auf Einwirkungen solcher Körper aufeinander durch Druck und Stoß reduziert wird. Dieser allgemeine Mechanismus, solange er ein allgemeines, qualitatives Weltbild bleibt und nicht spezifisch auf die rationale Mechanik zurückgeführt wird, muss mit dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus nicht unbedingt identifiziert werden. Wie schon erwähnt müsste auf jeden Fall eine Identifizierung des Mechanismus mit dem wissenschaftlichen Determinismus begründet werden¹²⁴.

Historisch gesehen, und in Bezug auf den hier in Betracht gezogenen Zeitraum, standen allgemeiner Mechanismus und impliziter wissenschaftlicher Determinismus sehr wohl im engsten Verhältnis: Die Darstellung der Naturphänomene als materielle Körper in Bewegung und die Fokussierung auf Wirkursachen (Stoß und Druck) zwecks ihrer Kausalerklärung waren eine fundamentale Voraussetzung jenes geometrisch-mathematischen Ansatzes zur Mechanik, der den impliziten wissenschaftlichen Determinismus hervorbrachte. Das geht besonders klar aus dem schon erwähnten mechanistischen Weltbild von Descartes hervor, wie er es in seinem Werk *Principia Philosophiae* (Descartes 1908 [1644]) zusammenfasst. In diesem Werk reduziert Descartes alle Körper auf die Eigenschaft der Ausdehnung¹²⁵ und den Kausalitätsbegriff auf die Wirkursachen¹²⁶, und setzt die Physik dadurch einer integralen Mathematisierung und Geometrisierung aus:

¹²⁴ Tatsächlich sind mechanistische *und nicht* deterministische Ansichten möglich, wie z.B. der Atomismus von Epikur (341-271/70 v. Ch.) und von Lukrez (98-54 v. Ch.), und – umgekehrt – können z.B. physikalische Feldtheorien, die keinem klassischen Mechanismus entsprechen, deterministisch sein. Wolfgang Stegmüller scheint also gerechtfertigt, wenn er mahnt: „Obzwar man gewöhnlich den Determinismusbegriff am Beispiel der Mechanik illustriert, darf Determinismus nicht mit Mechanismus gleichgesetzt werden“ (Stegmüller 1969, S. 489). Wesley Salmon – um ein neueres Beispiel zu nennen – geht in seinem Buch *Causality and Explanation* (1998) offensichtlich von einem Unterschied zwischen Mechanismus und Determinismus hervor, indem er zwischen „mechanistic determinism“ und „teleological determinism“ unterscheidet (Vgl. Salmon 1998, S. 37). Die schon erwähnte Identifizierung von Mechanismus und Determinismus seitens Hacking braucht also wenigstens Qualifikationen. Als *historische* Behauptung kann man sehr wohl die These vertreten, dass die Entwicklung der Mechanik zwischen dem 17. und dem 19. Jahrhundert das Wesentliche zur Entstehung des WD beigetragen hat: *dieser* Mechanismus ist aber eher mit der Arbeit von Mathematikern und Physikern wie Descartes, Leibniz, Euler, Lagrange usw. in Zusammenhang zu bringen als mit den von Hacking erwähnten philosophischen Positionen von Holbach oder La Mettrie. Auch Borzeszkowski und Wahsner (1980) unterscheiden zwischen den *physikalisch-mathematischen* Inhalten der klassischen Mechanik und dem *philosophischen* Konzept des Mechanismus. Eine systematisch und historisch ausführliche Analyse des Mechanismusbegriffs findet man in Schiemann (1997), Teil A. Er unterscheidet u.a. zwischen einem Mechanismus im weiteren Sinne (die Auffassung, die „Materie und Bewegung für die ersten und einzigen Ursachen aller Naturerscheinungen hält“) und ein Mechanismus im engeren Sinne, wenn der Begriff sich auf „die Prinzipien einer speziellen Disziplin, der Mechanik“, bezieht (S. 21). Auch Schiemann argumentiert jedenfalls gegen eine Identifizierung von Mechanismus und Determinismus (1997, S. 31).

¹²⁵ Vgl. Descartes (1908 [1644]), S. 18 und S. 31-36.

¹²⁶ Vgl. Descartes (1908 [1644]), S. 48ff., wo Descartes auch die von ihm festgelegten Gesetzen der Bewegung und des Stoßes formuliert,

Denn ich gestehe offen, daß ich keine andere Materie der körperlichen Dinge anerkenne, als in jeder Weise teilbare, gestaltbare und bewegliche, welche die Geometer als Größe bezeichnen und zum Gegenstande ihrer Beweise nehmen, und daß ich in ihr nur diese Teilungen, Gestalten und Bewegungen beachte und nichts an ihnen als wirklich anerkenne, was nicht aus jenen Gemeinbegriffen, an deren Wahrheit man nicht zweifeln kann, so klar abgeleitet wird, daß es als mathematisch bewiesen werden kann. Da nun auf dieser Weise alle Naturerscheinungen erklärt werden können [...] so halte ich andere Prinzipien der Naturwissenschaft weder für zulässig noch für wünschenswert.¹²⁷

Auch wenn die Newtonsche Mechanik letztendlich als der Kartesischen überlegen gesehen werden musste, trug dieser Kartesische mathematisch-geometrische Ansatz zur Physik viel zum impliziten wissenschaftlichen Determinismus bei, wie es im folgenden Absatz klar werden soll.

(3) *Das Aristotelische Wissenschaftsverständnis:* Obwohl die übliche Darstellung der Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft die Emanzipierung dieser letzten von der Aristotelischen Naturphilosophie immer wieder betont, sind einige Aspekte des Aristotelischen Wissenschaftsverständnisses auch in der neuzeitlichen Wissenschaft einflussreich geblieben. Diese Aspekte haben „als Leitfaden und Richtschnur bei der Begründung der Mechanik“ gedient¹²⁸, und somit sind sie auch sehr wichtig, um den impliziten wissenschaftlichen Determinismus zu verstehen. Zwei Aspekte möchte ich hier vorweg erwähnen, die im Folgenden in Zusammenhang mit der Darstellung des neuzeitlichen Wissenschaftsideals wieder vorkommen werden¹²⁹:

1) Das Ideal der Wissenschaft als *deduktives* (axiomatisches) System, das auf allgemeingültigen und unbedingt (d.h. notwendig) wahren *Prinzipien* beruht. Solche Prinzipien besitzen gleichzeitig die erkenntnistheoretische Eigenschaft der Gewissheit und die ontologische Eigenschaft der materiellen Wahrheit.

¹²⁷ Descartes (1908 [1644]), S. 63. Laut Meyenn (1990, S. 37) „[war] Descartes Korpuskulartheorie [...] der erste Versuch einer rationalen Rekonstruktion des gesamten Naturgeschehens auf der Grundlage von Elementarteilchen, die den Gesetzen der Mechanik unterworfen waren“.

¹²⁸ „In seinen [= von Aristoteles] logischen Schriften, die unter dem Namen *Organon* zusammengefasst zu werden pflegen, finden sich [...] allgemeine erkenntnistheoretische Betrachtungen über die an eine beweisende Wissenschaft zu stellenden Anforderungen; diese Betrachtungen wurden bei der Erneuerung des naturwissenschaftlichen Denkens im 16. Und 17. Jahrhundert nicht zusammen mit seinen Vorstellungen über die Natur bekämpft und geschmäht, sondern scheinen im Gegenteil geradezu als Leitfaden und Richtschnur bei der Begründung der Mechanik und der auf dieser beruhenden Physik gedient zu haben“ (Dijksterhuis 2002 [1950], S. 46-47).

¹²⁹ Ich beziehe mich hier insbesondere auf die Aristotelischen *Zweite Analytik* (Aristoteles 1995b) und *Physik* (Aristoteles 1995a) und stütze mich auf Dijksterhuis (2002 [1950]), S. 46-47 und auf Pulte (2005), Kap. I.1.2., ohne ihre detailliertere Rekonstruktion der Aristotelischen Aspekte der neuzeitlichen Epistemologie genau zu übernehmen und zu verfolgen.

2) Die Aristotelische Idee, dass man von etwas nur insofern *wissenschaftliche* Erkenntnis erlangt, als man dessen Ursachen kennt (*verum scire est scire per causas*)¹³⁰: die erwähnten Prinzipien verweisen nämlich auf kausale Verhältnisse in der Welt. Der Begriff der „Ursache“ ist in dem Aristotelischen Zusammenhang im *qualitativen* (und nicht quantitativen) Sinne aufzufassen und seine Bedeutung ist *breit*: sie umfasst alles, was man auf die Frage nach dem „Weshalb“ eines Phänomens antworten kann¹³¹. Da also in diesem Zusammenhang eine „kausale“ Erklärung auch eine Zurückführung auf einen Grund, weshalb etwas geschieht, oder auf das Prinzip, wonach etwas geschieht, sein kann, kann man vielleicht auf Aristoteles jene rationalistische Verflechtung zurückführen, die auch in Zusammenhang mit dem gleich zu besprechenden Leibnizschen „Satz vom zureichenden Grund“ vorkommen wird: die Verflechtung zwischen Grund und Ursache, die eine Verflechtung zwischen epistemischer und ontologischer Ebene darstellt. So erscheinen z.B. Aristoteles (1995, S. 47-48) die auf Naturphänomene bezogene Notwendigkeit und die mathematische Notwendigkeit ähnlich: „Es verhält sich die Bestimmung ‚notwendig‘ in der Mathematik und im Bereich dessen, was naturgemäß sich wandelt, auf gewisse Weise ähnlich [...]“. Eine solche Verflechtung zwischen epistemischer und ontologischer Ebene entspricht jener Zweideutigkeit des determinierenden Verhältnisses, die schon im Kap. 1 besprochen wurde: Implikation (bzw. mathematische Berechnung) und physikalische Kausalität werden bei der Formulierung des wissenschaftlichen Determinismus (als WD^e bzw. WD^z) gleichgesetzt oder gar verwechselt. Das Aristotelische Wissenschaftsverständnis nimmt schon viel des wissenschaftlichen Determinismus vorweg, denn es verlangt von jeder Erkenntnis, die als wissenschaftlich gelten soll, dass sie den maximalen Grad an Gewissheit erreiche (denn die Prinzipien sollen allgemeingültig und notwendig sein), und dass sie Kausalerklärungen liefere (denn die Prinzipien und die von ihnen abgeleiteten Gesetze verweisen auf Kausalverhältnisse). In diesem noch allgemeinen und nicht-quantitativen Sinne von Determinismus sind also wissenschaftliche Theorien *per definitionem* deterministisch. Was noch fehlt, um das mathematische Konzept von wissenschaftlichen Determinismus zu erreichen, ist eine Theorie, die die Ansprüche des Aristotelischen Wissenschaftsverständnisses tatsächlich zu erfüllen scheint und die darüber hinaus eine *quantitative* (geometrisch-mathematische)

¹³⁰ Vgl. Aristoteles (1995a), S. 1 und S. 31.

¹³¹ Vgl. Aristoteles (1995a), S. 31. Vgl. auch S. 41: „Dass es Ursachen gibt und dass es so viele an der Zahl sind, wie wir sagen, ist klargestellt; ebenso viele Bedeutungen hat ja die ‚Weshalb‘-Frage umfasst“. Es sei hier nebenbei gemerkt, wie Aristoteles in diesem Zusammenhang eine ziemlich moderne (indem sie eine *relativierende* ist) Auffassung des Zufalls vertrat: „Wenn im Bereich der Geschehnisse, die im strengen Sinn wegen etwas eintreten und deren Ursache außer ihnen liegt, etwas geschieht, das mit dem Ergebnis nicht in eine Deswegen-Beziehung zu bringen ist, dann nennen wir das ‚zufällig‘“ (Aristoteles 1995a, S. 40).

Auffassung des determinierenden Verhältnisses¹³² mit sich bringt. Das wird eben bei der neuzeitlichen Mechanik der Fall sein.

(4) *Der Satz des zureichenden Grundes* Bevor wir uns aber der Mechanik wenden, sollen wir noch kurz als Mitglied der ‚Determinismusfamilie‘ der Neuzeit den leibnizschen „Satz des zureichenden Grundes“ in Betracht ziehen¹³³, ein Satz, der eine Grundeinstellung des Rationalismus darstellte¹³⁴ und der somit die Relevanz des Rationalismus für den WD bezeugt. In seiner *Monadologie* definiert Leibniz das *Principe de la Raison suffisante*, wie folgt (Leibniz 2002 [1714], S. 124):

...en vertu duquel [des Prinzips] nous considerons qu’aucun fait ne sçauroit se trouver vrai, ou existent, aucune Enonciation veritable, sans qu’il y ait une Raison suffisante, pourquoi il en soit ainsi et non pas autrement. Quoique ces raisons le plus souvent ne puissent point nous être connües.

Obwohl Leibniz bekannterweise zwischen „vérités de raison“ und “vérités de fait” unterschieden hat, hat er seinen Satz so aufgefasst, dass er für beide gilt:

Quand une verité est necessaire [= verité de raison] on en peut trouver la Raison par l’Analyse ; la resolvant en idées et en verités plus simples, jusqu’à ce qu’on vienne aux primitives.

Mais la *raison suffisante* se doit trouver aussi dans le *verités contingentes ou de fait* [...]

¹³² Laut Kuhn (1977 [1975], S. 75ff.) ersetzte eine mechanistische Auffassung der Verursachung die aristotelische, qualitative Lehre der vier Ursachen (Materialursache, Formursache, Wirkursache und Finalursache - Vgl. Aristoteles (1995a), S. 31-34) nur langsam im Laufe des 17. Jahrhunderts, während eine vollkommene Mathematisierung der kausalen Erklärung erst zwischen 17. und 19. Jahrhundert stattfand. In ähnlicher Weise entwickelte sich der Begriff des „Naturgesetzes“ im wissenschaftlichen und quantitativen Sinne erst ab dem 17. Jh. aus früheren qualitativen Gesetzbegriffen, die in Zusammenhang mit juristischen-ethischen oder theologischen-teleologischen Vorstellungen entwickelt wurden (Vgl. Kelsen 1982 [1941] und Zilsel 2003 [1942b]). Kuhn folgend kann man den allgemeinen Mechanismus als Sieg der Wirkursachen über die Form- und Finalursachen als Erklärungsprinzipien interpretieren. Außerdem gilt Aristoteles infolge der Priorität, die er den Finalursachen zu geben scheint (vgl. Aristoteles 1995a, S. 48), als Vertreter jener teleologischen Naturauffassung, die später dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus gegenübergestellt wird. Die Sache scheint mir weniger einfach zu sein. Was die Behauptung von Kuhn betrifft, erwähnt er selbst (vgl. Kuhn 1977 [1975], S. 76) die interessante Tatsache, dass Galileo und Kepler mathematisch formulierte Gesetze mit *formalen* Ursachen, und *nicht* mit Wirkursachen, identifiziert haben. Da die Mechanik im Laufe des 18. Jahrhunderts durch und durch mathematisiert wurde, kann man vermuten, dass die „formalen Ursachen“ (Ebene der mathematischen Deduktion) und die Wirkursachen (Ebene der physikalischen, ontologischen Verursachung) im Begriff der mechanischen Erklärung verflochten wurden. Die aristotelischen Finalursachen sind sowieso an sich mit einem wissenschaftlichen Determinismus sehr wohl kompatibel: im Kap. 1 wurde es schon erwähnt, wie ein streng deterministisches Weltbild genau impliziert, dass zukünftige Zustände in einem gewissen Sinne die vorherigen eindeutig ‚determinieren‘. Deshalb kann z.B. Salmon von einem „teleological determinism“ reden (Vgl. Salmon 1998, S. 37). Die Gründe der Gegenüberstellung Finalismus vs. Determinismus sind, wie es mir scheint, nur historisch und gehen auf die Kontroverse des 19. Jahrhunderts Vitalismus vs. Mechanismus zurück: Der aristotelische Finalismus ändert also nichts an der Tatsache, dass sein Wissenschaftsverständnis dem WD den Weg bahnte.

¹³³ Durch den Ausdruck „Kausalprinzip“, der manchmal für den WD und manchmal für den Satz des zureichenden Grundes benutzt wird, werden der Satz und der WD oft fast identifiziert.

¹³⁴ Das Konzept spielt z.B. eine zentrale Rolle auch bei Spinoza. Über den Satz des zureichenden Grundes vgl. Melamed – Lin (2011).

- wobei Leibniz dafür argumentiert, dass der zureichende Grund der Existenz der Dinge Gott ist¹³⁵. Die Unterscheidung zwischen „vérités de raison“ und „vérités de fait“ hindert Leibniz anscheinend nicht ganz daran, in seinem berühmten Satz ontologische („Grund“ der Existenz) und epistemische (die einfacheren Wahrheiten als „Grund“ der komplexeren) Ebene zusammenzubringen¹³⁶. Dementsprechend finden wir bei Leibniz, wie bei der schon erwähnten Stelle aus Aristoteles, eine Verflechtung zwischen der Notwendigkeit, die sich auf Naturphänomene bezieht, und mathematischer Notwendigkeit: „Daß alles durch ein festgestelltes Verhängniß herfürgebracht werde ist eben so gewiß, als daß drey mal drey neun ist“ (Leibniz, zit. in Cassirer 2004 [1937], S. 19).

Es ist bemerkenswert, dass wir gerade bei Leibniz die einzige (von mir bekannte) Formulierung des im engen (mathematischen) Sinne aufgefassten impliziten wissenschaftlichen Determinismus finden, die älter als die Laplacesche ist. Dies ist die Fortsetzung der eben erwähnten Stelle aus Leibniz:

Denn das Verhängniß besteht darin, daß alles an einander hänget wie eine Kette, und eben so unfehlbar geschehen wird, ehe es geschehen, als unfehlbar es geschehen ist, wenn es geschehen. [...] Nemlichen jede Ursach hat ihre gewisse Würkung, die von ihr zuwege bracht würde, wenn sie allein wäre; weilen sie aber nicht allein, so entsteht aus der Zusammenwirkung ein gewisser ohnfehlbarer Effect [...] nach dem Maaß der Kräfte, und das ist wahr, wenn nicht nur zwey oder 10, oder 1000, sondern gar ohnendlich viel Dinge zusammen würken, wie dann wahrhaftig in der Welt geschicht. Die Mathematik [...] kann solche Dinge gar schön erläutern, denn alles ist in der Natur mit Zahl, Maaß und Gewicht oder Kraft gleichsam abgezirkelt. Wenn zum Exempel eine Kugel auf eine andere Kugel in freier Luft trifft, und man weiß ihre Größe und ihre Lini und Lauf vor dem Zusammentreffen, so kann man vorhersagen und ausrechnen, wie sie von einander prallen, und was sie vor einen Lauf nach dem Anstoß nehmen werden. Welches gar schöne Regeln hat; so auch zutreffen, man nehme gleich andere Figuren, als Kugeln. Hieraus sieht man nun, daß alles mathematisch, das ist, ohnfehlbar zugehe in der ganzen weiten Welt, so gar, daß wenn einer eine gnugsame Insicht in die innern Theile der Dinge haben könnte, und dabey Gedächtniß und Verstand genug hätte, umb alle Umbstände vorzunehmen und in Rechnung zu bringen, würde er ein Prophet seyn, und in dem Gegenwärtigen das Zukünftige sehen, gleichsam als in einem Spiegel.¹³⁷

¹³⁵ Leibniz (2002 [1714]), S. 124-127.

¹³⁶ Vgl. auch Melamed – Lin (2011): “Perhaps Leibniz did not notice that some of his formulations of the PSR entail that it applies only to truths and that others entail that it applies only to events. Or perhaps he thought that the two formulations are equivalent because he thought that for every event there is a truth that describes it and that for every truth there is an event described by it.”

¹³⁷ Leibniz, „Von dem Verhängnisse“ (die genaue Abfassungszeit ist unbekannt: vgl. Leibniz (1966), Bd. II, S. 121, Fußnote), aus den *Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie* (Leibniz 1966, S. 129), zit. in: Cassirer (2004 [1937]), S. 19-20.

Die Ähnlichkeit dieser Stelle mit dem berühmten Determinismus-Zitat von Laplace ist frappant und aufschlussreich¹³⁸. In beiden Fällen wird der Determinismus sowohl in einer zeitlichen Dimension (beim Hinweis auf eine kausale Kette, oder auf das Verhältnis Ursache-Wirkung), als auch unter der Perspektive der Ewigkeit (Vergangenheit bzw. Gegenwart und Zukunft werden gleichzeitig, in *einem* Augenblick, umfasst) dargestellt (vgl. oben, §1a). In beiden Fällen werden physikalische Kausalität (ontologische Ebene) und mathematische Deduktion bzw. Ausrechnung von einem Zustand aus einem anderen miteinander verflochten. In beiden Fällen wird der wissenschaftliche Determinismus mit Präzision und mit Hinweis auf *quantitativ* aufgefasste Eigenschaften formuliert. In beiden Fällen spielt die Mathematik eine zentrale Rolle: es geht nicht im Allgemeinen darum, dass der Weltlauf sich mit Notwendigkeit nach einem Ursache-Wirkung Muster entfaltet, sondern geht es darum, dass bestimmte Größen ausgerechnet werden.

Somit kommen wir endlich zum Kern des impliziten wissenschaftlichen Determinismus im engen Sinne, und zwar zu der für den Rationalismus der Neuzeit typischen Überzeugung, „daß alles mathematisch, das ist, ohnfehlbar zugehe in der ganzen weiten Welt“, wie Leibniz es ausdrückt.

c. Der mathematische Kern des impliziten wissenschaftlichen Determinismus

Was die Gedanken von vielen Gelehrten einstmals so quälte,
Was vergeblich die Schulen zu lautstarkem Streite verführte,
Wir nun durchschau'n es, *Mathematik* vertreibt uns die Wolken.¹³⁹

He who is trained in physics today will ask, what were the fundamental experiments upon which 'classical' mechanics was founded? I have never been able to find any.¹⁴⁰

Les équations différentielles sont le pivot de la conception scientifique du monde.¹⁴¹

¹³⁸ Interessanterweise geht im Laplaceschen *Philosophischen Versuch über die Wahrscheinlichkeit* ein Hinweis genau auf den Leibnizsche Satz des zureichenden Grundes die meistzitierte Stelle über den Determinismus (die ich da noch mal auf Deutsch wiedergebe) voran: „Die gegenwärtigen Ereignisse sind mit den vorangehenden durch das evidente Prinzip verknüpft, daß kein Ding ohne erzeugende Ursache entstehen kann. Dieses Axiom [ist] bekannt unter dem Namen des ‚Prinzips vom zureichenden Grunde‘ [...]. Wir müssen also den gegenwärtigen Zustand des Weltalls als die Wirkung seines früheren und als die Ursache des folgenden Zustands betrachten. Eine Intelligenz, welche für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kennte, und überdies umfassend genug wäre, um diese gegebenen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Weltkörper wie die des leichtesten Atoms umschließen; nichts würde ihr ungewiß sein und Zukunft wie Vergangenheit würden ihr offen vor Augen liegen“ (Laplace 1932, S. 1-2).

¹³⁹ Edmund Halley an Newton, in: Newton (1999 [1725/29³]), S. 1; meine Hervorhebung.

¹⁴⁰ Truesdell (1968b), S. 135.

Als Leibniz und Laplace den impliziten wissenschaftlichen Determinismus im engen Sinne formulierten, drückten sie hauptsächlich die Bedeutung und die Leistung eines *mathematischen* Objekts aus (sie sprachen von „Rechnung“, von „Analyse“ und von „Formel“) und zwar der *Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik*: jene *Differentialgleichungen*, deren Lösung den Ort und die Geschwindigkeit einer Masse zu jedem Zeitpunkt festlegen¹⁴². Der Glaube an die *unbegrenzte Leistungsfähigkeit* und an die *Realitätsbezogenheit* solcher Differentialgleichungen macht den Kern des impliziten wissenschaftlichen Determinismus aus. Es sei an die schematischen Repräsentationen des wissenschaftlichen Determinismus erinnert, die im Kap. 1 ausgearbeitet wurden:

$$(WD^e) \dots Z_{t-1} \leftrightarrow Z_{t0} \leftrightarrow Z_{t1} \dots$$

$$(WD^z) \dots Z_{t-1} \rightarrow Z_{t0} \rightarrow Z_{t1} \dots$$

In beiden Fällen wird die Entwicklung eines ‚physikalischen‘ Systems so dargestellt, dass die Möglichkeit besteht, aus einem genau bestimmbar Zustand zu einem anderen bestimmten Zustand zu schließen. Der Determinismus kommt in zweierlei Hinsicht zum Ausdruck:

¹⁴¹ Diese Aussage des russischen Mathematiker Vladimir Arnold (1937-2010) wird in Leborgne (1982 S. 218) wiedergegeben.

¹⁴² Israel (1991) behauptet, dass das Verhältnis zwischen dem in der klassischen Mechanik eingesetzten Differentialgleichungstyp und dem Determinismus erst im späten 19. Jh. bewusst wird. Die Voraussetzung dieses Verhältnisses ist nämlich, dass unter bestimmten Regularitätsbedingungen eine Lösung der genannten Differentialgleichungen immer existiert und eindeutig ist – was erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts bewiesen wurde. Allerdings wurde von Laplace die Existenz solcher Lösungen – wie Israel selbst anerkennt (vgl. S. 329-330) – *implizit* angenommen: „Laplace, par causalité, sous-entendait sans aucun doute une description mathématique obtenue par intégration d’un champ de vecteurs X dans un espace des états M [...]. Il ne fait guère de doute que ce modèle différentiel (M, X) (...) peut être considéré aujourd’hui comme le paradigme du déterminisme scientifique“ (Thom 1986, zit. in Israel 1991, S. 306, Fußnote 2). Heute formuliert z.B. der russische Mathematiker V. Arnold das von ihm so genannten *Newton’s principle of determinacy*: „The initial state of a mechanical system (the totality of positions and velocities of its points at some moment of time) uniquely determines all of its motion.“ Die mathematische Umformulierung dieses Prinzips beschreibt er dann, wie folgt: „According to Newton’s principle of determinacy [...] all motions of a system are *uniquely* determined by their initial positions $(\mathbf{x}(t_0) \in \mathbf{R}^N)$ and initial velocities $(\dot{\mathbf{x}}(t_0) \in \mathbf{R}^N)$. In particular, the initial positions and velocities determine the acceleration. In other words, there is a function $\mathbf{F}: \mathbf{R}^N \times \mathbf{R}^N \times \mathbf{R} \rightarrow \mathbf{R}^N$ such that

(1) $\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}(\mathbf{x}, \dot{\mathbf{x}}, t)$.

Newton used Equation (1) as the basis of mechanics. It is called *Newton’s equation*“ (Arnold 1989², S. 8, meine Hervorhebungen - Arnold benutzt hier auch die Newtonsche Schreibweise für die Ableitungen einer Funktion nach der Zeit).

- (1) als *Bestimmtheit* eines Zustands (bzw. als Bestimmtheit der sogenannten Anfangsbedingungen), die sich deswegen ergibt, weil physikalische Zustände auf mathematische Eigenschaften reduziert werden, und
- (2) als unmittelbare Bestimmtheit eines Zustands anhand der Beschreibung jegliches anderen – wobei der Spezialfall, der in Vordergrund steht, der der *Vorherbestimmtheit* späterer Zustände anhand der Beschreibung der vorigen ist.

Was den ersten Punkt betrifft, war eine wichtige Voraussetzung der Entwicklung der Mechanik und des von ihr suggerierten impliziten wissenschaftlichen Determinismus die Reduktion der Realität auf mathematisch-geometrische Eigenschaften. Dass geometrische und mathematische Eigenschaften das *Wesentliche* und das *Objektive* an der Realität erfassen, ist eine Idee, die teilweise schon im antiken Atomismus von Demokrit präsent ist¹⁴³, und die in der Neuzeit als Unterscheidung zwischen „primären“ und „sekundären“ Qualitäten (der Unterschied zwischen *primary qualities* und *secondary qualities* geht auf Locke zurück, wie wir gleich sehen werden) weiter entwickelt wird.

Schon vor der im vorigen Absatz erwähnten Mathematisierung und Geometrisierung des physikalischen Weltbildes seitens Descartes hatte Galilei in seinem *Il Saggiatore* die „wesentlichen“ Qualitäten der physikalischen Welt definiert, wie folgt:

Somit sage ich, daß, sobald ich mir eine Materie oder körperliche Substanz vorstelle, ich mich gezwungen fühle, mir zugleich vorzustellen, daß sie begrenzt ist und von dieser oder jener Gestalt, daß sie in Verhältnis zu anderen groß oder klein ist, daß sie an diesem oder jenem Ort ist, zu dieser oder jener Zeit, daß sie sich bewegt oder ruht, daß sie einen anderen Körper berührt oder nicht berührt, daß sie (der Anzahl nach) eine ist, wenige oder viele; durch keine (Anstrengung der) Einbildungskraft kann ich sie von diesen Bedingungen trennen. Aber dass sie weiß oder rot sein muß, bitter oder süß, laut oder leise, von angenehmem oder unangenehmem Geruch – sie als notwendigerweise von solchen Bedingungen begleitet anzunehmen, fühlt sich mein Geist nicht gezwungen. [...] Deswegen denke ich, daß diese Geschmäcke, Gerüche, Farben usw. auf Seiten des Gegenstandes, in dem sie sich scheinbar befinden, nichts anderes sind, als bloße Namen, ihren Wohnsitz aber nur im empfindungsfähigen Körper haben; würde das Lebewesen entfernt, so wären alle diese Qualitäten aufgehoben und vernichtet¹⁴⁴

Laut Galilei (1623) sind also nur Gestalt, Größe, Ort, Zeit, Bewegung und Anzahl „wirkliche“ Eigenschaften der physikalischen Körper, während andere, wie Farbe, Geschmack usw. nicht diesen innewohnen, sondern dem empfindenden Subjekt (und daher sind sie nicht objektiv, sondern subjektiv).

¹⁴³ Vgl. die Überlieferung der Lehre Demokrits nach Diels-Kranz (1903), S. 405-407.

¹⁴⁴ Galilei, *Il Saggiatore*, zitiert und ins Deutsche übersetzt von Kügler (2002), S. 15. Das Zitat entspricht dem italienischen Originaltext Galilei (1938 [1623]), S. 798. Interessanterweise existiert keine integrale Deutsche Übersetzung dieses wichtigen Werks.

Ungefähr zwanzig Jahre später (im Jahre 1644), wie bereits erwähnt, reduziert Descartes die Wirklichkeit der physikalischen Körper auf Größe bzw. Ausdehnung samt ihrer „Teilungen, Gestalten und Bewegungen“ (vgl. das Zitat im vorigen Absatz).

1690 führt schließlich Locke in seinem *Essay concerning Human Understanding* die berühmt gewordene Unterscheidung zwischen *primary qualities* und *secondary qualities* ein:

These I call *original* or *primary Qualities* of Body, [...] viz. Solidity, Extension, Figure, Motion, or Rest, and Number.

[...] Such *Qualities*, which in truth are nothing in the Objects themselves, but Powers to produce various Sensations in us [...], as Colours, Sounds, Tastes, etc.. These I call *secondary Qualities*.¹⁴⁵

Es ist klar, dass das Konzept einer Reduktion der komplexen physikalischen Realität auf wenige, mathematisch-geometrisch behandelbare Eigenschaften eine wesentliche Rolle für die Formulierung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus spielt: dieser letzte behauptet nämlich die Vorhersagbarkeit der Entwicklung der Welt anhand weniger mathematischen bzw. geometrischen Größen (typischerweise Ort und Impuls der in Frage kommenden Körper bzw. Teilchen)¹⁴⁶.

Man könnte sagen, dass die Unterscheidung zwischen primären und sekundären Qualitäten quasi als „Brücke“ zwischen allgemeinem Mechanismus und Mechanik im engen Sinne fungiert: Der schon erwähnte allgemeine Mechanismus bedeutet eine erste Reduktion, indem er behauptet, dass alle Naturphänomene sich auf Bewegungen und Interaktionen von materiellen Teilchen reduzieren ließen. Die klassische Mechanik – und somit der implizite wissenschaftliche Determinismus – setzt eine weitere, stärkere Reduktion voraus: die Teilchen

¹⁴⁵ Locke (1979 [1690]), S. 135. Eine Forschungslücke bezüglich der historisch-philosophischen Entwicklung der „Philosophie der primären und sekundären Qualitäten“ hat 2002 Kügler gefüllt (Kügler 2002). Im zweiten Teil seines Buches geht er auch die Frage nach den Folgen dieser Unterscheidung für die Entwicklung der Physik der Neuzeit ein. Vgl. auch Koyré (1964), S. 23: „Yet there is something for which Newton – or better to say not Newton alone, but modern science in general – can still be made responsible: it is the splitting of our world in two. I have been saying that modern science broke down the barriers that separated the heavens and the earth, and that it united and unified the universe. And that is true. But, as I have said, too, it did this by substituting for our world of quality and sense perception, the world in which we live, and love, and die, another world – the world of quantity, of reified geometry, a world in which, though there is place for everything, there is no place for man. Thus the world of science – the real world – became estranged and utterly divorced from the world of life [...]“.

¹⁴⁶ Vgl. auch Du Bois-Reymond (1886-87, Bd. I, S. 444), wenn er im Rahmen seiner Besprechung des „Laplaceschen Geistes“ (vgl. unten, §6.a) bemerkt: „Ehe die Differentialgleichungen der Weltformel angesetzt werden könnten, müßten alle Naturvorgänge auf Bewegungen eines substantiell unterschiedslosen, mithin eigenschaftslosen Substrates dessen zurückgeführt sein, was uns als verschiedenartige Materie erscheint, mit anderen Worten, alle Qualität müßte aus Anordnung und Bewegung solchen Substrates erklärt sein“. Zum Verhältnis zwischen der Reduktion auf die primäre Qualitäten und Determinismus vgl. auch Borzeszkowski – Wahsner (1980), S. 16.

werden als geometrische Punkte aufgefasst¹⁴⁷, und weitere physikalische Eigenschaften und Interaktionen (z.B. Masse, Kraft, Energie usw.¹⁴⁸) lassen sich durch mathematisch-geometrische (z.B. in der Newtonschen Mechanik) oder durch rein mathematische (z.B. in der analytischen Mechanik) Werte ausdrücken.

Darüber hinaus suggeriert die klassische Mechanik, dass die Möglichkeit von alternativen und *gleichberechtigten* Beschreibungen derselben Realität ausgeschlossen ist. Zwei *innenphysikalische*¹⁴⁹ Charakteristika der klassischen Mechanik tragen zu dieser Ausschließung bei: die Auffassung der Zeit als absolut messbaren Parameters, und die Annahme, dass alle physikalische Phänomene sich in einem dreidimensionalen kartesischen Raum abspielen.

Nachdem ein ‚physikalischer‘ Zustand durch mathematische Größe definiert wird, bietet die Mechanik das mathematische Instrumentarium an, um die folgenden Zustände vorauszuberechnen. Jede Version der klassischen Mechanik umfasst Prinzipien oder Axiome (z.B. die drei „Axiome oder Gesetze der Bewegung“ in den Newtonschen *Principia*, das „Prinzip der kleinsten Wirkung“ usw.)¹⁵⁰, die gesetzartige Sätze sind und die als Funktionen ausgedrückt werden können (aus ihnen lassen sich dann weitere gesetzartige Sätze und Funktionen ableiten). Die zeitliche Entwicklung des Systems kann dann beschrieben werden, indem die Differentialgleichungen gelöst werden, die den jeweiligen Funktionen entsprechen und die die Zeit als Variable enthalten. „Determiniert“ sind also die zeitabhängigen Lösungen dieser Differentialgleichungen bzw. Bewegungsgleichungen für jeden beliebigen Zeitpunkt unter der Voraussetzung, dass wir aus mit beliebiger Genauigkeit bestimmten Anfangsbedingungen ausgehen können und unter der Annahme, dass wir eben für jeden beliebigen Zeitpunkt die Lösung der Differentialgleichungen tatsächlich berechnen können. Man kann sich die Arbeitsweise des hauptsächlich aus Differentialgleichungen bestehenden mathematischen Instrumentariums der Mechanik wie eine ideelle Maschine vorstellen¹⁵¹: man

¹⁴⁷ Über die weitere Frage der Darstellung von geometrischen Punkten durch Infinitesimalzahlen und das damit verbundene Problem des Kontinuums vgl. Israel (1991).

¹⁴⁸ Um die Relevanz der Arbeit der rationalistischen „Gegner“ Newtons wieder hervorzuheben, sei es hier gemerkt (neben der fundamentalen Bedeutung des *kartesischen* Koordinatensystems), dass zwei zentrale Begriffe der Leibnizschen Mechanik – der von Energie und der von Erhaltungsgesetz – in der weiteren Entwicklung der Mechanik durch Lagrange und Hamilton (d.h. in der analytischen Mechanik) eine zentrale Rolle spielten.

¹⁴⁹ Weitere *erkenntnistheoretische* Voraussetzungen der absoluten Gültigkeit der klassischen Mechanik werde ich gleich im nächsten Absatz besprechen.

¹⁵⁰ In Übereinstimmung mit einem Grundsatz des schon erwähnten aristotelischen Wissenschaftsverständnisses, der in der Neuzeit geltend bleibt, werden die verschiedenen Formulierungen der klassischen Mechanik systematisch (nach dem Vorbild der euklidischen Geometrie) aufgebaut: ganz „oben“ im deduktiven System befinden sich also die Prinzipien, die als Axiome aufgefasst werden (vgl. unten, §2.d).

¹⁵¹ Eine ähnliche Vorstellung (nicht aber genau die gleiche) findet man in Kuhn (1977 [1961]), S. 257.

gibt in die Maschine als Input die Anfangsbedingungen eines physikalischen Systems zur Zeit t_n ein, und die Maschine – die die Prinzipien bzw. die entsprechenden gesetzmäßigen Aussagen quasi als *hardware* für jede Berechnung besitzt – berechnet die Werte, die den Zustand desselben Systems zu jedem anderen Zeitpunkt definieren.

Dass die erwähnten Differentialgleichungen überhaupt so aufgebaut werden können, wie es mit Bezug auf unsere ideelle Maschine dargestellt wurde, und vor allem dass es eine Lösung dieser Differentialgleichungen überhaupt *gibt* und dass sie *eindeutig* gegeben ist, hat man bis dem 19. Jahrhundert einfach *geglaubt*. Insbesondere - laut der interessanten Rekonstruktion von Israel (1991) - hat man im Rahmen der Entwicklung der Mechanik an die Existenz und Eindeutigkeit der Lösungen von (gewöhnlichen) Differentialgleichungen geglaubt, schon lange bevor diese im Laufe des 19. Jahrhunderts durch ein entsprechendes Theorem bewiesen wurden¹⁵². In Zusammenhang mit der Entwicklung dieses Theorems hat man aber auch *Bedingungen* festgelegt, unter denen die Lösung von Differentialgleichungen möglich bzw. eindeutig ist, womit die Klasse der eindeutig und exakt lösbaren Bewegungsgleichungen eingeschränkt werden musste¹⁵³.

Die Möglichkeit, die Entwicklung eines ‚physikalischen‘ Systems *mit vollkommener Exaktheit* vorauszuberechnen, ist etwas, das auch heutzutage noch ziemlich entfernt von der Praxis ist, und das in dem hier betrachteten Zeitraum zwischen dem 17. und dem frühen 19. Jh. als noch utopischer erscheinen hätte sollen. In sehr allgemeinen Fällen, in denen z. B. ein System aus vielen interagierenden „Körpern“ besteht oder es Kollisionen zwischen „Körpern“ gibt, verschwindet die Möglichkeit der *vollkommenen* Vorhersagbarkeit der Entwicklung des Systems *zu jeder Zeit* schon ganz. Die Gleichungen, die die Entwicklung der ‚physikalischen‘ Systeme deterministisch beschreiben sollen, sind nur für eine kleine Minderheit der Systeme mit Exaktheit tatsächlich lösbar. Bei vielen anderen Systemen muss man sich mit Approximationen zufrieden geben, deren Grad mit der Zeit exponentiell wächst, bis man keine

¹⁵² Vgl. Israel (1991) und siehe auch das schon erwähnte Zitat von Thom über Laplace aus Israel (1991), S. 306, Fußnote 2. Mit dem von Arnold (1989²) so genannten „theorem of existence and uniqueness of solutions to ordinary differential equations“ sind eigentlich einige Ergebnisse im Bereich der Mathematik zu verstehen, die erst im Laufe des 19. Jahrhunderts von Mathematikern wie Augustin Cauchy (1789-1857), Rudolf Lipschitz (1832-1903), Charles Émile Picard (1856-1941) und Ernst Lindelöf (1870-1946) erreicht wurden. Wenn es von *einem* Theorem die Rede sein soll, dann ist damit der „Satz von Picard-Lindelöf“ oder „von Cauchy-Lipschitz“ gemeint. Über das Verhältnis zwischen diesem Theorem und dem wissenschaftlichen Determinismus vgl. Israel (1991). Erst gegen *Ende des 19. Jahrhunderts* hat sich „das“ Theorem etabliert.

¹⁵³ Mathematische Schwierigkeiten im Bezug auf den Determinismus bereiteten schon vor dem 19. Jh. z.B. partielle Differentialgleichungen, die Existenz von mehreren Lösungen derselben Differentialgleichung bzw. Einzellösungen und Einzelintegralen und im allgemeinen die Auffassung der Differentialgleichungen anhand des Problems des Kontinuums: darüber vgl. Israel (1991 insb. S. 339-52), der auch sehr schön rekonstruiert, wie man mit diesen Schwierigkeiten umgegangen ist, um die metaphysische Annahme des Determinismus zu retten. Unten, im §6.b., werde ich zeigen, wie das Fehlen einer eindeutigen Lösung bei einigen Differentialgleichungen im 19. Jh. ein Argument gegen den wissenschaftlichen Determinismus geworden ist.

Information mehr über das System hat. Die Nichtlinearität einiger physikalischer Systeme, die heute im Bereich des sogenannten „deterministischen Chaos“ behandelt wird, hätte damals die meisten Naturphänomene deutlich als nicht-deterministisch erscheinen lassen müssen. Man bedenke dabei auch, dass die Messungspräzision und die Messtechnik zum ‚Goldenen Zeitalter‘ der Mechanik noch ziemlich unterentwickelt waren – was sich gleich auf die Bestimmtheit der „Anfangsbedingungen“ negativ auswirken hätte müssen.

Auf jeden Fall ist es klar, dass die klassische Mechanik und der von Leibniz und Laplace ausgedrückte (aber noch namenlose) wissenschaftliche Determinismus, der auf ihr basierte, einen stark mathematischen Charakter hatten. Jene Mechanik, die sich von Galileo bis zur analytischen Mechanik entwickelt hat, hat als ihr wesentliches Kennzeichen – wie Dijksterhuis in seinem berühmten Buch *Die Mechanisierung des Weltbildes* (2002 [1950]) behauptet hat – jenes der „mathematischen Behandlung“:

Und zwar ist die klassische Mechanik mathematisch nicht nur in dem Sinne, daß sie sich der Hilfsmittel der Mathematik bedient, um Argumentationen, die sich zur Not auch in der gewöhnlichen Umgangssprache ausdrücken lassen könnten, kürzer und übersichtlicher wiederzugeben; sondern sie ist es in dem viel einschränkenderen Sinne, daß ihre fundamentalen Begriffe mathematische Begriffe sind, daß sie selbst eine Mathematik ist¹⁵⁴

Die rationale Mechanik der Neuzeit „[hat] sich schon im siebzehnten Jahrhundert völlig von ihrem Ursprunge im Studium von Werkzeugen emanzipiert“ (Dijksterhuis 2002 [1950], S. 554). Auf diese Emanzipation weist z.B. auch der „Empirist“ Newton hin, in dem er seine *Principia* explizit innerhalb einer *rationalen* Mechanik einbettet, die (1) sich von der „Technik“ (bzw. „praktischer Mechanik“) unterscheidet, die (2) im engen Verhältnis mit der Geometrie zu betrachten ist¹⁵⁵, und die er (3) als „eine *exakt* dargelegte und *bewiesene* Wissenschaft“ von Bewegungen und Kräften definiert¹⁵⁶.

¹⁵⁴ Dijksterhuis (2002 [1950]), S. 555. Vgl. auch Borzeszkowski – Walsner (1980), S. 14: „Die mechanischen Gesetze sind als mathematische Gleichungen formuliert und die Begriffe der Mechanik von diesen mathematischen Strukturen nicht zu trennen.“ Was insbesondere die Newtonsche Version der Mechanik betrifft, merken sie anhand unterschiedlicher Stellen aus den *Principia*, wie Newton „betonte, daß die in seiner Physik gewonnenen Erkenntnisse nicht von der mathematischen Struktur, in der sie dargestellt wurden, losgelöst werden können, und suchte eben deshalb darüber hinaus noch nach einer physikalischen Erklärung“ (*Ebenda*, S. 35).

¹⁵⁵ Über die „immer wieder beschworene enge Beziehung von Mechanik und Geometrie“ vgl. Pulte (2005), Kap. II.2.4. (insbesondere S. 67).

¹⁵⁶ Newton (1999 [1725/29³]), S. 3; meine Hervorhebung. Schon lange vor Newton bezeichnete Leonardo die Mechanik als „Paradies der mathematischen Wissenschaften“ (zit. in: Meyenn Hrsg. 1990, S. 30). Auf das Mathematische in den Newtonschen *Principia Mathematica* konzentriert sich Guicciardini (1999).

Noch im 18. Jh. – und fast bis seinem Ende – wird die Mechanik als Teil der *mathesis mixta* (oder „angewandten Mathematik“) aufgefasst und somit von der „Physik“, die seit Aristoteles immer noch eher qualitative Eigenschaften und Ursachen untersuchte, unterschieden¹⁵⁷. Im Jahre 1781 schrieb man in einem Gutachten der philosophischen Fakultät der Universität Heidelberg:

Philosophische Facultät wünscht die Gegenstände der Mathesis genau von jenen der Physic getheilet und daher die Mechanic, Hydraulic und alle übrigen Theile der angewandten Mathesis dem professori matheseos allein überlassen.¹⁵⁸

Die Trennung zwischen Mathematik (inklusive Mechanik) und Physik war tatsächlich besonders stark in Deutschland, wo Anfang des 19. Jahrhunderts die sogenannte „reine Mathematik“ entstand. Aber auch in Frankreich, wo das „Rollenmodell des Physikmathematikers“¹⁵⁹ diese Trennung in akademischer Hinsicht relativierte, entwickelte sich die Mechanik auf einer immer abstrakteren Ebene: die Anwendbarkeit der Mathematik auf konkrete Fälle rückte in den Hintergrund und das Hauptinteresse galt der Absicherung der Grundlagen durch Analysen und Axiomatisierungen¹⁶⁰. In diesen Zusammenhang ist auch die Entwicklung der Mechanik als „analytische Mechanik“ durch Lagrange, Legendre, Cauchy, Hamilton und Jacobi einzubetten. Erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wird die Mechanik in einen „hybriden“ Forschungsbereich geraten, der sowohl von Mathematikern als auch von Physikern in Anspruch genommen wird¹⁶¹.

Die hier kurz beschriebene Kluft zwischen Mathematik und Physik zwischen dem 16. und dem späten 19. Jh. ist das institutionelle Pendant jener Trennung zwischen „mathematischen“ und „experimentellen“ Traditionen bei der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften, die von Kuhn analysiert wurde (vgl. Kuhn 1977 [1976]), und die in Bezug auf unsere Fragen wichtige epistemologische Folgen hat. Kuhn folgend können wir die rationale Mechanik zu jenen

¹⁵⁷ Vgl. Stichweh (1984), S. 176-177. Die *mathesis mixta* wird erst ab dem Ende des 18. Jahrhunderts gelegentlich als „mathematische Physik“ bezeichnet, wobei diese letzte noch eher als Mathematik verstanden wurde (Vgl. Stichweh 1984, S. 198, Fußnote 74). „Physik“ wurde im 18. Normalerweise als Oberbegriff für Naturlehre, Naturgeschichte, Chemie und die Lehrsätze der angewandten Mathematik benutzt (vgl. Stichweh 1991, S. 23, Fußnote 18).

¹⁵⁸ Zit. in Stichweh (1984), S. 182.

¹⁵⁹ Vgl. Stichweh (1984, S. 197). Auch in Frankreich fungierten sowieso „physikalische Ausgangsannahmen häufig nur als Abstoßpunkt [...], von denen die mathematische Entwicklung in der Folge abzulösen versucht – und dies wesentlich auch, um nicht die Sicherheit mathematischer Wahrheit durch die Kontingenz physikalischer Hypothesen zu gefährden“ (Stichweh 1984, S. 225). Auf diese Thematik werde ich im nächsten Kapitel zurückkommen.

¹⁶⁰ Vgl. Truesdell (1968b), Stichweh (1984), Kap. III, 4 und Pulte (2005), Kap. IV. Mehr dazu im nächsten Kapitel vorliegender Arbeit.

¹⁶¹ Vgl. Stichweh (1984), S. 244.

mathematischen Wissenschaften¹⁶² rechnen, die bis ins 19. Jh. „mit ein paar bemerkenswerten Ausnahmen sehr wenig mit Experimenten und verfeinerten Beobachtungen zu tun [hatten]“¹⁶³, da sie sich relativ unabhängig von der „Baconischen“, experimentellen Tradition entwickelten¹⁶⁴. Gewiss stellt Kuhn seine These der Trennung zwischen mathematischer und experimenteller Tradition ziemlich zugespitzt dar, und seine Position kann relativiert und hinterfragt werden. Hier möchte ich aber die Frage nach dem Entstehungs- oder Entdeckungszusammenhang der Erkenntnisse, die in der jeweiligen Mechanik (die Newtonsche, die Lagrangesche usw.) zum Ausdruck gebracht werden (z.B. die Frage, ob man gewisse mechanische Gesetze empirisch „entdeckt“ hat) beiseite lassen, und möchte stattdessen den Rechtfertigungszusammenhang und den Geltungsanspruch der klassischen Mechanik(en) fokussieren. Mit anderen Worten: es geht mir nicht darum, mich an die starke Tradition einer „rationalistischen“ Interpretation der sogenannten wissenschaftlichen Revolution anzuschließen¹⁶⁵, und dafür zu argumentieren, dass die Entstehung der modernen Wissenschaft bzw. der modernen Physik im Wesentlichen auf der Anwendung der Mathematik basierte. Die vorliegende Arbeit ist sicherlich nicht der geeignete Rahmen, um nach der Richtigkeit dieser Interpretation gegenüber anderen, die der Erfahrung einer größeren Rolle zuschreiben¹⁶⁶, zu fragen. Was hier in Mittelpunkt steht, ist die Art der Rechtfertigung der Mechanik als vorhandene wissenschaftliche Theorie, sowie das Wissenschaftsverständnis, das dahinter steckt und ihren Geltungsanspruch definiert: dies hilft uns nämlich, zu verstehen, wie der von der

¹⁶² Schon für die Zeit vor der Renaissance fasst Kuhn (1977 [1976], S. 89) Astronomie, Harmonielehre, Mathematik, Optik und Statik als „klassische Wissenschaften“ zusammen und fügt hinzu: „selbst ihre Nennung als selbstständige Gebiete ist in gewissem Grade anachronistisch. Wir werden weiter unten Hinweisen darauf begegnen, daß sie unter wesentlichen Gesichtspunkten besser als ein einziges Gebiet – Mathematik – aufgefaßt werden sollten“. Die Mechanik kommt dann ab dem 16. Jh. „zu der Gruppe der mathematischen Wissenschaften“ dazu (vgl. Kuhn 1977 [1976], S. 90-91).

¹⁶³ Kuhn (1977 [1976], S. 91). Vgl. auch S. 100-101. Vgl. außerdem das Zitat von Truesdell, das am Anfang vorliegenden Absatzes steht.

¹⁶⁴ Kuhn (1977 [1976]) nennt als frühe Vertreter dieser Tradition – neben Bacon – Leute wie Gilbert, Boyle und Hook (S. 94), und behauptet, diese Tradition hätte u.a. wegen ihres Misstrauens gegenüber der Mathematik einen wissenschaftlich anerkannten Stand erst im letzten Drittel des 19. erreicht (z.B. durch die Entwicklung der Elektrizität- und Magnetismuslehre oder der Wärmelehre) (S. 99). Kuhn (S. 103) gibt auch soziale und institutionelle Gründe dafür an, dass die mathematische und die experimentelle Tradition lange getrennt blieben: die sozialen Gruppen, die die jeweilige Tradition pflegten, blieben laut Kuhn lange getrennt (die Vertreter der ersten Tradition hatten z.B. eine Stelle an den Universitäten, während die „Experimentatoren“ oft Amateure waren, die keine institutionelle Anerkennung hatten).

¹⁶⁵ Vgl. Cassirer (1999 [1906]), Koyré (1964), Dijksterhuis (2002 [1950]), und den schon erwähnten Kuhn (1977 [1976]).

¹⁶⁶ Vgl. z.B. die These von Edgar Zilsel, laut der die rationalistische und systematische Einstellung von Universitätsgelehrten und Humanisten durch die vom Frühkapitalismus geförderte Zusammenfügung mit dem experimentellen Ansatz der höheren Handarbeiter Anfang des 17. Jahrhunderts die neuzeitliche Wissenschaft hervorbrachte (Vgl. Zilsel 2003). Das breite und noch kontroverse Thema der Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und der jeweiligen Rolle von Theorie und Experiment kann hier nicht behandelt werden. Einen Blick auf die Kontroverse und auf verschiedene Thesen dazu gibt aus einem hauptsächlich soziologischen Standpunkt Wolfgang Krohn (1976).

Mechanik geförderten Determinismus an Breite und an Tiefe gewinnt und ein unerschütterlicher Glaube wird.

d. Die Untermauerung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus durch das klassische Wissenschaftsverständnis

Die Ergebnisse vorigen Absatzes zeigen, wie in Bezug auf die klassische Mechanik das Adjektiv „deterministisch“ als Bezeichnung (vgl. meine Klassifizierung im Kap. 1) benutzt werden darf: die klassische Mechanik ist im Grunde eine deterministische Theorie, die deterministische Gesetze in der Form von Funktionen und Gleichungen liefert, und somit deterministische Beschreibungen bzw. deterministische Modelle der Welt erlaubt.

Die klassische Mechanik an sich, als Teil der Physik, ist immer noch aktuell: sie wird also noch in (modernen) Zeiten, in denen eine starke Auffassung des Determinismus schwer vertretbar geworden ist, angewendet und als unter gewissen Bedingungen gültig betrachtet. Aber eben: unter gewissen Bedingungen, d.h. als *eine mögliche*, unter Umständen praktische Beschreibung bestimmter Klassen von Phänomenen. Im Rahmen eines modernen – d.h. relativierenden und pluralistischen¹⁶⁷ – Wissenschaftsverständnisses impliziert die Mechanik keine starke Form von Determinismus mehr. Es ist also nicht die klassische Mechanik an sich, sondern die Mechanik *im Zusammenhang mit dem klassischen Wissenschaftsverständnis*¹⁶⁸, die den impliziten wissenschaftlichen Determinismus untermauerte.

Die verschiedenen Formulierungen der rationalen Mechanik entsprachen wenigstens bis dem 19. Jh. einem „mathematisch-deduktiven“ Wissenschaftsverständnis¹⁶⁹. Dieses Verständnis, das von dem schon erwähnten Aristotelischen Wissenschaftsideal stark geprägt war, umfasst u.a. folgende Überzeugungen, die zentral sind, um den impliziten wissenschaftlichen Determinismus zu verstehen:

¹⁶⁷ Vgl. Schiemann (1997), S. 3: „Modern heißt eine Erkenntnis nur dann, wenn sie durch die Relativität ihres Geltungsanspruches ausgezeichnet ist. (...) die formale Anerkennung der Begrenztheit und Kontingenz von Geltungsbedingungen sowie der Gleichberechtigung alternativer Betrachtungsweisen ist das Signum der naturphilosophischen Moderne“. Schiemann (1997) und Pulte (2005) thematisieren ausführlich – in Anlehnung an A. Diemer und H. Schnädelbach – die Unterschiede zwischen einem „klassischen“ und einem „modernen“ Wissenschaftsverständnis und den Übergang vom ersten zum zweiten.

¹⁶⁸ Was das klassische Wissenschaftsverständnis bzw. die klassische Naturphilosophie betrifft, stütze ich mich vor allem auf Pulte (2005), der von einer „klassischen mathematischen Naturphilosophie“ (KMN) redet und auf Schiemann (1997), Teil A.

¹⁶⁹ Truesdell (1968a), Kuhn (1977 [1976]), Stichweh (1984) und Pulte (2005) bieten viel Evidenz für diese Behauptung.

a. System und Ausschließlichkeitsanspruch

Wissenschaftliche Erkenntnis ist nur jene Erkenntnis, die als geschlossenes *System* – am besten als ein *axiomatisch-deduktives* System - ausgedrückt werden kann.

Diese Überzeugung, deren Reichweite sich mindestens von Aristoteles bis zum Kantianismus¹⁷⁰ erstreckt hat, hat die Mechanik offenbar geprägt: von Newton bis zur analytischen Mechanik wurde diese immer wieder in axiomatischer Form formuliert. Dabei hat man immer versucht, *das* System zu finden, das in einfachster Weise auf so wenig wie möglich Axiomen basierte, aus denen alle andere Gesetze sich ableiten ließen. Jede Formulierung der Mechanik zielte darauf, *die* richtige Formulierung zu sein, die – auch wenn sie auf vorigen Versionen aufbaute – nicht neben anderen Formulierungen hätte stehen können, sondern die anderen hätte ersetzen müssen. Es gilt insbesondere für die Mechanik, was Pulte (2005, S. 27) allgemein in Bezug auf die von ihm genannte „klassische Wissenschaft“ formuliert hat:

Die ‚absolute‘ Gültigkeit der Grundsätze impliziert deren Notwendigkeit, so dass andere Grundsätze und damit andere Systeme zu einem bestimmten Gegenstandsbereich nicht möglich sind. *Der Systembegriff der klassischen Wissenschaft ist monistisch*¹⁷¹

Der Geltungsanspruch des in der Mechanik enthaltenen Determinismus wird also dadurch radikal gestärkt, dass die Mechanik zwischen 17. und 19. Jh. als einzige mögliche und wahre wissenschaftliche Theorie aufgefasst wird.

Dass der Systembegriff mit dem Determinismus im engen Zusammenhang steht, hat übrigens das Wiener Kreis Mitglied Otto Neurath geahnt, in dem er beide in einem Zug ablehnte:

„Das“ System ist die große wissenschaftliche Lüge. Nicht einmal als antizipiertes Ziel ist es ein brauchbarer Leitgedanke, da wir damit in die Nähe des Laplaceschen Geistes kommen, von dem man sich denkt, dass er in Kenntnis aller Gleichungen der Realwissenschaften ständig richtige Prognosen macht¹⁷²

Während aus dem modernen, konventionalistischen Standpunkt Neuraths gerade die Vielfältigkeit der wissenschaftlichen Ansätze gewährt werden soll und selbst „die

¹⁷⁰ Bezüglich Aristoteles vgl. Pulte (2005) Kap. II.1.2. und Dijksterhuis, E.J. (2002 [1950]). Bezüglich des Kantianismus vgl. Pulte (2005), S. 21, Fußnote 27 und Teil V. Die Position Kant analysiere ich ausführlich im nächsten Kapitel.

¹⁷¹ Pulte (2005), S. 27; Hervorhebungen von mir geändert.

¹⁷² Neurath (1981 [1935]), S. 626; Hervorhebungen von mir geändert.

Ausgangssätze erfolgreicher Wissenschaft nicht fest[liegen]“¹⁷³, ist die Mechanik von der Wahrheitsauffassung der Neuzeit geprägt, laut der es „nicht möglich [ist], dass eine Wahrheit anders als mit Ausschließlichkeitsanspruch auftritt“¹⁷⁴.

Es sei hier kurz daran erinnert (vgl. oben, §1.a), dass eine wesentliche Voraussetzung des wissenschaftlichen Determinismus ist, dass die deterministische Beschreibung der Welt *die* richtige oder *die* ‚treueste‘ sei. Wenigstens in seinen stärkeren Formulierungen erträgt der wissenschaftliche Determinismus keine Relativierung z.B. zu einem gewissen Standpunkt oder zu einer Beschreibung der Welt unter gleichberechtigten. Außerdem war eine weitere Voraussetzung des wissenschaftlichen Determinismus, dass wir ein *geschlossenes System* identifizieren können, dem der Determinismus zugeschrieben werden kann. Die Mechanik wurde in Zusammenhang mit einem Wissenschaftsverständnis entwickelt, laut dem wissenschaftliche Erkenntnis ein System ist, das ein anderes System (die Welt als Ganze) treu und eindeutig abbildet.

b. Wahrheitsgewissheit und Unwiderlegbarkeit der Mathematik

Die Wissenschaft-als-System, von der die Mechanik ein Paradebeispiel ist, beruht nun auf Prinzipien, die *allgemeingültig* und *notwendig* - im Sinne einer *apodiktischen Gewissheit* - sind, und die dementsprechend *von keiner Erfahrung widerlegt werden können*.

Trotz der Vernachlässigung der Mathematik seitens Aristoteles war genau diese Disziplin ihrem Wesen nach eine ausgezeichnete Kandidatin, um sein Ideal der Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit langfristig zu erfüllen¹⁷⁵. Die Mechanik entwickelte sich – wie schon erwähnt - als Teil der Mathematik, die noch im 18. Jh. als die vollkommenste Erkenntnis betrachtet wurde, eben aus dem Grund, dass sie den höchsten Grad der Gewissheit gewährt¹⁷⁶. Aus demselben Grund wurde empirische Erkenntnis vom Begriff der *scientia* in der europäischen Tradition lange ausgeschlossen, da sie Allgemeingültigkeit und apodiktische Gewissheit schwer garantieren kann¹⁷⁷. In dieser Hinsicht ist die von Kuhn (1977 [1976]) und Stichweh

¹⁷³ *Ibid.*, S. 627.

¹⁷⁴ W. Welsch, zit. in: Schiemann (1997), S. 6. Laut Schiemann ist die *Absolutheit* des Wahrheitsanspruchs ein Merkmal, das mittelalterliches und neuzeitliches Wissenschaftsverständnis gemeinsam haben, obwohl die Begründung wissenschaftlicher Theorien in den zwei Epochen unterschiedlich ist (Vgl. z.B. die Tabelle in Schiemann 1997, S. 10). Die vergleichende Charakterisierung von „klassischem“ und „modernem“ Wissenschaftsverständnis wird auch in Pulte (2005) ausführlich thematisiert. Die Unterscheidung geht auf Diemer (Hrsg. 1968) zurück.

¹⁷⁵ Vgl. Pulte (2005), S. 54.

¹⁷⁶ Vgl. Stichweh (1984), S. 17. Vgl. auch Pulte (2005), Kap. II.2.

¹⁷⁷ Vgl. Stichweh (1984), S. 16. So schrieb z.B. Kant 1786: „Eigentliche Wissenschaft kann nur diejenige genannt werden, deren Gewißheit apodiktisch ist; Erkenntnis, die bloß empirische Gewißheit enthalten kann, ist ein nur uneigentlich so genanntes Wissen. Dasjenige Ganze der Erkenntnis, was systematisch ist, kann schon

(1984) historisch belegte relative Selbstständigkeit der mathematischen Tradition (inklusive der Mechanik) von experimentellen Untersuchungen nicht zufällig: vielmehr war sie die Folge eines bewussten epistemologischen Standpunktes, der die Unabhängigkeit der wissenschaftlichen Erkenntnis von der Empirie als einen Vorzug betrachtete – als ein Zeichen der Wissenschaftlichkeit überhaupt.

Die Suche nach allgemeingültigen und gewissen (daher nach mathematischen) Prinzipien hat die Entwicklung der Mechanik wesentlich charakterisiert: von den Newtonschen *axiomata* zu den vielen Prinzipien, die in der Mechanik des 18. und frühen 19. Jahrhunderts formuliert wurden (z.B. das Prinzip der kleinsten Wirkung, das D'Alembertsche Prinzip, Gauß' Prinzip des kleinsten Zwanges, das Hamiltonsche Prinzip usw.), haben die Mathematiker immer versucht, die allgemeinsten und wenigsten Prinzipien zu finden, aus denen die ganze Mechanik als deduktives System abgeleitet werden konnte. Die Ableitbarkeit aus allgemeingültigen und notwendigen Prinzipien hätte dabei die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der weiteren gesetzartigen Aussagen garantieren sollen.

Der implizite wissenschaftliche Determinismus entstand in Zusammenhang mit einer Wissenschaftsauffassung, die wissenschaftliche (mathematische) Prinzipien und Gesetze prinzipiell von jeder empirischen Widerlegung geschont hat. Gewiss kann man annehmen, dass man zu den Prinzipien auch über einen empirischen induktiven Weg gelang: auch in diesem Fall wurden dann aber die Prinzipien – nach dem sie in mathematischer Form ausgedrückt werden konnten - als allgemeingültig und notwendig aufgefasst¹⁷⁸. Gewiss kann man annehmen, dass auch innerhalb der „mathematischen Tradition“ Experimente (und nicht nur Gedankenexperimente) durchgeführt wurden: nicht aber, um eine mathematisch schon vollkommene Theorie zu „verifizieren“, sondern meistens entweder um „eine Folgerung zu demonstrieren, die vorher schon mit anderen Mitteln erzielt worden war“, oder um „konkrete

darum Wissenschaft heißen, und, wenn die Verknüpfung der Erkenntnis in diesem System ein Zusammenhang von Gründen und Folgen ist, so gar rationale Wissenschaft. Wenn aber diese Gründe oder Prinzipien in ihr [...] doch zuletzt bloß empirisch sind, und die Gesetze, aus denen die gegebene durch Vernunft erklärt werden, bloß Erfahrungsgesetze sind, so führen sie kein Bewußtsein ihrer Notwendigkeit bei sich (sind nicht apodiktisch-gewiß) und alsdenn verdient das Ganze im strengen Sinne nicht den Namen einer Wissenschaft.“ (Kant 1997 [1786], S. 4).

¹⁷⁸ Vgl. Pulte (2005), Kap. II.1.3 und S. 72-73. Pulte hebt auch hervor, wie die rationalistische Unterstellung einer mathematisch strukturierten Natur induktive Verallgemeinerungen „beschleunigte“: „Charakteristisch ist nämlich, dass die Analyse und erfolgreiche mathematische Darstellung weniger, für die jeweilige Naturphilosophie paradigmatischer Vorgänge – Galileis Fallbewegung, Descartes' und Huygens' Stoßprozesse etc. – ausreicht, um für *alle* Körper zu gelten, die den gleichen Bedingungen unterliegen. Als Leibniz feststellte, dass die *vis viva* beim elastischen Stoß und beim freien Fall [...] erhalten bleibt, stand für ihn bald außer Frage, dass es sich hier um ein allgemeines und sogar Fundamentalgesetz handelt. Die ‚kühne‘ Verallgemeinerung erfolgt auf dem Hintergrund einer Metaphysik [...] die bereits ein konzeptuelles Gerüst für die Verallgemeinerung bereitstellt (Pulte 2005, S. 48).

Antworten auf Fragen zu [bekommen], die sich aus der bestehenden Theorie ergaben“¹⁷⁹. Der mathematischen Gewissheit der Prinzipien der Mechanik wurde eine erkenntnistheoretische Qualität zugesprochen, die über die Erfahrung hinaus geht: solche Prinzipien waren, in dem sie Teil einer *mathematischen* Theorie waren, jenseits der empirischen Verifizierung oder Falsifizierung. Pulte (2005, S. 43) bringt die Sache sehr schön auf den Punkt, wenn er – in Bezug auf die schon erwähnte *mathesis mixta*, zu der die Mechanik gehörte – schreibt:

Die Rede von einer Mathematik, die auf Mechanik ‚angewandt‘ wird, geht [...] historisch im wesentlichen an der Sache vorbei. [...] *Mathesis mixta* kann nicht in eine formale Struktur einerseits und einen physikalischen Anwendungsfall andererseits zerlegt werden, so dass erstere erst durch letzteren ‚interpretiert‘ werden müsste, um als wahr gelten zu können, sondern sie ist *als Mathematik* bereits wahr. Damit ist nicht gesagt, dass diese Übereinstimmung von Kalkül und Erfahrung keine Rolle spielt, sondern vielmehr, dass diese Übereinstimmung keine eigentliche Verifikationsinstanz darstellt: Diskrepanzen verweisen auf fehlerhafte Beobachtungen oder auch auf fehlerhafte einzelne Rechnungsschritte, Übereinstimmungen bestätigen oder illustrieren in der Regel ‚nur‘ die von vornherein unterstellten Wahrheit der zugrunde gelegten mathematischen Sätze und Strukturen.

In der Praxis hätte der Determinismus tatsächlich sehr oft widerlegt werden müssen: im vorigen Absatz wurden schon die Schwierigkeiten des Kalküls erwähnt, die – zusammen mit einer mangelnden Präzision in der Bestimmung der „Anfangsbedingungen“ – schwer zu sehr genauen Vorhersagen hätte führen können.

Im Rahmen der frühen klassischen Mechanik wurde die Praxis des Messens ihrem mathematischen bzw. rationalistischen Wesen entsprechend tendenziell vernachlässigt (mit der Ausnahme der Astronomie) – wie Pulte (2005, S. 45) bemerkt:

Messpraxis und Messtheorie [haben] nur einen relativ geringen Anteil an der Ausbildung der klassischen Mechanik. Diese ist hauptsächlich, im 18. Jh. sogar fast ausschließlich, als eine Praxis metaphysisch gelenkter konzeptueller Entwürfe und deduktiver mathematischer Entwicklung zu kennzeichnen.¹⁸⁰

Erst seit dem Anfang des 19. Jahrhunderts werden ausgehend von der Arbeit von Gauss und Legendre die ersten statistischen Methoden herausgearbeitet, um Beobachtungs- und Messfehler zu reduzieren¹⁸¹.

¹⁷⁹ Vgl. Kuhn (1977 [1976]), S. 94. Vgl. auch Kuhn (1977 [1961]), in dem er einen gewissen Skeptizismus gegenüber die Idee der experimentellen Prüfung physikalischer Theorie zum Ausdruck bringt und weist darauf hin, dass auch die Newtonschen Bewegungsgesetze experimentell lange gar nicht prüfbar gewesen sind (S. 264).

¹⁸⁰ Pulte (2005), S. 45.

¹⁸¹ Dabei werden die Eigenschaften physikalischer und astronomischer Systeme am besten mehrmals und mit verschiedenen Methoden oder Instrumenten gemessen, und es wird anhand der unterschiedlichen Ergebnisse nach statistischen Kriterien jeweils *definiert*, welcher Wert der „reale“ Wert sei bzw. wie verlässlich unsere

Anhand dieser Schwierigkeiten wird es wahrscheinlich nicht wundern, wenn Friedrich der Große sich über die praktische Leistung des von ihm an die Königlich-Preußische Akademie der Wissenschaften berufenen Leonhard Eulers teilweise beschweren musste:

Ich wollte in meinem Garten einen Springbrunnen anlegen; Euler berechnete die Leistung der Räder, die das Wasser in ein Becken heben, von welchem es in die Kanäle geleitet werden sollte, um die Springbrunnen in Sans-Souci zu speisen. Mein Hebewerk war nach genauen mathematischen Angaben ausgeführt und hat doch keinen Tropfen Wasser bis auf fünfzig Schritte weit vom Behälter befördern können. Überheblichkeit der Überheblichkeiten! Überheblichkeit der Mathematik!¹⁸²

Auch wenn das mathematische Instrumentarium der Mechanik verfeinert wurde und die Mechanik vor allem im Bereich der Astronomie erfolgreiche Voraussagen leisten konnte, musste ein strenger Determinismus in der Praxis und in der Erfahrung immer wieder widerlegt werden. Trotzdem haben Autoren wie Leibniz und Laplace daran geglaubt. Die Stärke und die Quelle dieses Glaubens findet man bei dem erwähnten Euler sehr schön ausgedrückt, der trotz der Beschwerde seines Königs nicht für nötig hielt

diese meine Theorie [= seine Mechanik] durch das Experiment zu bestätigen; *denn sie ist ganz aus den sichersten Prinzipien* der Mechanik abgeleitet, weshalb der Zweifel, ob sie wahr sei und in der Praxis statthabe, in keiner Weise aufgeworfen werden kann.¹⁸³

Aus der axiomatischen und mathematischen Natur des impliziten wissenschaftlichen Determinismus folgt also, dass die Fälle seiner mangelnden Bestätigung in der Praxis auf zwei Weise wegerklärt werden konnten: Auf die Schwierigkeiten des Kalküls reagierte man mit der Verbesserung desselben und mit der immer stärkeren Mathematisierung der Mechanik im 18. und im frühen 19. Jh (vgl. unten, Kap. 3). Auf die fehlende oder unvollkommene empirische Bestätigung reagierte man, in dem derer Ursache auf die fehlerhafte empirische Feststellung der „Anfangsbedingungen“ zurückführte:

„Certismus in Hinblick auf einmal festgestellte Gesetze ist eines der wichtigsten Kennzeichen der KMN [= klassische mathematische Naturwissenschaft]: Neue, unter gleichen Bedingungen gemachte Erfahrungen können mathematische Gesetze nicht widerlegen (falsifizieren), sondern allenfalls bestätigen. Hieraus resultiert

Approximationen sind (über die sogenannten „Fehlertheorie“ vgl. unten, §4.a). Die *Bestimmtheit* der Anfangsbedingungen ist also eine *relative*, und zwar relativ zu der Methode, mit der wir die Ergebnisse unserer Messungen behandeln und zu diesen Ergebnissen selbst.

¹⁸² Friedrich der Große, zit. in Meyenn (1990), S. 62.

¹⁸³ Euler, zit. in Meyenn (1990), S. 55; meine Hervorhebung

eine scharfe Trennung von Gesetz und Einzelfall: Alles Zufällige, Kontingente wird zu einer Sache des Einzelnen und seiner Geschichte – mathematisch gesprochen, wird es, von der ‚eigentlichen‘ Gesetzesaussage abgetrennt, zu einer Angelegenheit der Anfangs- und Randbedingungen“¹⁸⁴.

c. Materielle Geltung der formalen Wahrheit

Dem klassischen Wissenschaftsverständnis nach ist die Wahrheit, die die axiomatisch-deduktiv strukturierte Wissenschaft ans Licht bringt, nicht bloß formeller, sondern materieller Art¹⁸⁵.

Die pythagoreisch-platonische Überzeugung, dass die Welt an sich mathematisch strukturiert sei, spielte eine große Rolle in der frühneuzeitlichen Wissenschaft (z.B. bei Galileo und Kopernikus)¹⁸⁶ und findet eine gewisse Kontinuität in jener Verflechtung zwischen erkenntnistheoretischer (Theorie, Mathematik) und ontologischer (Realität) Ebene, die ein Merkmal des neuzeitlichen Rationalismus ist (vgl. oben, §2.b., Punkt 4): logischen und mathematischen Wahrheiten wird eine ontologische Bedeutung zugesprochen. Die Mathematik, und nicht die Erfahrung, offenbart uns die Realität (*daher* kann übrigens die Erfahrung nie mathematische Prinzipien widerlegen).

Die Prinzipien der Mechanik wurden nach der Auffassung formuliert, dass sie (i) „sich auf *ontologisch* notwendige Strukturen oder Essenzen bzw. Allgemeinheiten“ beziehen und (ii) „auf kausale, naturgesetzliche Relationen *in der Welt* verweisen“¹⁸⁷. Das entspricht einem Glauben, den ich als „rationalistischen Realitätsbegriff“ bezeichnen würde. Auf den impliziten wissenschaftlichen Determinismus bezogen bedeutet er, dass die Bestimmtheit und die angenommene (Voraus)berechenbarkeit, die die Beschreibung von Systemen und von ihrer Entwicklung innerhalb der Mechanik charakterisieren, gleich als Determiniertheit und Vorherbestimmtheit der Welt interpretiert werden. Dieser rationalistischer Realitätsbegriff äußert sich in der schon erwähnten Verflechtung zwischen mathematischer Berechnung bzw. Implikation und physikalischer Verursachung: die Verflechtung zwischen WD^e und WD^z (vgl. oben, §1.a).

Dass die Lösungen der Differentialgleichungen unmittelbar auf Kausalprozesse hinweisen, und insbesondere dass die mathematische Notwendigkeit eine physikalische Notwendigkeit unmittelbar bedeutet, ist nicht selbstverständlich. Die Differentialgleichungen untermauern jene Form von Determinismus, die ich im Kap. 1 mit WD^e (im Unterschied zu WD^z) bezeichnet habe: Es geht bei der Berechnung „zukünftiger“ Zustände anhand der „vorigen“ um eine Art

¹⁸⁴ Pulte (2005), S. 49. Vgl. auch *Ibidem*, S. 58.

¹⁸⁵ Vgl. Pulte (2005), S. 25-26.

¹⁸⁶ Über die „ontologische Rolle der Mathematik“ vgl. Koyré (1964) und Kuhn (1977 [1976]), S. 106.

¹⁸⁷ Vgl. Pulte (2005, S. 56-57), der sich aber nicht spezifisch auf die Mechanik, sondern allgemein auf die „klassische mathematische Naturphilosophie“ bezieht.

Implikation, die eine logische (oder mathematische) Notwendigkeit besitzt. Die empirisch aufgefasste Zeit spielt als solche keine Rolle: man kann aus den mathematischen Werten, die den Zustand eines Systems zu einem bestimmten Zeitpunkt definieren, die Werten berechnen, die den Zustand desselben Systems zu einem anderen *beliebigen* Zeitpunkt definieren – d.h. „vorher“ oder „nachher“, das macht keinen Unterschied¹⁸⁸. Die klassische Mechanik basiert aber auf der Überzeugung, dass die Berechnung mathematischer Werte anhand anderer mathematischer Werten einem *Kausalprozess* entspricht, so dass z.B. die Möglichkeit, aus Z_{t_0} Z_{t-1} zu berechnen, als Zeichen einer *Reversibilität der Naturphänomene* aufgefasst wird.

Die materielle Geltung der formalen Wahrheit ist die Kehrseite jener Reduktion der Wirklichkeit auf formale Eigenschaften, von der im vorigen Absatz als Unterscheidung zwischen primären und sekundären Qualitäten die Rede war: die formale Wahrheit gilt auch „materiell“ als Wirklichkeit, weil die Wirklichkeit auf ihre formale Eigenschaften reduziert wird. Die Welt kann als determiniert und als sich-deterministisch-entwickelnd aufgefasst werden nur insofern, als genau jene ihrer Eigenschaften als *wesentlich* betrachtet werden, die mathematisch beschreibbar und berechenbar sind – während anderen Eigenschaften ausgeblendet werden. Auch in diesem Fall – wie schon im Fall des aristotelischen Wissenschaftsverständnisses – kann man bemerken, wie der Determinismus fast tautologisch wird: Wenn die Welt und ihre Entwicklung genau auf jene Eigenschaften reduziert werden, die mathematisch bestimmt und vorausberechnet werden können, bekommen sie dann *per definitionem* einen deterministischen Charakter.

Zusammenfassend: die klassische Mechanik hat als mathematisch formulierte Theorie einen deterministischen Kern. Sie stellt physikalische Zustände durch bestimmte Größen dar und scheint, die Berechnung eines Zustandes anhand der mathematischen Beschreibung jedes anderen in Prinzip zu ermöglichen. Es ist aber erst *jene historisch situierte* Auffassung der Mechanik, die mit dem klassischen Wissenschaftsverständnis zusammenhängt, die zu einem starken wissenschaftlichen Determinismus führt.

¹⁸⁸ Es sei hier an die schon im Kap. 1 erwähnte Darstellung des Gravitationsgesetzes seitens Russell (1953, 395; meine Hervorhebungen) erinnert: “In the motions of mutually gravitating bodies, *there is nothing that can be called a cause*, and nothing that can be called an effect; *there is merely a formula*. Certain differential equations can be found, which hold at every instant for every particle of the system, and which, given the configurations and velocities at one instant, or the configurations at two instants, render the configuration at any other earlier or later instant theoretically calculable. That is to say, the configuration at any instant is a *function* of that instant and the configurations at two given instants”. Bei dieser Auffassung des determinierenden Verhältnisses verschwindet der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft: “the future ‘determines’ the past in exactly the same sense in which the past ‘determines’ the future. The word ‘determine’, here, has a purely logical significance: a certain number of variables ‘determine’ another variable if that other variable is a function of them” (Russell 1953, S. 390; meine Hervorhebungen).

Das klassische Wissenschaftsverständnis gewährte nämlich der Mechanik und dem von ihr geförderten Determinismus Folgendes:

- Widerlegungsresistenz, insbesondere gegenüber empirischer Falsifizierung: der implizite wissenschaftliche Determinismus entwickelte sich innerhalb einer rationalistischen Epistemologie, die die Erfahrung als Erkenntnisquelle der Theorie unterordnete.
- Maximaler Festigkeit des determinierenden Verhältnisses (vgl. §1.b): der als Ideal angestrebte axiomatisch-deduktive Aufbau der Mechanik förderte die rationalistische Auffassung der Kausalität als (absolut notwendiges Verhältnisses der) Implikation.
- Maximale Tiefe (vgl. §1.c), die aus der materiellen Auffassung der formalen Wahrheit bzw. aus einem rationalistischen Realitätsbegriff folgte.

Schluss

Nach dem Vorhergesagten sollten wir nun besser imstande sein, den impliziten wissenschaftlichen Determinismus nach den im Kap. 1 formulierten Maßstäben einzuschätzen. Was die „*Festigkeit*“ des impliziten wissenschaftlichen Determinismus betrifft, suggeriert sein wesentlich mathematischer Charakter, dass er am besten durch unsere (WD^e)-Formulierung dargestellt werden soll (vgl. oben, § 1. a). Der Schluss von einem Zustand des Systems auf einen beliebigen anderen ist im Grunde eine mathematische, deduktive Operation. Nach dem klassischen Wissenschaftsverständnis spielen die empirische Zeit und die „*Anfangsbedingungen*“ nur infolge der erkenntnistheoretisch unglücklichen (weil von der Empirie abhängigen) Lage der Menschen eine Rolle: Prinzipiell aber – oder: aus der göttlichen Perspektive der Ewigkeit – ist die Zeit auf Zahlen reduziert, die durch die Unterscheidung verschiedener „Zeitpunkte“ bloß dazu dienen, dass verschiedene Zustände des in Frage kommenden Systems unterschieden werden können. Im Idealfall kann man also aus einem beliebigen Zustand auf einen anderen beliebigen Zustand schließen, wobei die Bezeichnungen „vorher“ und „nachher“ an Bedeutung verlieren¹⁸⁹. Da aber laut dem klassischen Wissenschaftsverständnis die formale Wahrheit auch materiell gilt, und laut dem

¹⁸⁹ Ein schönes Bild des Verhältnisses zwischen menschlichen und göttlichen Erkenntnis gibt bekannter Weise Galileo in seinem *Dialogo sui massimi sistemi*: „die Wahrheit, deren Erkenntnis durch die mathematischen Beweisen vermittelt wird [ist] dieselbe, welche die göttliche Weisheit erkennt [...] allerdings aber will ich Euch zugeben, dass die Art und Weise, wie Gott die zahllosen Wahrheiten erkennt, von denen wir nur wenige kennen, hoch erhaben über unsere Weise ist. Wir gehen mittels schrittweiser Erörterung weiter von Schluß zu Schluß, während er durch bloße Anschauung begreift.“ (zit. in Pulte 2005, S. 53).

rationalistischen Realitätsbegriff theoretische Begriffe und Verhältnisse eine ontologische Bedeutung haben (was u.a. die tendenzielle Verflechtung von Grund und Ursache bezeugt), bedeutet die mathematische (Voraus)berechenbarkeit eine Vorausbestimmtheit der Welt an sich – und somit wird der implizite wissenschaftliche Determinismus der Neuzeit auch entsprechend der Formulierung (WD²) aufgefasst.

Was die „Tiefe“ des impliziten wissenschaftlichen Determinismus betrifft, ist der in der klassischen Mechanik implizite wissenschaftliche Determinismus sowohl in einem realistischen als auch in einem normativen Sinne gemeint. Aus dem damaligen rationalistischen Realitätsbegriff folgt (1) dass die in der mathematischen und axiomatischen Theorie festgesetzten determinierenden Verhältnisse auch eine materielle Wahrheit besitzen, d.h. die Realität widerspiegeln; und (2) - unter der weiteren Voraussetzung der damals noch selbstverständlichen Auffassung der Wahrheit als Korrespondenz - dass der implizite wissenschaftliche Determinismus auch im normativen Sinne gemeint war: angenommen, dass die Realität nach rationalen bzw. mathematischen Prinzipien strukturiert ist, muss jene Erkenntnis als die vollkommenste (d.h. die Realität abbildende) betrachtet werden, welche die *apodiktische Gewissheit* (der Prinzipien, sowie der Voraussagen, die sie ermöglichen) garantieren kann. Da überdies apodiktische Gewissheit Allgemeingültigkeit impliziert, und diese die Erstreckung der Gewissheit über die ganze Zeit bedeutet, erscheint das Konzept vom „wissenschaftlichen Determinismus“ fast pleonastisch: *wissenschaftliche* Erkenntnis war nach dem damaligen Wissenschaftsverständnis *per definitionem* jene Erkenntnis, die Gewissheit – und daher eine auf jede Zeit bezogene Determiniertheit – hervorbrachte.

Was den Determinismus im „feststellenden“ Sinne und die entsprechende Frage nach der empirischen Bestätigung betrifft, wissen wir nun, dass – während wichtige Fälle der Bestätigung der Gesetze der Mechanik leicht verallgemeinert wurden – die *fehlende* empirische Bestätigung kein großes Hindernis für eine *a priori* allgemeine Unterstellung des Determinismus sein konnte. Der implizite wissenschaftliche Determinismus entstand im Zusammenhang mit einer rationalistischen Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie, die eher den mathematisch formulierten Prinzipien, Gesetzen und Verhältnissen die Realitätsbezogenheit zuschrieb, als der Erfahrung. Im Bezug auf den Determinismus heißt das, dass die (damals wie heute übliche) Erfahrung einer gewissen Unbestimmtheit oder einer nur beschränkten Vorhersagbarkeit der Naturphänomene den mathematisch formulierten impliziten

wissenschaftlichen Determinismus *nicht* widerlegen konnte¹⁹⁰. Wie schon bemerkt (vgl. oben, §1.c) entspricht eine realistische und normative Auffassung des Determinismus einem rationalistischen und deduktivistischen Ansatz zu einzelnen Phänomenen, bei dem der Determinismus nicht aus den Phänomenen selbst induziert zu werden braucht, sondern als „Brille“ fungiert, mit der man an diese Phänomene herangeht und sie deutet. Bei der Entwicklung der Mechanik hat man sich eher mit der Verbesserung des Kalküls und mit der Axiomatisierung der Prinzipien als mit der Frage nach der empirischen Bestätigung beschäftigt; umgekehrt hat man aus Einzelfällen, die diese Prinzipien bestätigten, sehr schnell verallgemeinert. So gilt für den Determinismus selbst, wie für die Gesetze der Mechanik, dass jenes Wissenschaftsverständnis, das ihn förderte, ihn auch mit einem großen Verallgemeinerungspotenzial ausstattete.

Somit kommen wir schon auf unseren letzten Parameter: die „*Breite*“ des impliziten wissenschaftlichen Determinismus. Indem der implizite wissenschaftliche Determinismus sich auf die Notwendigkeit der Mathematik stützte und weil er die implizite Folge einer als wissenschaftlich anerkannten Theorie (der Mechanik) war, kam ihm das Attribut der *Allgemeingültigkeit* zu. So mussten einzelne deterministische Gesetze oder einzelne deterministische Systeme tendenziell als Einzelbeispiele einer vollkommen deterministischen Welt betrachtet werden: der in der Mechanik enthaltene Determinismus hat das Potential eines Determinismus mit *maximaler Breite*¹⁹¹. Ich benutze das Wort „Potential“, weil gerade gegen die Möglichkeit eines Determinismus, der sich auf den Menschen und sein Handeln erstreckt, viele intellektuelle Ressourcen seit der Neuzeit mobilisiert wurden. Dualistische Betrachtungsweisen der Realität – wie z.B. die von Descartes (*res cogitans* vs. *res extensa*) oder die von Kant (*phenomenon* vs. *noumenon*) – hätten verhindern sollen, dass ein deterministisches Weltbild sich in eine „Weltanschauung“ (siehe meine Klassifizierung im Kap. 1) erweitert¹⁹².

¹⁹⁰ Indem ich von einer „Widerlegungsresistenz“ des impliziten wissenschaftlichen Determinismus gesprochen habe, habe ich implizit einen empiristischen Standpunkt angenommen: tatsächlich würde man aus einem rationalistischen Standpunkt immer noch behaupten, dass die Präzision und Bestimmtheit der Ergebnisse des Kalküls die Unschärfe der Erfahrung „widerlegen“, in dem sie z.B. zeigen, dass diese Unschärfe wegen des Einflusses von „Störungsfaktoren“ stattfindet, die allmählich reduziert werden können.

¹⁹¹ Vgl. auch Dijksterhuis (2002 [1950]), S. 484: „Die mechanistische Naturwissenschaft war begreiflicherweise bestrebt, das Gebiet, worauf ihre Erklärungsprinzipien noch anwendbar waren, möglichst weit nach der Richtung des wahrnehmenden Subjektes auszudehnen“.

¹⁹² Beispiele für eine solche Erweiterung habe ich durch die Hinweise auf Spinoza und La Mettrie oben schon kurz erwähnt. Allerdings war ihr Konzept von Determinismus nicht ein so ausgeprägt mathematisches, wie das *stricto sensu* wissenschaftliche Determinismus von Leibniz und Laplace.

Im Folgenden werden wir sehen, wie der implizite wissenschaftliche Determinismus sich in Bezug auf die erwähnten drei Vektoren (Tiefe, Festigkeit und Breite) im Laufe des 18. und des 19. Jahrhunderts entwickelt:

Seine Tiefe wird dadurch beschränkt, dass axiomatische Systeme und mathematische Theorien an ontologischer Bedeutung verlieren, d.h. nicht mehr als eins-zu-eins Abbildungen der Realität betrachtet werden. Die kausale bzw. deterministische Repräsentation der Naturphänomene wird mehr und mehr als ein möglicherweise sehr nützliches, aber nicht notwendiges und nicht absolut gültiges menschliches Konstrukt betrachtet, das bestimmten Zwecken dient, das aber keinen privilegierten Zugang zur Realität garantiert (Kap. 3).

Seine Festigkeit wird dadurch geschwächt, dass eine neue Art von Gesetzmäßigkeit – die statistische – einen Platz in der Wissenschaft findet, die daher den strengen Determinismus langsam entbehren kann (Kap. 4).

Was die Breite des impliziten wissenschaftlichen Determinismus betrifft, scheint es mir genau die als bedrohlich wahrgenommene Möglichkeit einer Erstreckung des Determinismus über die Grenzen der Mechanik hinaus das entscheidende Ereignis zu sein, das eine explizite, entschlossene und ausformulierte Opposition gegen den Determinismus hervorbrachte: infolge dieser Opposition wiederum musste auch der implizite wissenschaftliche Determinismus ausformuliert werden, so dass in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nicht mehr vom *impliziten* wissenschaftlichen Determinismus, sondern vom wissenschaftlichen Determinismus *tout court* die Rede sein kann (Kap. 6).

B. DIE SCHWÄCHUNG DES IMPLIZITEN WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUS IM 18. UND IM 19. JH.

Die Schwächung bezüglich der *Tiefe*:

Wer in den ponderomotorischen Kräften, Dichten, Dielektrizitätskonstanten Dinge sieht, denen eine von der Aufgabe der Naturbeschreibung unabhängige Existenz zukommt, wird den Determinismus als grundsätzlich bewahrt und nur praktisch ausgeschaltet ansehen. Für denjenigen aber, der diese Begriffsbildungen nur als Hilfsmittel auffaßt, die durch die Differentialgleichungsansätze eingeführt werden und mit diesen dazu dienen, eine Orientierung in der Erscheinungswelt zu ermöglichen, für diesen fallen die Grenzen der Anwendbarkeit und die Grenzen des Determinismus zusammen.

(Richard von Mises 1930/31, S. 194)

Die Schwächung bezüglich der *Festigkeit* :

Ces lois, par la manière même dont on les a déterminées, ne présentent plus rien d'individuel; et par conséquent, on ne saurait les appliquer aux individus que dans de certain limites.

(Adolphe Quetelet über statistische Gesetze: 1835, I, S. 14)

3. Die Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus in Bezug auf seine *Tiefe*: Die deterministische Welt als Vorstellung

Auf eine Welt, welche *nicht* unsere Vorstellung ist, sind die Gesetze der Zahlen gänzlich unanwendbar: diese gelten allein in der Menschen-Welt¹⁹³.

Wie könnten wir auch erklären! Wir operiren mit lauter Dingen, die es nicht gibt, mit Linien, Flächen, Körpern, Atomen, theilbaren Zeiten, theilbaren Räumen -, wie soll Erklärung auch möglich sein, wenn wir Alles erst zum Bilde machen, zu unserem Bilde! Es ist genug, die Wissenschaft als möglichst getreue Anmenschlichung der Dinge zu betrachten, wir lernen immer genauer uns selber beschreiben.

Ursache und Wirkung: eine solche Zweiheit gibt es wahrscheinlich nie, — in Wahrheit steht ein continuum vor uns, von dem wir ein paar Stücke isoliren; so wie wir eine Bewegung immer nur als isolierte Punkte wahrnehmen, also eigentlich nicht sehen, sondern erschließen. [...] Ein Intellekt, der Ursache und Wirkung als continuum, nicht nach unserer Art als willkürliches Zerteilt- und Zerstücktsein, sähe, der den Fluss des Geschehens sähe, — würde den Begriff Ursache und Wirkung verwerfen und alle Bedingtheit leugnen.¹⁹⁴

Einleitung

In seinem Buch *Axiomatik und Empirie* beschreibt Pulte die Auflösung jener axiomatisch-deduktiven „klassischen mathematischen Naturphilosophie“ (KMN)¹⁹⁵, die den Entstehungskontext der rationalen Mechanik und des Determinismus dargestellt hatte (vgl. oben, Kap. 2). Die „klassische mathematische Naturphilosophie“ – die im Zeitraum zwischen der Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft (16./17. Jh.) und der Mitte des 19. Jahrhunderts das Wissenschaftsverständnis prägte – war von dem Glauben an Allgemeingültigkeit, Absolutheit und Unwiderlegbarkeit wissenschaftlicher Prinzipien charakterisiert: die Mechanik wurde dementsprechend als ein deduktives System aufgefasst, das auf solchen Prinzipien beruht. Die Schöpfer der klassischen Mechanik(en) versuchten also zwischen dem 17. und dem 19. Jh., eine nach dem Vorbild der euklidischen Geometrie strukturierte Theorie aufzubauen: den physikalischen Prinzipien wurde dabei derselbe epistemologische *status* wie den mathematisch-geometrischen Axiomen zugeschrieben. Wir haben im vorigen Kapitel auch gemerkt, wie ein solches Wissenschaftsverständnis den impliziten wissenschaftlichen Determinismus förderte und insbesondere wie das, was Pulte als „Prinzipiencertismus“ bezeichnet hat (Pulte 2005, III.4.), den impliziten

¹⁹³ Nietzsche (2009 [1878]), §19

¹⁹⁴ Nietzsche (1999 [1882]), §112

¹⁹⁵ Schiemann (1997) beschreibt den allgemeineren Prozess einer „Hypothetisierung“ wissenschaftlicher Erkenntnis bei dem Übergang von der Neuzeit zur Moderne.

wissenschaftlichen Determinismus von einer möglichen Falsifizierung durch die Erfahrung schützte:

Certismus in Hinblick auf einmal festgestellte Gesetze ist eines der wichtigsten Kennzeichen der KMN: Neue, unter gleichen Bedingungen gemachte Erfahrungen können mathematische Gesetze nicht widerlegen (falsifizieren), sondern allenfalls bestätigen. Hieraus resultiert eine scharfe Trennung von Gesetz und Einzelfall: Alles Zufällige, Kontingente wird zu einer Sache des Einzelnen und seiner Geschichte – mathematisch gesprochen, wird es, von der ‚eentlichen‘ Gesetzaussage abgetrennt, zu einer Angelegenheit der Anfangs- und Randbedingungen¹⁹⁶

Dieser privilegierte epistemologische *status* der Prinzipien der Mechanik hing – wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben – mit ihrem wesentlich mathematischen Charakter zusammen. Es war vor allem dank ihrer Formulierbarkeit durch Funktionen und Differentialgleichungen, dass den Prinzipien der Mechanik (sowie den anderen, aus ihnen abgeleiteten gesetzesartigen Sätzen) Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit zugeschrieben werden konnten. Durch die mathematische Beschreibung der Entwicklung physikalischer Systeme wurden physikalische Voraussagen mit einem hohen Grad an Präzision ausgestattet und die Überzeugung entstand, dass diese Präzision beliebig verbessert und verfeinert hätte werden können¹⁹⁷.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus auf folgenden Voraussetzungen beruhte:

1. Ein physikalischer Zustand wird in der Mechanik durch präzise – weil mathematische – Größen charakterisiert: in *diesem* Sinne ist jeder Zustand der Welt völlig bestimmt.
2. Aus jedem bestimmten Zustand kann man (wenigstens im Prinzip) zu einem genau so bestimmten Zustand desselben Systems durch mathematische Berechnung schließen.
3. Dieser mathematischen Berechnung kommt nicht nur formelle, sondern auch materielle Wahrheit zu: sie drückt unmittelbar eine Gesetzlichkeit der Natur bzw. der Welt (und nicht nur des Denkens) aus.
4. Die Beschränktheit unserer Fähigkeit, einen Zustand mit vollkommener Präzision zu beschreiben und/oder einen späteren Zustand genau vorherzusagen, kann – als kontingente menschliche Erfahrung – die vom impliziten wissenschaftlichen Determinismus behauptete strenge Gesetzlichkeit der Welt nicht widerlegen, denn

¹⁹⁶ Pulte (2005), S. 49.

¹⁹⁷ Über die Wichtigkeit der Infinitesimalrechnung und ihrer physikalischen Interpretationen in Bezug auf das Problem des Determinismus vgl. Israel (1991).

empirische Erkenntnis stellt eine unvollkommene (approximative) Erkenntnisform dar.

Was nun die erwähnte Auflösung des wissenschaftlichen Programms der klassischen mathematischen Naturphilosophie (KMN) im 19. Jh. betrifft, behauptet Pulte, dass man „zumindest idealtypisch“ zwei „Auflösungsformen“ unterscheiden kann. Die erste Auflösungsform „setzt an der Spitze an“ und wird von Pulte als „Auflösung des traditionellen axiomatischen Denkens“ bezeichnet: „Ihre Quintessenz lautet: in den empirischen Wissenschaften gibt es keine ersten, unfehlbaren und notwendigen Prinzipien“. Die zweite Auflösungsform der klassischen mathematischen Naturphilosophie ist hingegen „bottom-up“ und setzt unten, bei den Phänomenen an: „hierher gehören – erklärt Pulte – empirische Probleme, die die klassische Mechanik mit elektrodynamischen Phänomenen, der Thermodynamik und der Äthertheorie hatte“¹⁹⁸.

Im vorliegenden Kapitel und im Folgenden möchte ich in ähnlicher Weise zwei Prozesse identifizieren, die den impliziten wissenschaftlichen Determinismus im Laufe des 19. Jahrhunderts geschwächt haben.

Die erste Entwicklung besteht in einer Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus, die „an der Spitze ansetzt“ und die die Auffassung von Prinzipien und Gesetzen, ja von wissenschaftlichen Theorien im Allgemeinen, betrifft. Es geht darum, dass wissenschaftliche Theorien an ontologischer Bedeutung verlieren und allmählich als rein formelle Ordnungsformen des erkennenden Subjekts aufgefasst werden. Die dritte von den eben erwähnten Voraussetzungen des impliziten wissenschaftlichen Determinismus wird somit unterminiert. Das geschieht schon ab dem späten 18. Jh. auf zwei Ebenen: die eine Ebene ist diejenige der Wissenschaft selbst, und insbesondere der Mechanik, und betrifft den *unmittelbaren* Ausdruck der deterministischen Gesetzmäßigkeit, d.h. die Prinzipien der Mechanik selbst. Infolge des immer höheren Grads an Formalisierung und Abstraktheit der Mechanik wird das Band zwischen formaler Theorie und Realität hinterfragt, und die Voraussetzung erscheint immer weniger plausibel, dass Begriffe und Gesetze der Mechanik unmittelbar und eindeutig die Realität widerspiegeln: das Konzept taucht allmählich auf, dass es sich um konventionelle Ordnungsformen oder heuristische Instrumente handelt. Gleichzeitig wird auf der *Metaebene* der Erkenntnistheorie bzw. der Wissenschaftstheorie die Gesetzmäßigkeit im Allgemeinen *als Begriff*, als Problem der Interpretation des

¹⁹⁸ Pulte (2005), S. 75.

Kausalverhältnisses, reflektiert und v. a. von der kantischen Philosophie ausgehend ebenso im Sinne einer Ordnungsform des erkennenden Subjekts aufgefasst.

Jene gesetzesartigen Sätze, die als Prinzipien oder als Umformungen der Prinzipien den impliziten wissenschaftlichen Determinismus stützten, erscheinen nun somit mehr und mehr als bloß formale Strukturen, durch die das erkennende Subjekt das Erfahrungsmaterial in eine Ordnung bringt, die zwar epistemologischen und pragmatischen Ansprüchen gerecht werden soll (z.B. Einfachheit, Kohärenz, Verlässlichkeit in Bezug auf Vorhersagen usw.), die aber die Möglichkeit anderer Ordnungsformen offen lässt. Diesen Wandel in der Auffassung der Gesetzmäßigkeit bezeichne ich als Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus nach der Tiefe und ich versuche ihn im vorliegenden Kapitel darzustellen.

Die zweite Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus setzt *nicht* „an der Spitze“ an und entwickelt sich nicht unabhängig von der Erfahrung, sondern wird von einer gewissen Entwicklung wissenschaftlicher *Praxis* hervorgebracht. Diese Entwicklung besteht in der raschen Verbreitung und Durchsetzung der *Statistik* und der statistischen Methoden im Laufe des 19. Jahrhunderts: ein Phänomen, das in der Literatur auch als „probabilistic revolution“ bezeichnet wurde¹⁹⁹. Die Verbreitung statistischer Methoden in der Wissenschaft brachte die Anerkennung einer neuen Art *wissenschaftlicher* Gesetzmäßigkeit hervor, die einen gewissen Grad an Unvorhersagbarkeit zuließ. Dadurch wurde die „Festigkeit“ des wissenschaftlichen Determinismus geschwächt, d.h. die angebliche Notwendigkeit, mit der ein Zustand laut des wissenschaftlichen Determinismus die folgenden Zustände „determinieren“ sollte. Auch Gesetze, die erlauben, aus einem Zustand nicht mit Gewissheit sondern mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zu anderen Zuständen zu schließen, wurden nämlich allmählich als „wissenschaftlich“ anerkannt. Das Merkmal der Wissenschaftlichkeit wird von Gewissheit und Notwendigkeit *teilweise*²⁰⁰ abgekoppelt, so dass der Ausdruck „wissenschaftlicher Determinismus“ nicht mehr wie ein Pleonasmus (vgl. oben, Kap 2) erscheint. Es werden somit insbesondere die zweite und die vierte der erwähnten Voraussetzungen des wissenschaftlichen Determinismus in Frage gestellt. Dieser Wandel, der einen Teil der Geschichte der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik darstellt, versuche ich, im nächsten Kapitel zu rekonstruieren.

¹⁹⁹ Vgl. insb. Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987), sowie das nächste Kapitel vorliegender Arbeit.

²⁰⁰ Auch wenn man aus einem Zustand zum anderen nicht mit Gewissheit schließen kann, d.h. auch wenn ein Zustand nicht mit Notwendigkeit den anderen impliziert, kann man trotzdem *den statistischen Gesetzen* (und nicht den Zuständen) Gewissheit und Notwendigkeit zuschreiben. Das heißt, auch wenn ich nicht behaupten kann, dass B mit 100% Sicherheit A folgt, kann ich trotzdem behaupten, dass ich mit 100%-Sicherheit weiß, dass B mit (z.B.) 60% Wahrscheinlichkeit A folgt.

a. Das Auftauchen der Frage nach der Begründung und nach der Realitätsbezogenheit der Mechanik und der erste Teil des Lösungsversuchs Kants

Jener wesentlich mathematische Charakter der Mechanik, den wir als fundamentale Bedingung der Entstehung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus identifiziert haben (vgl. oben, Kap. 2), wird im Laufe der Entwicklung der Mechanik als *analytischer Mechanik* besonders zugespitzt²⁰¹. Ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wird die Newtonsche, vektorielle Mechanik durch eine Mechanik ersetzt, die sich skalare statt vektorielle Größen bedient und auf Variationsrechnung (d.h. auf höherer Analysis) basiert. So beschreibt z.B. Lagrange seine *Mécanique Analytique* (1787), wie folgt:

Man wird in diesem Werk keine geometrischen Figuren finden. Die Methoden, welche ich auseinandersetze, erfordern *weder Constructionen, noch geometrische oder mechanische Betrachtungen, sondern nur algebraische* [... DR]. Alle, welche die Analyse lieben, werden mit Vergnügen sehen, dass die Mechanik ein neuer Zweig derselben wird [... DR]²⁰²

Es handelt sich insgesamt um eine zunehmende *Formalisierung* der Mechanik, die ab dem späten 18. Jh. stattfindet. Die französischen „Physikomathematiker“²⁰³ des späten 18. und des frühen 19. Jahrhunderts – Maupertuis, d’Alembert, Laplace, Poisson, Fourier, Cauchy, Lagrange, Legendre – arbeiten nach den Richtlinien einer Epistemologie, die sich hauptsächlich an den Idealen der Mathematik (Eleganz, Vollständigkeit, Rigorosität der Ableitungen) orientiert: konkrete physikalische Probleme werden nur als Ausgangspunkt genommen, ansonsten wird die Unabhängigkeit der Theorie von der Erfahrung eher als einen Vorzug betrachtet²⁰⁴. In Deutschland entwickelt sich ca. ab 1825 und im Zusammenhang mit einer breiteren kulturellen Tendenz zur Abwertung der Nützlichkeit und der Anwendung der

²⁰¹ Vgl. Stichweh (1984), S. 190ff.

²⁰² Lagrange, zit. in: Pulte 2005, S. 206; meine Hervorhebungen. Der Verlust an physikalischer „Anschaulichkeit“, der später der Quantenmechanik vorgeworfen wird, betraf in diesem Sinne die Entwicklung der Mechanik schon in einer viel früheren Phase: schon zur Zeit der Entwicklung der analytischen Mechanik wurde der Mathematisierung der Physik ein Standpunkt entgegenstellt, der „die *Anschaulichkeit der Geometrie* gegenüber der *Abstraktheit der Analysis* hervorhebt und primär die Geometrie der Repräsentation physikalischer Sachverhalte für fähig hält“ (Stichweh 1984, S. 205-206). Über Definition und Charakteristika der analytischen Mechanik vgl. Pulte (2005), Kap. IV.4.

²⁰³ Vgl. Stichweh (1984), S. 197.

²⁰⁴ Vgl. Stichweh (1984), S. 221-225.

Wissenschaft die *reine* Mathematik²⁰⁵, zu der auch die analytische Mechanik von Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-51) gehört²⁰⁶.

Parallel zu dieser durchdringenden Mathematisierung der Mechanik²⁰⁷ entwickelt sich *eine neue Aufmerksamkeit für ihren epistemologischen status*: es stellen sich nun die Fragen um die Begründungsmöglichkeiten ihrer Axiome und Gesetze²⁰⁸ und um die Realitäts- bzw. Erfahrungsbezogenheit dieser nun höchst formalen Theorie. So fragt z.B. D'Alembert:

Die Methode der Mathematik ist gut, aber hat sie wirklich eine so große Reichweite wie sie ihr Descartes gab? Das scheint nicht der Fall zu sein. Wenn man in der Physik überhaupt mathematisch vorgehen kann, so nur in diesem oder jenem Teil und ohne Hoffnung, alles zu verbinden. Mit der Natur verhält es sich nicht wie mit den Maßen und Größenverhältnissen.²⁰⁹

Schon in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts tauchen die ersten *nominalistischen* und fast *konventionalistischen* Auffassungen ihrer Prinzipien auf. Es wird versucht, die Unterschiede zwischen auf verschiedenen Begriffen und Prinzipien basierenden Formulierungen der Mechanik durch die Fokussierung auf rein mathematische, unbestreitbare Lösungen von formalen Problemen zu überbrücken²¹⁰, und in diesem Zusammenhang versucht man, die Auseinandersetzungen über die Bedeutung fundamentaler mechanischer Begriffe dadurch zu beseitigen, dass die umstrittenen Bedeutungen durch die Axiome, in denen sie erscheinen, ersetzt werden. So bemühen sich z. B. Mathematiker wie Maupertuis und d'Alembert darum, die Auseinandersetzungen um den Begriff von „Kraft“ durch eine nominalistische und fast konventionalistische Lösung zu beenden: dieser Begriff sei bloß als Abkürzung für die jeweiligen Bewegungsänderungen anzuwenden²¹¹. Pulte (2005, 198) spricht von einem „Entmetaphysierungsprozess“, der die Entwicklung der Mechanik charakterisiert: so ist z.B.

²⁰⁵ Vgl. Stichweh (1984), S. 193ff. und Pulte (2005), S. 303ff. Laut Stichweh ist der Kantianer Jakob Friedrich Fries der erste, der 1822 eine Philosophie der reinen Mathematik entwickelt.

²⁰⁶ Vgl. Stichweh (1984) S. 197 und Pulte (2005), Kap. VI.2 (insbesondere S. 308). Der Formalismus von Hamilton-Jacobi stellt bekannterweise neben der Mechanik von Lagrange einer der zwei Eckpfeiler der analytischen Mechanik (sowie eine formale Brücke zur De Broglie-Bohm Formulierung der Quantenmechanik) dar.

²⁰⁷ „Was (...) analytische Mechanik im Gegensatz zur Newtonschen Mechanik heißt, ist genau genommen *rechnende* Mechanik“ (Mach 2012 [1912⁷], S. 491).

²⁰⁸ Vgl. Stichweh (1984), S. 190 und Pulte (2005), S. 156ff.

²⁰⁹ D'Alembert, aus dem Artikel „Cartesianismus“ der von ihm und Diderot herausgegebenen Enzyklopädie, zit. in: Wahsner (2007), S. 48.

²¹⁰ Vgl. Pulte (2005), Kap. IV.2.5.

²¹¹ Vgl. Pulte (2005, S. 147), der bemerkt, wie dadurch „Newtons zweites Bewegungsgesetz bei ihnen zu einer bloßen Nominaldefinition (wird)“. Die Überwindung der inhaltlichen Auseinandersetzungen über verschiedene Formulierungen der Mechanik und über Begriffe wie Kraft, Masse, Energie usw. durch eine zunehmende Formalisierung der Mechanik wird von Pulte (2005, S. 154ff.) u.a. durch die Ausdrücke „Entmetaphysierung“ und „semantische Entladung“ der Mathematik in der Mechanik charakterisiert.

Lagrange zurückhaltend im Vergleich zu seinen Vorgängern, wenn es darum geht, Begriffe wie Raum, Zeit, Kraft usw. über den Formalismus hinaus zu definieren, in dem sie vorkommen²¹².

Die *Méchanique Analytique* (1787) von Lagrange erscheint im selben Jahre, in dem Immanuel Kant die zweite Auflage seiner *Kritik der reinen Vernunft* (im Folgenden: *KrV*) veröffentlicht. Die Entwicklung der Transzendentalphilosophie Kants steht im engen Zusammenhang mit seinen frühen naturwissenschaftlichen Interessen²¹³ und ist stark von dem Bedürfnis geprägt, den epistemologischen *Status* wissenschaftlicher Sätze zu klären²¹⁴.

Kant geht noch in wichtigen Hinsichten von dem klassischen Wissenschaftsverständnis (vgl. oben, Kap. 2) aus: das ist besonders evident in der „Vorrede“ seiner *Metaphysischen Anfangsgründe der Naturwissenschaft*²¹⁵ (im Folgenden: *Anfangsgründe*), wo er von einer jeden Wissenschaft verlangt, dass sie „ein System, d.i. ein nach Prinzipien geordnetes Ganze der Erkenntnis“ sei²¹⁶, und wo er behauptet, dass Naturwissenschaft diesen Namen „nur alsdenn [verdient], wenn die Naturgesetze, die in ihr zugrunde liegen, a priori erkannt werden, und nicht bloße Erfahrungsgesetze sind“ (Kant 1997 [1786], S. 4). Nur so können nämlich Naturgesetze jene *Gewissheit* haben, die übrigens – wie wir gesehen haben – eine wichtige Komponente des impliziten wissenschaftlichen Determinismus war:

²¹² Vgl. auch Pulte (2000), S. 56: „The *Méchanique Analytique* is the first major textbook in the history of mechanics that I know of which abandons explicit philosophical reflections and justifications. It says nothing about how space, time, mass, force, are to be established as basic concepts of mechanics, nor about how a deductive mathematical theory on that basis is possible. Neither are the metaphysical premises of his mechanics made explicit, nor is there any epistemological justification given for the presumed certainty of the basic principles of mechanics. This is in striking contrast not only to Descartes', Leibniz' and Newton's foundations of mechanics in the 17th century, but also to 18th century rational mechanics”.

²¹³ Über die intensive und tiefgehende Auseinandersetzung Kants mit Mathematik und Naturwissenschaft vgl. Friedman (1992). Die berühmten Analysen und Deutungen der kantischen theoretischen Philosophie seitens Friedmans, und insbesondere die Inhalte seines Buchs *The Dynamics of Reason* (Friedman 2001), wurden 2007 im Rahmen eines ihm gewidmeten Symposiums an der Universität Complutense Madrid heftig diskutiert (die daraus entstandenen Artikel findet man in: Suárez – Uebel (Hrsg. 2012)).

²¹⁴ Aus den Einleitungen beider Auflagen der *KrV* (Kant 1998 [1781¹]; 1998 [1787²]), und vor allem aus der Einleitung der *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik* (Kant 2001 [1783] – im Folgenden: *Prolegomena*) geht deutlich hervor, dass die Hauptfragen Kants die zwei folgenden sind: (1) Wie sind die a priori gültigen und synthetischen Sätze der Mathematik und der Naturwissenschaft möglich? (2) Kann man auch in der Metaphysik solche Sätze (= Sätze mit diesem ‚privilegierten‘ epistemologischen *status*) formulieren? So schreibt Kant z.B. in den *Prolegomena*, dass seine „Hauptfrage“, d.h. die „transzendente Frage“, „in vier anderen Fragen zerteilt und nach und nach beantwortet werden [wird]. 1. Wie ist reine Mathematik möglich? 2. Wie ist reine Naturwissenschaft möglich? 3. Wie ist Metaphysik überhaupt möglich? 4. Wie ist Metaphysik als Wissenschaft möglich?“ – und fügt hinzu, dass „die Auflösung dieser Aufgaben hauptsächlich den wesentlichen Inhalt der Kritik darstellen soll“ (Kant 2001 [1783], §5).

²¹⁵ Kant (1997 [1786]), S. 3-16.

²¹⁶ Kant 1997 [1786], S. 3. Was den systematischen Charakter der Wissenschaft betrifft, vgl. auch den Anfang der „Architektonik der reinen Vernunft“ in der *Kritik der reinen Vernunft*: „Ich verstehe unter einer *Architektonik* die Kunst der Systeme. Weil die systematische Einheit dasjenige ist, was gemeine Erkenntnis allererst zur Wissenschaft [...] macht, so ist Architektonik die Lehre des *Szientifischen* in unserer Erkenntnis überhaupt“ (Kant 1998 [1787²], S. 860). Es ist Kant natürlich ein Anliegen, dass auch seine Philosophie diesem Ideal der Wissenschaft gerecht wird: vgl. z. B. Kant (1998 [1787²]), S. 142.

Eigentliche Wissenschaft kann nur diejenige genannt werden, deren Gewissheit apodiktisch ist; Erkenntnis, die bloß empirische Gewissheit enthalten kann, ist ein nur uneigentlich so genanntes Wissen.²¹⁷

Anders als im klassischen, rationalistischen Wissenschaftsverständnis kommt aber der Erfahrung in der Kantischen Philosophie eine wesentliche Rolle zu²¹⁸. Dass unsere Sinne (der innere oder der äußere) „affiziert“ werden, ist eine notwendige (obgleich nicht hinreichende) Bedingung unseres auf Erfahrung eingeschränkten Erkennens. Wenn es überdies um eine „Körperlehre“ geht, wird die Rolle der Erfahrung derart zentral, dass Kant die Grundbegriffe dieser Wissenschaft fast phänomenalistisch erklärt: so existieren Körper nur, indem ihre Eigenschaften unsere Wahrnehmung affizieren²¹⁹; so ist die Grundbestimmung des Materiebegriffs laut Kant die der Bewegung, *weil* Gegenstände äußerer Erfahrung nur in ihrer Veränderung wahrnehmbar sind²²⁰; so verteidigt Kant eine dynamistische Auffassung der Materie (Materie besteht aus Grundkräften, die den Raum erfüllen) gegen eine mathematisch-mechanische (Dasein der Materie bloß als Position; Körper als ausdehnlose Punkte), *weil* wir Materie vorerst als Kraft (Widerstand) wahrnehmen²²¹. Folglich kann Kant auch nicht jene dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus zugrunde liegende rationalistische, im klassischen Wissenschaftsverständnis implizite Annahme teilen, nach der mathematisch abgesicherten Theorien *völlig abgesehen* von jeder Übereinstimmung mit der Erfahrung eine unmittelbare *materielle* (und nicht nur formelle) Wahrheit zukommt²²²: dass a priori (d.h. unabhängig von der Erfahrung) gültige Sätze einen empirischen Inhalt haben können, ohne dass sie von der Erfahrung entlehnt worden wären, ist laut Kant zwar ein „Faktum“, aber eines, das einer Erklärung bedarf. Daher unterwirft Kant die Naturwissenschaft, und insbesondere – was uns hier interessiert – die „Körperlehre“ einer epistemologischen Untersuchung.

²¹⁷ Kant 1997 [1786], S. 4

²¹⁸ Eisler (1972, S. 123) macht darauf aufmerksam, dass der Begriff „Erfahrung“ bei Kant jeweils eine der folgenden zwei verschiedenen Bedeutungen annehmen kann: „Erfahrung“ als „Wahrnehmung“, und „Erfahrung“ als vom Verstand schon strukturierte Erfahrung.

²¹⁹ „Wir empfinden nicht äußere Substanzen [...], sondern wir denken die nur dazu. Aber nur in dem Verhältnis auf die Affektionen unseres Gemüths; [wir empfinden] also nicht, was sie an sich selbst sind sondern das Perdurable in der Erscheinung“ (Kant, zit. in Pollock 1997, S. XL).

²²⁰ Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 14: „Die Grundbestimmung eines Etwas, das ein Gegenstand äußerer Sinne sein soll, musste Bewegung sein; denn dadurch allein können diese Sinne affiziert werden“.

²²¹ Vgl. Kant (1997 [1786]), „Dynamik“. In der Anmerkung zum Lehrsatz 5 wird sogar spezifiziert, dass die Zurückführung der Materie auf die Zurückstoßungskraft statt auf Anziehungskraft eine Priorität hat, weil die erste unmittelbar unsere Wahrnehmung der Materie charakterisiert (vgl. auch die Anmerkung auf S. 60).

²²² Vgl. oben, Kap. 2. Die Behauptung von Theorien völlig jenseits jeder Erfahrung betrachtete Kant eher als „erdichtete Metaphysik“ oder als Dogmatismus.

Dass eine solche Untersuchung notwendig sei, drückt Kant mit anderen Worten aus, wenn er in den *Anfangsgründen* behauptet, dass mathematische Physiker die Metaphysik nicht entbehren können. Somit setzt er sich der schon erwähnten Tendenz der mathematischen Physiker zur „Entmetaphysierung“ entgegen – aber auf seine eigene Weise: er bezieht sich nämlich auf die „wahre“ Metaphysik, die „aus dem Wesen des Denkungsvermögens selbst genommen“ ist, und die „die reinen Handlungen des Denkens [enthält], mithin Begriffe und Grundsätze a priori, welche das Mannigfaltige *empirischer Vorstellungen* allererst in die gesetzmäßige Verbindung bringt, dadurch es *empirische Erkenntnis*, d.h. Erfahrung werden kann“ (Kant 1997 [1786], S. 9). Kurz: die mathematische Physik kann einer Transzendentalphilosophie, oder „allgemeinen Metaphysik“, nicht entbehren.

Neben der *allgemeinen* Metaphysik, die Kant in seinen kritischen Werken dabei war, zu entwickeln, brauchen mathematische Physiker auch laut Kant noch eine *besondere* Metaphysik, und zwar eine „Metaphysik der körperlichen Natur“²²³: diese soll „den Begriff ihres eigentlichen Gegenstandes, nämlich der Materie, a priori zur Anwendung auf äußere Erfahrung tauglich machen, als de[n] Begriff der Bewegung, der Erfüllung des Raums, der Trägheit, u.s.w.“ (Kant 1997 [1786], S. 9). Diese besondere Metaphysik behauptet er in den *Anfangsgründe* sogar bis zur Vollkommenheit ausgearbeitet zu haben²²⁴. Laut Kant haben mathematische Physiker mit Recht alle „erdichtete“ Metaphysik abgelehnt, bei dieser Ablehnung hätten sie aber versäumt, zu merken, dass sie ohne eine „wahre“ Metaphysik ihre Naturgesetze und derer apodiktische Gewissheit einfach *postulieren* mussten – denn aus der

²²³ Kant arbeitete an den *Metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft* (1786) in den selben Jahren, in denen er seine kritische Transzendentalphilosophie entwickelte und ausarbeitete: die Veröffentlichung der *Anfangsgründe* (1786) fällt nämlich kurz nach der Veröffentlichung der ersten Ausgabe der *Kritik der reinen Vernunft* (1781) und der *Prolegomena* (1783), und ein Jahr vor der Veröffentlichung der zweiten Ausgabe der *KrV* (1787). Zum Verhältnis zwischen Kritik der reinen Vernunft, allgemeiner Metaphysik und Transzendentalphilosophie bei Kant ist es zu präzisieren, dass Kant in der Einleitung zur *KrV* zwischen „Kritik“ und „Transzendental-Philosophie“ unterscheidet: „Die Transzendental-Philosophie ist die Idee einer Wissenschaft, wozu die Kritik der reinen Vernunft den ganzen Plan architektonisch, d.i. aus Prinzipien, entwerfen soll [...]. Dass diese Kritik nicht schon selbst Transzendental-Philosophie heißt, beruht lediglich darauf, dass sie, um ein vollständiges System zu sein, auch eine ausführliche Analysis der ganzen menschlichen Erkenntnis a priori enthalten müsste“ (Kant 1998 [1787²], S. 85). Im III. Hauptstück der „Architektonik der reinen Vernunft“ wird diese Unterscheidung genauer dargestellt: die „Kritik“ wird hier als „Propädeutik“ der Metaphysik definiert und die Metaphysik in zwei Arten eingeteilt, d.h. sie ist entweder „Metaphysik der Natur oder Metaphysik der Sitten“ (Kant 1998 [1787²], S. 867-68). Die Metaphysik der Natur wird ferner in Transzendentalphilosophie und in Physiologie der reinen Vernunft eingeteilt, und diese letzte in rationale Physik und in Psychologie (Kant 1998 [1787²], S. 870-71). Die Transzendentalphilosophie betrachtet den Verstand und die Vernunft „in einem System aller Begriffe und Grundsätze, die sich auf Gegenstände überhaupt beziehen, ohne Objekte anzunehmen, die *gegeben* wären“ (*ibidem*): in diesem Sinne ist sie *allgemeine* Metaphysik. Die rationale Physik wird von Kant selbst hier mit der „Metaphysik der körperlichen Natur“ identifiziert; als Teil der Physiologie betrachtet sie die Natur als „den Inbegriff *gegebener* Objekte“ (Kant 1998 [1787²], S. 871). Sie ist aber außerdem ein *besonderer* Teil der Physiologie, denn sie beschäftigt sich im Speziellen mit der *körperlichen* Natur (und nicht mit der denkenden): in diesem Sinne ist sie eine *besondere* Metaphysik (das Prädikat „besondere“ benutzt Kant selbst in der Vorrede zu den *Anfangsgründe*).

²²⁴ Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 10-11.

Erfahrung kann diese nicht stammen²²⁵. Als Alternative zu diesem willkürlichen Akt des Postulierens versucht Kant, die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Naturgesetze in der Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Denkstrukturen des Erkenntnissubjekts zu verankern, indem er die ersten auf die zweiten zurückführt²²⁶.

Bevor wir aber auf die Frage eingehen, wie die Begriffe und die Gesetze der Naturwissenschaft von Kant in der allgemeinen Metaphysik (d.h. in der Transzendentalphilosophie) verankert werden, und somit das Verhältnis zwischen den *Anfangsgründen* und der transzendentalen Analytik der *KrV*²²⁷ in Betracht ziehen, müssen wir noch die Rolle einer dritten wesentlichen Komponente der Naturwissenschaft genauer betrachten – und zwar die der Mathematik. Denn der implizite wissenschaftliche Determinismus – wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben – basierte auf dem Glauben an die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit *und zugleich* unmittelbare Realitätsbezogenheit *mathematischer* Erkenntnis.

Die Auffassung, dass die Mathematik für jede Wissenschaft unentbehrlich ist, die als solche anerkannt werden soll, teilt Kant mit dem klassischen Wissenschaftsverständnis – wie aus der „Vorrede“ der *Anfangsgründe* besonders klar hervorgeht:

Ich behaupte [...] daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel *eigentliche* Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin *Mathematik* anzutreffen ist.²²⁸

Dass die Körperlehre eine *mathematische* Physik ist, ist also auch der Grund, warum sie von Kant für Wissenschaft gehalten wird, während Disziplinen wie Chemie und Psychologie, die

²²⁵ „[...] bloß empirische Gesetze gelten zu lassen, hielten sie [= die mathematischen Physiker] mit Recht der apodiktischen Gewissheit, die sie ihren Naturgesetzen geben wollten, gar nicht gemäß, daher sie solche [= die Naturgesetze] lieber postulierten, ohne nach ihren Quellen a priori zu forschen“ (Kant 1997 [1786], S. 9). Dieselbe Kritik übt Kant in der *KrV* an jenen Mathematikern, die „kaum jemals über ihre Mathematik philosophiert haben“, und die denken, dass die Mathematik alleine „Meister über die Natur“ werden kann. So geraten sie laut Kant in große Verwirrung: „Gangbare und empirisch gebrauchten Regeln, die sie von der gemeinen Vernunft borgen, gelten ihnen denn statt Axiome. Wo ihnen die Begriffe von Raum und Zeit, womit sie sich [...] beschäftigen, herkommen mögen, daran ist ihnen gar nichts gelegen, und ebenso scheint es ihnen unnütz zu sein, den Ursprung reiner Verstandesbegriffe, und hiemit auch den Umfang ihrer Gültigkeit, zu erforschen, sondern nur sich ihrer zu bedienen“ (Kant 1998 [1787²], S. 773)

²²⁶ Diese Begründungsstrategie beruht offensichtlich auf dem für das klassische Wissenschaftsverständnis typischen systematischen Denken, d.h. auf dem Vertrauen auf die Übertragung der Notwendigkeit vom Allgemeinen (in diesem Fall, den Prinzipien der reinen Vernunft bzw. die Möglichkeitsbedingungen der Erkenntnis eines *Gegenstandes überhaupt*) aufs Besondere (in diesem Fall, die Naturgesetze bzw. die Bestimmungen besonderer „*Naturdinge*“ – angefangen von der Materie).

²²⁷ Wie oben in der Fußnote 223 schon bemerkt, war die Kritik von Kant eigentlich nur als „Propädeutik“ zur Transzendentalphilosophie (also zur allgemeinen Metaphysik) gemeint. Diese Unterscheidung ist aber für unsere Zwecke nicht entscheidend.

²²⁸ Kant 1997 [1786], S. 6

zur Zeit Kants noch nicht mathematisiert worden waren, keine Wissenschaftlichkeit beanspruchen können. Im Gegensatz zu jenem klassischen Wissenschaftsverständnis, das die Mechanik als *mathesis mixta* und den impliziten wissenschaftlichen Determinismus geprägt hatte (vgl. oben, Kap. 2), geht Kant aber nicht ohne weiteres von der Annahme der apodiktischen Wahrheit *und* unmittelbaren Realitätsbezogenheit mathematischer Erkenntnis aus. Seine Philosophie führt die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Mathematik (ebenso wie die der Naturgesetze der Naturwissenschaft) auf die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Struktur des menschlichen Erkenntnisvermögens zurück²²⁹. Die Wahrheit mathematischer Sätze ist zwar laut Kant ein „Faktum“, eins aber, das in der *KrV* eine Erklärung finden soll (d.h. das einer Erklärung bedarf). Diese Erklärung besteht aus einer Zurückführung dieser Wahrheit auf den *modus* des menschlichen Erkennens. In *diesem* Sinne befindet sich die Mathematik – genau wie die Körperlehre – in einem Verhältnis der Abhängigkeit von der allgemeinen Metaphysik (oder Transzendentalphilosophie)²³⁰. Die Zurückführung der Gültigkeit der Mathematik auf den *modus* des menschlichen Erkennens ist im Grunde auch eine *Relativierung* und hat als Folge die Zerstörung jener unmittelbaren Übereinstimmung zwischen Mathematik und Realität, die im rationalistischen Realitätsbegriff (vgl. oben, Kap. 2) enthalten war:

Die reine Mathematik, und namentlich die reine Geometrie, kann nur unter der Bedingung allein objektive Realität haben, dass sie bloss auf Gegenstände der Sinne geht, in Ansehung deren aber der Grundsatz feststeht: dass unsre sinnliche Vorstellung keineswegs eine Vorstellung der Dinge an sich selbst, sondern nur der Art sei, wie sie uns erscheinen.²³¹

Es wird da nicht mehr angenommen, dass mathematische (deterministische) Wahrheiten eine Realität widerspiegeln, die die menschliche, mangelhafte Erfahrung nur dürftig begreifen kann, sondern mathematische Erkenntnis gilt nur (sehr wohl mit Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit) in Bezug auf die Welt, so wie sie dem menschlichen Erkennenssubjekt

²²⁹ Vgl. Kant (2001 [1783]), § 6-13. Über die Kantische Auffassung der Mathematik vgl. Friedman (1992), Kap. 2.

²³⁰ Vgl. auch Friedman (1992, S. 101): „[...] pure intuition, at least by itself, can in no way demonstrate or exhibit the real possibility of mathematics. For Kant, such real possibility means that mathematics is applicable to empirical objects (objects of experience), and this cannot be shown except on the basis of transcendental philosophy itself“.

²³¹ Kant (2001 [1783]), §13, Anmerkung I.

erscheint – wobei das Erkenntnisvermögen dieses menschlichen Erkenntnissubjektes wesentlich und unvermeidlich auf die Sinnlichkeit angewiesen ist²³².

Während die Mathematik von der Transzendentalphilosophie bzw. der allgemeinen Metaphysik abhängig ist, ist die mathematische Physik auch noch von der schon erwähnten *besonderen* Metaphysik (der körperlichen Natur) abhängig, denn – wie Plaass (1965, S. 66) es kurz und klar formuliert – „Mathematik allein [kann] die Prinzipien der Naturwissenschaft nicht liefern“. Im Gegensatz zur erwähnten Tendenz zur durchgehenden Mathematisierung der Mechanik macht Kant in den *Anfangsgründen* klar, dass eine Körperlehre keine rein mathematische Theorie sein kann, sondern sie muss aus Begriffen ausgehen, die erst eine besondere Metaphysik der körperlichen Natur liefern und erklären kann (z.B. Kraft, Masse, Ursache usw.):

Damit [...] die Anwendung der Mathematik auf die Körperlehre, die durch sie allein Naturwissenschaft werden kann, möglich werde, so müssen Prinzipien der Konstruktion der Begriffe, welche zur Möglichkeit der Materie überhaupt gehören, vorangeschickt werden; mithin wird eine vollständige Zergliederung des Begriffs von einer Materie überhaupt zum Grunde gelegt werden müssen, *welches ein Geschäft der reinen Philosophie ist*, die zu dieser Absicht sich keiner besonderen Erfahrungen, sondern nur dessen, was sie im abgesonderten (obzwar an sich empirischen) Begriffe selbst antrifft, in Beziehung auf die reinen Anschauungen im Raume und Zeit (nach Gesetzen, welche schon dem Begriff der Natur überhaupt wesentlich anhängen) bedient, mithin eine wirkliche *Metaphysik der körperlichen Natur ist*.²³³

Diese Stelle trägt dazu bei, Probleme zu klären, die in der Sekundärliteratur viel Verwirrung und gegensätzliche Meinungen hervorgebracht haben: bezüglich zentraler Begriffe der Körperlehre, wie Materie, Bewegung und Kräfte, macht Kant es uns schwer, zu verstehen, ob sie empirischer, metaphysischer oder mathematischer Natur seien. Die Frage ist sehr relevant, denn je nach dem, wie man sie löst, wird man Kant eine andere Art von Rechtfertigung der Prinzipien der Naturwissenschaft zuschreiben. Brittan (1978) hebt z.B. die Kantische Bezeichnung der genannten Begriffe als „empirisch“ hervor, und beruft sich auf einige Stellen der *KrV*, in denen Kant suggeriert, dass besondere physikalische Gesetze nur empirisch überprüfbar sind; so kommt Brittan zum Schluss, dass die physikalischen Gesetze laut Kant nicht *a priori* gelten können (Brittan 1978, S. 131-132). Dies ist natürlich – wie Brittan selbst zugibt – ein gewagter Schluss, weil Kant immer wieder behauptet, dass die Naturwissenschaft

²³² Dabei sollte man natürlich nicht vergessen, dass die Sinnlichkeit im Kantischen Sinne auch das Vermögen des *inneren* Sinnes umfasst, und dass unserer Sinnlichkeit nicht nur empirische, sondern auch *reine* Anschauungen gegeben werden können. Diese letzten haben allerdings erst Anspruch auf objektive Realität, wenn man sie in Bezug auf mögliche Erfahrung betrachtet (vgl. das letzte Zitat aus Friedman).

²³³ Kant (1997 [1786]), S. 8-9; Hervorhebungen von mir geändert.

synthetische Sätze *a priori* liefert. Ich würde nun anhand der eben wiedergegebenen Stelle und anhand weiterer Hinweise, die sowohl in den *Anfangsgründen* als auch in der *KrV* zu finden sind, die Frage anders lösen, und zwar würde ich die Prioritätsverhältnisse interpretieren, wie folgt:

- Damit Prinzipien der Naturwissenschaft, und insbesondere die Gesetze der Mechanik, überhaupt formuliert werden können, muss die *Metaphysik* (der körperlichen Natur) Begriffe wie Materie, Bewegung, Kräfte, *a priori* zugrunde legen und erklären. Das ist laut Kant – wie aus dem letzten Zitat hervorgeht - weder ein empirisches „Geschäft“ noch ein Geschäft der Mathematik (d.h., es geht nicht darum, die erwähnten Begriffe eventuell durch Axiome zu definieren), sondern ein „Geschäft der reinen Philosophie“, und zwar der „wahren“ Metaphysik²³⁴. Dabei wird wieder eine Relativierung der Gültigkeit der Prinzipien der Naturwissenschaft sichtbar: sie gelten aus dieser Kantischen Perspektive nicht bloß indem sie mathematisch formuliert werden können (was die Annahme des klassischen Wissenschaftsverständnisses war), sondern sie gelten *materialiter* erst unter der Bedingung, dass man einige nicht-mathematische Begriffe *a priori* vorausgesetzt hat. In den *Anfangsgründen* werden diese Begriffe „erklärt“, und durch sie werden zudem Lehrsätze *a priori* formuliert und „bewiesen“ (wobei der Beweis keine mathematische „Demonstration“ ist). Diese metaphysische Bestimmung der Begriffe ist eine *Voraussetzung* für die Anwendung der Mathematik – wie aus dem letzten Zitat hervorgeht („Damit die Anwendung der Mathematik [...] möglich wird...“). Was überhaupt eine metaphysische Erklärung der Begriffe sei, kann man aus einer „Anmerkung“ verstehen, die Kant in Bezug auf den Begriff der Materie macht (Kant 1997 [1786], S. 17): diesen (oder irgendeinen) Begriff metaphysisch zu erklären, heißt, ihn „nur durch das Verhältnis zum Erkenntnisvermögen, in welchem mir die Vorstellung allererst gegeben werden kann, erklären“. Es handelt sich also, so könnte man sagen, um eine *transzendente* (Vorher)bestimmung der Begriffe: die Begriffe bzw. die Lehrsätze der Metaphysik der körperlichen Natur referieren bzw. gelten in Bezug auf *mögliche* Erfahrung.

- Es muss aber zwischen *Begriffen* und *Lehrsätzen* der Metaphysik der körperlichen Natur unterschieden werden, wenn man die Charakterisierung Kants der *Begriffe* als „empirischer Begriffe“ annehmen will, ohne dass damit die Geltung der *Prinzipien* der Physik gleich auf

²³⁴ Aus der „Vorrede“ der *Anfangsgründe* geht hervor, dass alle Erkenntnis *a priori* nur entweder mathematischer oder metaphysischer Art ist. Der logische Aufbau der *Anfangsgründe* ist ein interessanter Aspekt dieses Werks, der in der Sekundärliteratur sehr vernachlässigt wurde. Anhand der *KrV* (Kant 1998 [1787²], S. 775-784) wird klar, dass die „Erklärungen“, „Lehrsätze“ und „Beweise“, die in den *Anfangsgründen* hervorgebracht werden, sich von mathematischen „Definitionen“, „Axiome“ und „Demonstrationen“ unterscheiden. Also muss die Erkenntnis, die in den *Anfangsgründen* enthalten ist, eher metaphysischer Art sein.

Erfahrung beruhen soll – was m. E. nicht die Position Kants sein kann. Die Gesetze der Mechanik, wie wir sehen werden, werden nämlich von Kant auf die allgemeinen Grundsätze möglicher Erfahrung zurückgeführt, welche wiederum in der *KrV* transzendental deduziert werden: offensichtlich zielt diese Argumentationsstrategie darauf ab, zu „beweisen“, dass „Naturwissenschaft (Physica) synthetische Urteile a priori als Prinzipien in sich [enthält]“ (Kant 1998 [1787²], S. 69). Es kann also m. E. nicht glaubwürdig bezweifelt werden, dass die *allgemeinen* Naturgesetze laut Kant a priori gelten²³⁵. Die *Begriffe* aber, die die Metaphysik der körperlichen Natur liefert und erklärt (Materie, Bewegung, Kräfte) sind trotzdem „empirisch“, weil nur die Erfahrung uns garantieren kann, dass sie „referieren“²³⁶.

- Erst nachdem die Metaphysik der körperlichen Natur also die empirischen Begriffe der Körperlehre zugrunde gelegt und *a priori* erklärt hat, können einige von ihnen – oder, vielleicht besser: einige Aspekte von ihnen – mathematisch konstruiert werden. Dabei scheint mir klar zu sein, dass die Mathematik aus Kantischer Perspektive zu einer Körperlehre *nicht* ausreicht. Ein Hauptgrund dafür ist schon in der „Vorrede“ der *Anfangsgründe* zu finden, wo Kant behauptet:

Eigentlich so zu nennende Naturwissenschaft setzt *zuerst* Metaphysik der Natur voraus; *denn* Gesetze, d.i. Prinzipien der Notwendigkeit dessen, was zum *Dasein* eines Dinges gehört, beschäftigen sich mit einem Begriffe, der sich nicht konstruieren läßt, weil das Dasein in keiner Anschauung a priori dargestellt werden kann.²³⁷

Mathematische Erkenntnis²³⁸, die ihre Begriffe und Axiome in der reinen Anschauung a priori konstruiert²³⁹, lässt uns alleine das *Dasein* der physikalischen Welt (Kräfte, Ursachen usw.)

²³⁵ Es kann vielleicht noch diskutiert werden, welchen Grad an Allgemeinheit physikalische Gesetze haben müssen, um von Kant noch für a priori gültig gehalten zu werden: die Gesetze der Mechanik, wie wir gleich sehen werden, gelten - als Sonderfälle von allgemeinen Grundsätzen der Erfahrung - a priori. Kant bezieht sich aber in der *KrV* manchmal auch auf „besondere Gesetze“, derer Kenntnis Erfahrung voraussetzt (vgl. insb. Kant 1998 [1787²], S. 202-203), die also nur a posteriori gelten können. Andererseits spricht interessanterweise Kant dieses Problem explizit an, und bemerkt, dass die Frage nach dem a priori oder empirischem Ursprung der Erkenntnisse von der Frage nach dem Grad der Allgemeinheit zu unterscheiden sei (vgl. Kant 1998 [1787²], S. 869).

²³⁶ Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 6 (Materie ist ein empirischer Begriff); Kant 1998 [1787²], S. 115 (Bewegung ist ein empirischer Begriff) und S. 315 (Definition von empirischem Begriff). Vgl. auch Plaass (1965, S. 89): „Dass dies [der Begriff der Materie] ein empirischer Begriff ist, bedeutet lediglich, dass seine objektive Realität nicht a priori eingesehen werden kann. Da man nicht a priori wissen kann, dass dieser Begriff auf sein Objekt bezogen werden kann, muss man sich empirisch belehren lassen, dass es einen derartigen Gegenstand gebe, um so das Faktum seiner realen Möglichkeit aus der Wirklichkeit zu schließen“.

²³⁷ Kant (1997 [1786]), S. 5; Hervorhebungen von mir geändert

²³⁸ Kant charakterisiert die mathematische Erkenntnis im Vergleich zur philosophischen in der *KrV*: Kant 1998 [1787²], S. 763ff. Dieser Absatz der *KrV* stellt eine sehr wichtige Ergänzung zur Vorrede der *Anfangsgründe* dar, denn in dieser letzten geht es Kant zuerst darum, den reinen von dem empirischen Teil der

nicht erkennen. Zur Erkenntnis dieses letzten sind nämlich „Wahrnehmung und deren Fortgang nach empirischen Gesetzen“ notwendig²⁴⁰, und es ist erst die Metaphysik, die den transzendentalen Bezug auf mögliche Erfahrung erstellt.

Dem Kantischen Glauben an die Unentbehrlichkeit der Mathematik in der Wissenschaft entsprechend fangen die *Anfangsgründe* trotzdem mit einem mathematisch-geometrischen Teil an, der Phoronomie, in dem die Materie bloß als „*das Bewegliche* im Raume“ betrachtet wird²⁴¹. Dass eine solche rein mathematisch-geometrische Auffassung der Materie nicht zu einer Körperlehre ausreicht, merkt man an den dürftigen Ergebnissen, die in diesem Teil gewonnen werden können. Die Phoronomie – wie Kant selbst hervorhebt – ist nicht mal eine richtige Bewegungslehre, sondern „reine Größenlehre (Mathesis) der Bewegungen“ (Kant 1997 [1786], S. 29). Die rein geometrisch-mathematische Betrachtungsweise der Materie sieht vor, dass in diesem Teil von Körpern, Massen, Kräften, Ursachen, also von jedem Begriff, der sich auf ein Dasein bezieht und nicht konstruiert werden kann, nicht die Rede sein kann, sondern bloß von Bewegung als „Beschreibung eines Raumes“²⁴² (d.h. ohne dass es

Naturwissenschaft abzusondern, und dann, innerhalb des reinen, die mathematische von der philosophischen (metaphysischen) Erkenntnis zu unterscheiden.

²³⁹ Der zeitlich-räumliche (geometrische) Charakter der Mathematik in ihrer Kantischen Auffassung unterscheidet sie wesentlich von der Mathematik, die in der analytischen Mechanik steckt, und Friedmann (1992, S. 58) hat Recht, wenn er behauptet: „it is the spatio-temporal character of construction in pure intuition that enables Kant to give a philosophical foundation for both Euclidean geometry and Newtonian dynamics“. Ich würde aber diese Worte (und insbesondere das Wort „foundation“) nicht so interpretieren, als ob die mathematische Konstruktion alleine und für sich laut Kant zur newtonschen Dynamik ausreichen würde.

²⁴⁰ „Wo also Wahrnehmung und deren Fortgang nach empirischen Gesetzen hinreicht, dahin reicht auch unsere Erkenntnis vom Dasein der Dinge. Fangen wir nicht von Erfahrung an, oder gehen wir nicht nach Gesetzen des empirischen Zusammenhanges der Erscheinungen fort, so machen wir uns vergeblich Staat, das Dasein irgendeines Dinges erraten oder erforschen zu wollen“ (Kant 1998 [1787²], S. 319).

²⁴¹ Die *Anfangsgründe* sind allgemein strukturiert, wie folgt: in der „Vorrede“ rückt der Begriff der Materie in den Vordergrund als Gegenstand äußerer Sinne (wie Plaass (1965, S. 92) gemerkt hat, wären die *Anfangsgründe* als „Metaphysik der körperlichen Natur“ gemeint, eigentlich konzentriert sich aber Kant auf den wesentlich abstrakteren Begriff der Materie, während der des Körpers eine sehr sekundäre Rolle spielt), und die Bewegung wird als seine Grundbestimmung betrachtet, „denn dadurch allein können die Sinne affiziert werden“: „So ist Naturwissenschaft durchgängig eine entweder reine oder angewandte Bewegungslehre“ (Kant 1997 [1786], S. 14). Dann wird dieser Begriff der „Materie als das Bewegliche“ gemäß der Tafel der Kategorien (Quantität, Qualität, Relation und Modalität) so weit bestimmt, wie eine *a priori* Bestimmung reichen kann. Demgemäß ergeben sich vier Hauptstücke: Phoronomie (Materie bzw. Bewegung als reines *Quantum*), Dynamik (Materie *qualitativ* gesehen - als ursprünglich bewegendende Kraft, die einen Raum erfüllt), Mechanik (Materie als bewegendende Kraft in *Relation* mit anderen), und Phänomenologie (Materie in Beziehung auf unsere *Modalität* ihrer Vorstellung).

²⁴² Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 28-29) und Kant (1998 [1787²], S. 195, Fußnote 1). In dieser Fußnote unterscheidet Kant zwischen dem empirischen Begriff der Bewegung („Bewegung eines Objekts im Raume“) und dem mathematisch-geometrischen Begriff der Bewegung („Bewegung als Beschreibung eines Raumes“): „Bewegung eines *Objekts* im Raume gehört nicht in eine reine Wissenschaft, folglich auch nicht in die Geometrie; weil, daß Etwas beweglich sei, nicht *a priori*, sondern nur durch Erfahrung erkannt werden kann. Aber Bewegung, als *Beschreibung* eines Raumes, ist ein reiner Actus der sukzessiven Synthesis des Mannigfaltigen in der äußeren Anschauung überhaupt durch produktive Einbildungskraft, und gehört nicht allein

etwas *gäbe*, das sich wirklich bewegen würde), von Geschwindigkeit und von Richtung – und das auch sowieso mit Einschränkungen: nur geradlinige, gleichförmige Bewegungen kommen in Frage, denn eine Änderung der Richtung oder der Geschwindigkeit der Bewegung würde eine Kraft oder Ursache (d.h. einen nicht rein mathematischen Begriff) implizieren²⁴³. Veränderungen als physikalische Prozesse sind prinzipiell aus der Phoronomie ausgeschlossen²⁴⁴. Aus einer rein mathematisch-geometrischen Perspektive kann also „von einem Naturgesetz bewogender Kräfte gar nicht die Rede sein“ (Kant 1997 [1786], S. 35). Eine rein mathematische Bewegungslehre erscheint aus der Perspektive der *Anfangsgründe* auch zu *undifferenziert*, um zu einer Körperlehre auszureichen. Eine phoronomische Betrachtung der Bewegung erlaubt uns nicht einmal festzulegen, was sich eigentlich bewegt: der erste und einzige Grundsatz, den die Phoronomie liefert, besagt nämlich Folgendes:

Eine jede Bewegung, als Gegenstand einer möglichen Erfahrung, kann nach Belieben, als Bewegung des Körpers in einem ruhigen Raume, oder als Ruhe des Körpers und dagegen Bewegung des Raumes in entgegengesetzter Richtung mit gleicher Geschwindigkeit angesehen werden.²⁴⁵

Als Vorwurf der Undifferenziertheit kann man auch die interessante Kritik Kants an Newton sehen, die das newtonsche Gravitationsgesetz betrifft²⁴⁶: damit dieses gelten kann – so behauptet Kant – ist die *Annahme notwendig*, dass „alle Materie, mithin bloß als Materie und durch ihre wesentliche Eigenschaft, diese Bewegungskraft ausübe“ (Kant 1997 [1786], S. 62). D.h., man kann nicht bei der bloß mathematischen Feststellung einer „Proportionalität zwischen Anziehung und Quantität der Materie“ bleiben, weil diese uns nicht erlauben würde, eine wahre (Annäherung der Körper aneinander wegen der Anziehungskraft, die sie *qua*

zur Geometrie, sondern sogar zur Transzendentalphilosophie“. Es ist diese zweite Art von Bewegung, die in der Phoronomie untersucht wird.

²⁴³ Vgl. den ersten und einzigen Lehrsatz der Phoronomie: Kant (1997 [1786]), S. 30.

²⁴⁴ So bemerkt Plaass (1965, S. 97), dass die Bewegung, von der in der Phoronomie die Rede ist, „zwar eine Veränderung ist, aber nur in einem gewissen uneigentlichen Sinne, nämlich nicht die Veränderung von einem Dasein [...]. Vielmehr ist diese Bewegung nur eine Veränderung ‚gewisser Relationen‘ [...], und diese Relationen bezeichnen für sich gar nichts, was zum ‚Zustand‘ der Materie gehört [...]. Diese Relationen [...] enthalten für sich gar keine Sachheit, Realität [...], also auch nichts, ‚dessen Begriff an sich selbst ein Sein (in der Zeit) anzeigt‘ (A 143, B 182)“.

²⁴⁵ Kant (1997 [1786]), S. 26. Der Raum, der in diesem Satz gemeint ist, ist freilich nicht der Raum als Anschauungsform (der sich nicht bewegen könnte), sondern der empirische Raum. Die phoronomische Betrachtungsweise der Bewegung kommt auch in der Phänomenologie vor, wo sie als Modalität unserer Erfahrung des Beweglichen untersucht wird (Kant 1997 [1786], S. 114-115). Über den Zusammenhang zwischen Relativität der Bewegung und Ablehnung des absoluten Raumes vgl. Brittan (1978, S. 105-108).

²⁴⁶ Kant (1997 [1786]), S. 62-64. Kant setzt sich mit der Schwerkraft (er spricht eher von „Wirkung in die Ferne“) und mit dem Gravitationsgesetz in der „Dynamik“ auseinander, und insbesondere ausgehend aus der „Erklärung 6“, wo die Wirkung in die Ferne definiert wird. Dieser Begriff wird dann verteidigt und a priori bzw. metaphysisch (ausgehend von den vorausgesetzten Begriffen der Materie und der Anziehungskraft) abgeleitet (Kant 1997 [1786], S. 58ff.).

Materie besitzen) von einer scheinbaren Anziehung (Annäherung der Körper aneinander in Folge eines Stoßes) zu unterscheiden.

Diese Kritik Kants an Newton kann man vor dem Hintergrund seiner allgemeinen Verteidigung einer „metaphysisch-dynamischen“ gegenüber einer „mathematisch-mechanischen“ Erklärungsart sehen. Diese entwickelt Kant vor allem in der „Allgemeinen Anmerkung zur Dynamik“, nachdem er seiner „Dynamik“ einen Begriff der Materie als Erfüllung des Raums durch zwei Grundkräfte (Zurückstoß- und Anziehungskraft) zu Grunde gelegt hat. Dieser dynamische Begriff der Materie unterscheidet sich von der mathematisch-mechanischen Auffassung derselben, die die Materie und ihre Verschiedenheit auf unbedingte, ursprüngliche Positionen von absolut undurchdringbaren und unteilbaren Punkten (Atomen) in einem absoluten und leeren Raum zurückführt. Kant gibt erstmals zu, dass diese mathematische Auffassung den Vorteil hätte, die Mannigfaltigkeit, die Dichtheit und die Wirkungsart der Materie konstruierbar zu machen – während die dynamische Auffassung der Materie als Dasein von Grundkräften zu Begriffen führt, die nicht konstruierbar sind (Kant 1997 [1786], S. 76). „Aber“ – behauptet dann Kant – „jenen Vorteil büßt dagegen eine *bloß mathematische* Physik auf der anderen Seite doppelt ein“, denn sie muss sowieso leere und ‚erdichtete‘ Begriffe – wie die der absoluten Undringlichkeit, des absolut leeren Raums usw. – zu Grunde legen, und überdies muss sie „alle der Materie *eigene* Kräfte aufgeben“ (Kant 1997 [1786], S. 76), mit dem Resultat, welcher wir in Bezug auf die Kantische Kritik an Newton schon erwähnt haben. Nur die metaphysisch-dynamische Erklärungsart der Materie, in der von Kräften und Ursachen²⁴⁷ die Rede sein kann, lässt laut Kant „bestimmte Gesetze, folglich wahren Vernunftzusammenhang der Erklärungen, hoffen“²⁴⁸.

Mit der Dynamik haben wir den Bereich der konstruierbaren Begriffe schon verlassen²⁴⁹, und auch die Gesetze der Mechanik, so wie Kant sie im 3. Hauptstück der *Anfangsgründe*

²⁴⁷ In der Dynamik kommt die Materie als Ursache vor, indem sie aus ursprünglich-bewegenden Kräften (oder Grundkräften) besteht (vgl. den Beweis des Lehrsatzes 1 und die Erklärung 2).

²⁴⁸ Kant (1997 [1786]), S. 90. Vgl. auch Kant (1997 [1786], S. 88), wo Kant behauptet, dass die dynamische Erklärungsart „der Experimentalphilosophie weit angemessener und beförderlicher ist, indem sie geradezu darauf leitet, die der Materie eigenen bewegenden Kräfte und deren Gesetze auszufinden, die Freiheit dagegen einschränkt, leere Zwischenräume und Grundkörperchen von bestimmten Gestalten anzunehmen, die sich beide durch kein Experiment bestimmen und ausfindig machen lassen“.

²⁴⁹ Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 75-76. Darüber kommentiert Brittan (1978, S. 138), wie folgt: “Since the concept of matter, on Kant’s analysis of it, essentially contains attractive and repulsive forces, the construction of the concept eventually involves the construction of these forces. But since according to Kant our knowledge of these forces is inevitably *a posteriori*, they cannot be constructed. Thus, the task Kant sets himself in the MFNS [= *Anfangsgründe*], to construct the concept of matter, ends in half-admitted failure”. Hier scheint mir wieder eher die Annahme von Brittain problematisch zu sein, laut der “according to Kant our knowledge of these forces is inevitably *a posteriori*”: auch wenn man den Begriff von “Kraft” nicht mathematisch konstruieren kann, gibt es noch eine Art Erkenntnis, die Kant als *a priori* betrachtet, und zwar die metaphysische. Die besondere Metaphysik der Körperlehre definiert also (nicht mathematisch, aber trotzdem *a priori*) den Begriff der Kraft,

darstellt, werden nicht in mathematischer Form formuliert und nicht mathematisch bewiesen. Es zeichnet sich hier eine ziemlich paradoxe Lage ab: einerseits ist eine rein mathematisch-geometrische Bewegungslehre als Körperlehre unzureichend, und sie soll durch metaphysische Begriffe wie Kraft, Ursache usw. ergänzt werden. Andererseits verliert man, in dem man solche metaphysische Begriffe einführt, die mathematische Konstruierbarkeit, welche die objektive Realität der Begriffe garantieren hätte können²⁵⁰. Kant möchte doch die leeren Begriffe einer „erdichteten“ Metaphysik vermeiden, also muss er garantieren, dass seine Begriffe eine objektive Realität haben, d.h. dass sie in einer korrespondierenden Anschauung dargestellt werden können. Wenn sie nicht *a priori* in der reinen Anschauung konstruierbar sind, dann kann ihre objektive Realität nur *a posteriori* in einer empirischen Anschauung gesichert werden: Begriffe wie der der Materie oder der Bewegung werden von Kant, wie schon erwähnt, aus diesem Grunde „empirisch“ genannt. Dass die Begriffe, die in den Prinzipien der Naturwissenschaft vorkommen, tatsächlich „referieren“, können wir nicht *a priori* wissen, sondern nur aus der Erfahrung. Doch schließt das laut Kant die Möglichkeit nicht aus, solche empirische Begriffe durch (metaphysische, nicht mathematische) Erklärungen und Lehrsätze *a priori* zu bestimmen: gerade dies ist die Aufgabe der besonderen Metaphysik der körperlichen Natur²⁵¹.

Unter den metaphysischen Lehrsätzen, die *a priori* gelten, sind nun auch die Gesetze der Mechanik zu rechnen. Kant formuliert und „beweist“ sie in seiner Mechanik als „Lehrsätze“ 2 bis 4, nachdem er die Erklärung der Materie als „das Bewegliche, so fern es, als ein solches, bewegende Kraft hat“ diesem Hauptstück zu Grunde gelegt hat, und wichtige mechanische Begriffe (Masse, Impuls²⁵²) eingeführt hat:

Lehrsatz 2 bzw. erstes Gesetz der Mechanik: „Bei allen Veränderungen der körperlichen Natur bleibt die Quantität der Materie im Ganzen dieselbe, unvermehrt und unvermindert“.

während die allgemeine Metaphysik führt die Gesetze, in denen die Kräfte vorkommen, auf *a priori* gültig Erkenntnismodi des menschlichen Verstandes zurück, wie wir sehen werden. Das einzige, was von den Kräften nur *a posteriori* erkannt werden kann, ist m.E. bei Kant ihr Dasein, das nur durch eine empirische Wahrnehmung festgestellt werden kann.

²⁵⁰ Aus diesem Grund warnt z.B. Kant in Bezug auf seine Grundkräfte der Materie, dass wir uns „doch nicht anmaßen [können], eine derselben als wirklich anzunehmen“ (Kant 1997 [1786], S. 76).

²⁵¹ Diese beschäftigt sich nämlich laut Kant „mit einer besonderen Natur dieser oder jener Art Dinge, von denen ein empirischer Begriff gegeben ist, doch so, dass außer dem, was in diesem Begriff liegt, kein anderes empirisches Prinzip zur Erkenntnis derselben gebraucht wird (z.B. sie legt den empirischen Begriff einer Materie [...] zum Grunde, und sucht den Umfang der Erkenntnis, deren die Vernunft über [diesen Gegenstand] *a priori* fähig ist“ (Kant 1997 [1786], S. 6).

²⁵² Kant selbst spricht freilich nicht von „Impuls“: vgl. Pollok (1997), S. LIII.

Lehrsatz 3 bzw. zweites Gesetz der Mechanik: „Alle Veränderung der Materie hat eine äußere Ursache. (Ein jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder Bewegung, in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, wenn er nicht durch eine äußere Ursache genötigt wird, diesen Zustand zu verlassen)“

Lehrsatz 4 bzw. drittes mechanisches Gesetz: „In aller Mitteilung der Bewegung sind Wirkung und Gegenwirkung einander jederzeit gleich“. ²⁵³

Diese Gesetze gelten laut Kant – wie schon erwähnt – *a priori*; sie sind, genau wie dem klassischen Wissenschaftsverständnis nach, allgemeingültig und notwendig. Doch sollte aus dem vorher Gesagten klar sein, dass diese Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit aus der Kantischen Perspektive nicht mehr bloß auf die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Mathematik zurückgeführt werden können. Die Gesetze der Mechanik enthalten Begriffe, die mathematisch nicht konstruierbar sind, und die überdies eine wichtige empirische Komponente haben. Sie sind also rein mathematisch offensichtlich nicht beweisbar, und empirisch natürlich auch nicht – denn Erfahrung kann keine Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit garantieren.

Also wendet Kant seine eigene Beweisstrategie an: er versucht – wie schon erwähnt – die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Naturgesetze in der Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Denkstrukturen des Erkenntnissubjekts zu verankern, und insbesondere stellt er die mechanischen Gesetze als „Konkretisierungen“ der in seiner KrV besprochenen „Analogien der Erfahrung“ dar (somit sind wir wieder an der Schnittstelle zwischen besonderer und allgemeiner Metaphysik gelandet, d.h. an der Schnittstelle zwischen *Anfangsgründen* und *KrV*).

Die Analogien der Erfahrung sind dem menschlichen Erkenntnisvermögen eigentümliche Regeln, nach denen aus den Wahrnehmungen die Einheit der Erfahrung – und somit Erkenntnis - entspringen soll; jede Regel entspricht der Anwendung einer Kategorie auf Erfahrung²⁵⁴. Jedes mechanisches Gesetz wird von Kant auf eine Analogie der Erfahrung zurückgeführt:

1) Gesetz der Selbstständigkeit ²⁵⁵ : „Bei allen Veränderungen der körperlichen Natur bleibt die Quantität der Materie im Ganzen dieselbe,	Erste Analogie der Erfahrung: Grundsatz der Beharrlichkeit <i>der Substanz</i> „Bei allem Wechsel der Erscheinungen beharret die Substanz, und das Quantum derselben wird in der

²⁵³ Vgl. Kant (1997 [1786]), S. 97-104. Das zweite und das dritte Gesetz entsprechen dem ersten und dem zweiten Gesetz der newtonschen Mechanik.

²⁵⁴ Vgl. Kant (1998 [1787²], S. 274-306), und hier weiter unten.

²⁵⁵ Gesetz der Selbstständigkeit, Gesetz der Trägheit und Gesetz der Gegenwirkung der Materie sind die Namen, die Kant selbst seinen drei Lehrsätzen bzw. Gesetzen der Mechanik gibt (Kant 1997 [1786], S. 109).

unvermehrt und unvermindert“.	<i>Natur weder vermehrt noch vermindert</i> ²⁵⁶ (Kategorie der Substanz)
2) Gesetz der Trägheit: „Alle Veränderung der Materie hat eine äußere Ursache. (Ein jeder Körper beharrt in seinem Zustande der Ruhe oder Bewegung, in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, wenn er nicht durch eine äußere Ursache genötigt wird, diesen Zustand zu verlassen)“	Zweite Analogie der Erfahrung: Grundsatz der <i>Zeitfolge nach dem Gesetze der Kausalität</i> „Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetze der Kausalität“ ²⁵⁷ (Kategorie der Kausalität)
3) Gesetz der Gegenwirkung der Materie „In aller Mitteilung der Bewegung sind Wirkung und Gegenwirkung einander jederzeit gleich“.	Dritte Analogie der Erfahrung: Grundsatz des <i>Zugleichseins, nach dem Gesetze der Wechselwirkung, oder Gemeinschaft</i> „Alle Substanzen, so fern sie <i>im Raume als</i> zugleich <i>wahrgenommen werden können</i> , sind in durchgängiger Wechselwirkung“ ²⁵⁸ (Kategorie der Wechselwirkung)

Was bedeutet nun genauer und in Bezug auf unsere Frage nach der *Begründbarkeit* der Naturgesetze, dass die Gesetze der Mechanik „Konkretisierungen“ der Analogien der Erfahrung sind? Die Gesetze werden von Kant in der „Mechanik“ der *Anfangsgründe* als „Lehrsätze“ formuliert, denen ein „Beweis“ folgt, und die jeweilige Analogie der Erfahrung erscheint als zentrale Annahme in diesem Beweis²⁵⁹. Das heißt, das jeweilige Gesetz gilt, *weil* die allgemeinere Analogie gilt - wobei die erste als ein Sonderfall der letzten vorkommt: in Bezug auf die Materie gilt, was in Bezug auf mögliche Erfahrung im Allgemeinen gilt. Bevor wir aber die Argumentationslinie weiter verfolgen und auf die Frage eingehen, wie und warum die Analogien der Erfahrung für jede mögliche Erfahrung (und *vor* jeder möglichen Erfahrung) gelten sollen - was nicht mehr in den *Anfangsgründen*, sondern in der *KrV* von

²⁵⁶ Kant (1998 [1787²]), S. 280.

²⁵⁷ Kant (1998 [1787²]), S. 286.

²⁵⁸ Kant (1998 [1787²]), S. 306.

²⁵⁹ Im Fall der ersten zwei Gesetze kann die jeweilige Analogie der Erfahrung sogar als hinreichende Annahme betrachtet werden, d.h. das Gesetz spezifiziert nur, dass in Bezug auf die Materie dasselbe gilt, was die Analogie der Erfahrung in Bezug auf die Erfahrung im Allgemeinen besagt. Es gelte hier als Beispiel der Beweis vom ersten Gesetz: „Aus der allgemeinen Metaphysik wird der Satz zum Grunde gelegt, dass bei allen Veränderungen der Natur keine Substanz weder entstehe noch vergehe, und hier wird nur dargetan, was in der Materie Substanz sei.“ (Kant 1997 [1786], S. 97). Im Fall des dritten Gesetzes ist die Beweisstruktur komplizierter: die entsprechende Analogie der Erfahrung wird zwar auch Zweck des Beweises „aus der allgemeinen Metaphysik“ entlehnt, aber Kant geht noch darüber hinaus zu einer Konstruktion der „Mitteilung der Bewegung“, um zu zeigen, dass diese nicht aus Erfahrung gewonnen werden kann (wie von Newton behauptet), sondern a priori aus dem Gesetz der Gegenwirkung abgeleitet werden kann (Kant 1997 [1786], S. 101-108).

Kant geklärt wird – wollen wir die Hauptergebnisse der bisherigen Untersuchung so zusammenfassen:

- Die Mathematik reicht aus Kantischer Perspektive zu einer Körperlehre nicht aus: das heißt, Naturgesetze können nicht bloß deswegen allgemeingültig und notwendig gelten, weil sie mathematisch formuliert werden (wie das klassische Wissenschaftsverständnis angenommen hatte).
- Zu ihrer Formulierung sind nämlich auch Begriffe notwendig, die erst eine Metaphysik der körperlichen Natur *a priori* liefern und erklären kann, und die nicht vollständig mathematisch konstruierbar sind. Ob diese Begriffe (Materie, Bewegung, Kraft usw.) referieren, kann man nur aus Erfahrung (*a posteriori*) erkennen.
- Trotzdem sind Lehrsätze (und darunter die Gesetze der Mechanik) *a priori* (metaphysisch) formulierbar, die diese Begriffe enthalten und erläutern, und deren Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit auf der Natur des menschlichen Erkenntnisvermögens beruhen (auf eine Weise, die wir noch untersuchen müssen).

Eine Erkenntnis, die objektive Realität haben soll, muss sich laut Kant auf einen Gegenstand beziehen, der uns in einer Anschauung gegeben wird. Was uns in der *reinen* Anschauung gegeben ist (das mathematisch-geometrisch Konstruierbare) hätte sehr wohl objektive Realität dank des Bezugs auf mögliche Erfahrung; erstens aber betrifft dieser Bezug nur die *Form* der Erfahrung, und nicht das *Dasein*, und, zweitens, ist das mathematisch-geometrisch Konstruierbare zur Behauptung der Naturgesetze unzureichend. Was uns hingegen in der *empirischen* Anschauung gegeben wird, kann keine allgemeingültige und notwendige Erkenntnis begründen. Also muss die Gültigkeit der Naturgesetze auf etwas Anderem beruhen, und zwar beruht sie laut Kant auf jenen „Grundsätzen möglicher Erfahrung“ (unter denen die Analogien der Erfahrung sind), die Kant in seiner *KrV* transzendental deduziert:

Die Grundsätze möglicher Erfahrung sind nun zugleich allgemeine Gesetze der Natur, welche *a priori* erkannt werden können [und dadurch] ein Natursystem ausmachen, welches vor aller empirischen Naturerkenntnis vorhergeht, diese zuerst möglich macht und daher die eigentliche allgemeine und reine Naturwissenschaft genannt werden kann.²⁶⁰

²⁶⁰ Kant (2001 [1783]), §23.

b. Die Verankerung der Gesetze der Mechanik in den menschlichen Erkenntnismodi, oder: wie Kant die Allgemeingültigkeit der Mechanik um den Preis eines Verlustes ihrer Realitätsbezogenheit begründet

Die Gesetze der Mechanik sind also aus Kantischer Perspektive Sonderfälle oder Konkretisierungen von „allgemeinen Gesetzen der Natur“, die „vor aller empirischen Naturerkenntnis vorhergehen“ und die „diese zuerst möglich machen“. Die *allgemeinen* Gesetze der Natur sind zugleich die allgemeinen Gesetze des menschlichen Erkenntnisvermögens: dieses erkennt nämlich in der Natur bloß jene Gesetzmäßigkeit, die es selbst in die Natur hineingelegt hat²⁶¹. Das menschliche Erkenntnisvermögen untersucht Kant bekannterweise in seiner *Kritik der reinen Vernunft* (1781¹; 1787²), die in Bezug auf die Determinismusfrage oft im Sinne einer Behauptung des wissenschaftlichen Determinismus gedeutet wird. Diese Deutung stützt sich auf zwei Gedanken Kants, die zweifellos in seiner *KrV* zu finden sind – und zwar:

(1) dass die Kategorie der Kausalität eine Möglichkeitsbedingung der *Gegenstände* der Erfahrung überhaupt ist - d.h. eine Möglichkeitsbedingung der Erfahrung selbst, und somit der Erkenntnis²⁶²;

(2) dass der „Satz vom zureichenden Grunde“ bzw. der „Grundsatz des Kausalverhältnisses“ (die zweite Analogie der Erfahrung) eine Möglichkeitsbedingung der objektiven Erkennbarkeit jeglichen *Geschehens* ist – d.h. eine Möglichkeitsbedingung der (Erkennbarkeit der) Phänomene²⁶³.

Wir haben schon erwähnt, dass der Begriff des wissenschaftlichen Determinismus zur Zeit Kants noch nicht vorhanden war (vgl. oben, Kap. 2), und wir haben auch gesehen, wie die Kantische Auffassung der Mathematik in Bezug auf die Prinzipien der Naturwissenschaft - und somit auch die Kantische Auffassung dieser Prinzipien selbst - sich in wichtigen Hinsichten von jenem klassischen Wissenschaftsverständnis unterscheidet, das den impliziten wissenschaftlichen Determinismus hervorbrachte. Es lohnt sich nun, auch die erwähnten Punkte (1) und (2) weiter zu verfolgen, um zu zeigen, dass die Kantische Art von „Determinismus“ sich von dem klassischen impliziten wissenschaftlichen Determinismus sehr stark unterscheidet, und v.a. deswegen, weil seine Art der Begründung der Gültigkeit

²⁶¹ „Und so hat sogar Physik die so vorteilhafte Revolution ihrer Denkart lediglich dem Einfalle zu verdanken, demjenigen, was die Vernunft selbst in die Natur hineinlegt, gemäß, dasjenige in ihr zu suchen“ (Kant 1998 [1787²], S. 19).

²⁶² Vgl. die „Analytik der Begriffe“ in der *KrV* (Kant 1998 [1787²], S. 143-205).

²⁶³ Vgl. die „Analytik der Grundsätze“ in der *KrV* (Kant 1998 [1787²], S. 234-335), und insb. die „zweite Analogie der Erfahrung“ (Kant 1998 [1787²], S. 286-306).

wissenschaftlicher Erkenntnis gegenüber dem klassischen Wissenschaftsverständnis eine radikale Erneuerung bedeutet.

Ad (1). In der Kantischen Erkenntnistheorie erlauben die Verstandesbegriffe oder Kategorien – unter ihnen die der Kausalität – die Synthesis der Wahrnehmungen, indem sie den objektiven Bezug der Erfahrung auf einen möglichen Gegenstand ermöglichen: „alle Synthesis, wodurch selbst Wahrnehmung möglich ist, [steht] unter den Kategorien, und, da Erfahrung Erkenntnis durch verknüpfte Wahrnehmungen ist, so sind die Kategorien Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung, und gelten also a priori auch von allen Gegenständen der Erfahrung“²⁶⁴. In der „Analytik der Begriffe“²⁶⁵ abstrahiert Kant die Kategorien aus den Urteilsformen, wobei die Kategorie der Ursache aus der Form des hypothetischen Urteils („wenn ... dann“) gewonnen wird. Aus diesem Verhältnis zu den Urteilen und aus weiteren Erläuterungen Kants wird klar, dass Kategorien wie die der Kausalität *Funktionen* sind, wobei Kant unter „Funktion“ „die Einheit der Handlung, verschiedene Vorstellungen unter einer gemeinschaftlichen zu ordnen“ meint²⁶⁶. Mehrmals spricht Kant von den Kategorien (d.h. von den Verstandesbegriffen) auch als *Regeln*, und von dem Verstand als „Vermögen der Regeln“²⁶⁷. Während das Kausalverhältnis im klassischen Wissenschaftsverständnis ontologisch aufgefasst wurde (wobei Wissenschaft Kausalverhältnisse entdecken hätte sollen), ist die Kantische Auffassung der Kausalität epistemisch: Kausalität ist laut Kant nicht ein Objekt, *das* man erkennt, sondern eine „Handlung“ des Denkens, *durch das* man überhaupt etwas erfahren und erkennen kann. Der Kausalitätsbegriff erlaubt nämlich, verschiedene Vorstellungen *objektiv* - d.h. mit Bezug auf ein Objekt bzw. auf einen Gegenstand möglicher Erfahrung - miteinander zu verknüpfen²⁶⁸.

Dass die Kategorie der Kausalität – genauso wie die anderen – *nicht* aus Erfahrung abstrahiert werden kann und soll²⁶⁹, ist laut Kant auch infolge der Humeschen Kritik an dem

²⁶⁴ Kant (1998 [1787²]), S. 200. Die Kategorien können den objektiven Bezug der Erfahrung auf einen möglichen Gegenstand garantieren, weil sie die Begriffe von einem Gegenstand überhaupt sind (Vgl. Kant 1998 [1787²], S. 175). Besser und ausführlicher erläutert wird dieser Gedanke in der Analytik nach der Ausgabe A der *Kritik*: Vgl. Kant (1998 [1781¹]), S. 213-214.

²⁶⁵ Kant (1998 [1787²]), S.143-205.

²⁶⁶ Kant (1998 [1787²]), S. 145.

²⁶⁷ Vgl. z.B. Kant (1998 [1787²]), S. 410.

²⁶⁸ „Wenn eine Erkenntnis objektive Realität haben, d.i. sich auf einen Gegenstand beziehen, und in demselben Bedeutung und Sinn haben soll, so muß der Gegenstand auf irgend eine Art gegeben werden können. [...] Einen Gegenstand geben [...] ist nichts anders, als dessen Vorstellung auf Erfahrung (es sei wirkliche oder doch mögliche) beziehen. [...] Die *Möglichkeit der Erfahrung* ist also das, was allen unseren Erkenntnissen a priori objektive Realität gibt. Nun beruht Erfahrung auf der synthetischen Einheit der Erscheinungen, d.i. auf einer Synthesis nach Begriffen vom Gegenstände der Erscheinungen überhaupt, ohne welche sie nicht einmal Erkenntnis, sondern eine Rhapsodie von Wahrnehmungen sein würde [...]“ (Kant 1998 [1787²], S. 254-255).

²⁶⁹ Die Kategorien brauchen stattdessen eine transzendente Deduktion: diese Deduktion liefert Kant eben gerade indem er zeigt, dass die Kategorien eine Möglichkeitsbedingung der Erkenntnis sind. Vgl. in der

Kausalverhältnis klar. Wenn die Kausalität bloß aus Erfahrung abstrahiert werden würde, könnte es keine *allgemeingültige und notwendige* Kausalverhältnisse geben: keine notwendige, weil Erfahrung uns nur lehren kann, dass etwas so und so beschaffen ist, nicht aber, dass es nicht anders sein könnte. Keine allgemeingültige, weil Erfahrung nur induktive Schlüsse erlaubt, die uns nicht garantieren können, dass die bisher beobachtete Regel in der Zukunft keine Ausnahme findet²⁷⁰.

Ähnlich wie im klassischen Wissenschaftsverständnis entzieht also Kant die Gültigkeit des Kausalverhältnisses einer Überprüfung oder einer Rechtfertigung durch Erfahrung. Kant teilt aber nicht den rationalistischen Realitätsbegriff des klassischen Wissenschaftsverständnisses (vgl. oben, Kap. 2), denn das Kausalverhältnis ist nach seiner Auffassung kein realer Erkenntnisgegenstand, den der Geist erkennt, sondern eine formale Funktion, die der Verstand anwendet, um sich auf einen Gegenstand überhaupt zu beziehen.

Ad (2). Nachdem Kant in der „Analytik der Begriffe“ die Kategorien (als Funktionen) eingeführt und transzendental deduziert hat, beschäftigt er sich in der „Analytik der Grundsätze“ mit ihrer tatsächlichen Anwendung²⁷¹. Die Kategorien an sich sind nämlich nur logische (rein formale) oder höchstens transzendente (sie beziehen sich auf eine *mögliche* Erfahrung) Begriffe, die leer bleiben, solange sie nicht auf eine bestimmte Erfahrung angewendet werden²⁷². Nun sind die „Grundsätze des reinen Verstandes“ Urteile, die der Verstand dadurch a priori zustande bringt, dass er die Kategorien auf Erfahrung bezieht. Dass wir uns nun im Bereich der Erfahrung befinden, signalisiert die Berücksichtigung der zeitlichen Dimension: die „Analytik der Grundsätze“ öffnet Kant mit der Darstellung seines Konzepts des Schematismus. Dementsprechend wird die Anwendung der Verstandesbegriffe (Kategorien) auf sinnliche Erfahrung mittels einer transzendentalen Zeitbestimmung bzw. mittels ihrer „Schema“ möglich²⁷³.

Was die Kategorie der Kausalität betrifft, entspringt aus deren Schema²⁷⁴ die schon erwähnte zweite Analogie der Erfahrung, d.h. der „Grundsatz der Zeitfolge nach dem Gesetze der

„Analytik der Begriffe“ das zweite Hauptstück: „Von der Deduktion der reinen Verstandesbegriffe“, und – was insb. Kausalität betrifft – die S. 169-174.

²⁷⁰ Vgl. Kant (1998 [1787²]) S. 46-47.

²⁷¹ Vgl. Kant (1998 [1787²]), S. 234-336.

²⁷² Vgl. Kant (1998 [1787²]), in der „Analytik der Begriffe“ § 22 und in der „Analytik der Grundsätze“ insbes. S. 247.

²⁷³ Kant (1998 [1787²]), S. 240: „Daher wird eine Anwendung der Kategorie auf Erscheinungen möglich sein, vermittelt der transzendentalen Zeitbestimmung, welche als das Schema der Verstandbegriffe, die *Subsumtion* der letzteren unter die erste vermittelt“.

²⁷⁴ Kant (1998 [1787²]), S. 279.

Kausalität“²⁷⁵: „*Alle Veränderungen geschehen nach dem Gesetze der Verknüpfung der Ursache und Wirkung*“. Am Beispiel dieses Satzes, von dem das zweite Gesetz der Mechanik eine „Konkretisierung“ war, können wir jetzt sehen, wie Kant ein Gesetz der Mechanik auf einen allgemeinen Grundsatz zurückgeführt hat, der wiederum transzendental gerechtfertigt wird. Dieser Satz gilt für Kant a priori: er muss nicht durch Erfahrung bestätigt werden, sondern seine Gültigkeit ist eine Möglichkeitsbedingung dafür, dass wir überhaupt von einem *Geschehen* reden können. Das Argument von Kant – der übrigens ganz klar gesehen hat, dass die Problematik der Kausalität bzw. der Gesetzmäßigkeit und die der Zeitbestimmung miteinander zusammenhängen – kann man folgendermaßen zusammenfassen: nehmen wir an, ich habe einander folgende Wahrnehmungen. Wenn aus diesen Wahrnehmungen die Erfahrung bzw. die Erkenntnis eines Geschehens entstehen soll, müssen sie objektiv miteinander verknüpft werden: insbesondere brauche ich eine objektive Regel der Verknüpfung, die mir erlaubt, eine bloß subjektive Folge der Wahrnehmungen (die keinem objektiven Geschehen entspricht - z.B. wenn ich mir ein Haus von oben nach unten anschau) von einer objektiven Folge der Erscheinungen (die einem objektiven Geschehen entspricht – z.B. wenn ich ein Schiff sehe, das den Strom hinab treibt) zu unterscheiden. Diese Regel ist eben diejenige, die besagt, dass „die Erscheinungen in ihrer Folge, d.i. so wie sie geschehen, durch den vorigen Zustand bestimmt sind“²⁷⁶. Nur die Anwendung dieser Regel erlaubt mir, die Erscheinungen in einer *objektiven* Zeitfolge einzuordnen (die objektive Zeit bzw. die Zeit an sich ist laut Kant nichts Wahrnehmbares oder Erfahrbares, denn Zeit ist der Kantischen Ästhetik gemäß kein Gegenstand, sondern eine Anschauungsform), und eine solche objektive Zeitbestimmung ist wiederum eine Möglichkeitsbedingung der Erfahrung bzw. der Erkenntnis, *dass etwas geschieht*. Auf diese Weise kommt Kant zum Schluss, dass „der Satz vom zureichenden Grunde“ bzw. „der Grundsatz des Kausalverhältnisses“ Grund der Möglichkeit der Erfahrung ist²⁷⁷.

In Bezug auf unser Problem des Determinismus können wir also den Beitrag der transzendentalen Analytik in der *Kritik der reinen Vernunft* so zusammenfassen: Kant behauptet, erstens, dass die Kategorie der Kausalität eine Möglichkeitsbedingung der

²⁷⁵ Vgl. Kant (1998 [1787²]), „Zweite Analogie“ der Erfahrung: S. 286-306.

²⁷⁶ Kant (1998 [1787²]), S. 293.

²⁷⁷ Kant (1998 [1787²]), S. 297-99. „Daß also etwas geschieht, ist eine Wahrnehmung, die zu einer möglichen Erfahrung gehört, die dadurch wirklich wird, wenn ich die Erscheinung, ihrer Stelle nach, in der Zeit, als bestimmt, mithin als ein Objekt ansehe, welches nach einer Regel im Zusammenhange der Wahrnehmungen jederzeit gefunden werden kann. Diese Regel aber, etwas der Zeitfolge nach zu bestimmen, ist: daß in dem, was vorhergeht, die Bedingung anzutreffen sei, unter welcher die Begebenheit jederzeit (d.i. notwendiger Weise) folgt. Also ist der Satz vom zureichenden Grunde der Grund möglicher Erfahrung, nämlich der objektiven Erkenntnis der Erscheinungen, in Ansehung des Verhältnisses derselben, in Reihenfolge der Zeit“ (S. 297-298).

Erfahrung und der Erkenntnis ist, da sie eine konstitutive Rolle in Bezug auf den Begriff eines Erfahrungs- bzw. Erkenntnisgegenstandes überhaupt hat. Dabei ist Kausalität kein Inhalt (den wir etwa aus Erfahrung gewinnen könnten), sondern eine Denkform (die der Urteilsform „wenn..., dann...“ entspricht), durch die unserer Erfahrung bzw. unserer Erkenntnis Gegenstände überhaupt gegeben werden können. Zweitens entspringt laut Kant aus der Anwendung der schematisierten Kategorie der Kausalität der „Grundsatz des Kausalverhältnisses“ bzw. der „Satz vom zureichenden Grunde“, der die Erfahrung bzw. die Erkenntnis eines objektiven *Geschehens* überhaupt ermöglicht, indem er einer objektiven Zeitbestimmung zugrunde liegt²⁷⁸.

Aus den Kategorien können aber laut Kant auch Weltbegriffe (bzw. transzendente Ideen²⁷⁹) entspringen, wenn die Vernunft den jeweiligen Verstandesbegriff „von den unvermeidlichen Einschränkungen einer möglichen Erfahrung, frei mach[t], und ihn also über die Grenze des Empirischen, doch aber in Verknüpfung mit demselben zu erweitern such[t]“²⁸⁰. In der transzendentalen Dialektik also, und insbesondere am Anfang der „Antinomie der reinen Vernunft“ erklärt Kant die Entstehung des Begriffes des Weltganzen, indem er diesen Begriff als Ergebnis einer unvermeidlichen Tendenz der Vernunft auffasst: die Tendenz zur Erweiterung des Anwendungsbereiches der Kategorien bis zu einer unbedingten Totalität²⁸¹. So entsteht im Kantischen „System der kosmologischen Ideen“ aus der unberechtigten Erweiterung der Anwendung der Kategorie der Kausalität über das Empirische hinaus zum Unbedingten der dritte Widerstreit der Antinomie der reinen Vernunft²⁸². Es gibt zwei Weisen, in denen die Vernunft zum absoluten Unbedingten strebt²⁸³, und sie beide führen zu gegensätzlichen und inkompatiblen Thesen. Es sei eine Reihe von Phänomenen gegeben²⁸⁴.

²⁷⁸ Es sei hier nebenbei gemerkt, dass, während die Kategorie der Kausalität in Bezug auf einen möglichen Gegenstand der Erfahrung eine konstitutive Rolle hat, hat der Satz des Kausalverhältnisses bei der Anwendung des Schemas der Kausalität eine regulative Rolle, denn die Analogien der Erfahrungen sind dynamische, und nicht mathematische Grundsätze (vgl. Kant 1998 [1787²], S. 276-277).

²⁷⁹ „Ich nenne alle transzendente Ideen, so fern sie die absolute Totalität in der Synthesis der Erscheinungen betreffen, Weltbegriffe“ (Kant 1998 [1787²], S. 514).

²⁸⁰ Kant (1998 [1787²]), S. 514-515.

²⁸¹ Kant (1998 [1787²]), S. 514-515.

²⁸² Kant (1998 [1787²]), S. 548ff.

²⁸³ Das wird von Kant in einem Absatz erklärt, der der Darstellung der Widerstreite der Vernunft vorausgeht, und der den Titel trägt: „Die absolute Vollständigkeit der Zusammensetzung des gegebenen Ganzen aller Erscheinungen“: „Dieses Unbedingte kann man sich nun gedenken, entweder als bloß in der ganzen Reihe bestehend, in der also alle Glieder ohne Ausnahme bedingt und nur das Ganze derselben schlechthin unbedingt wäre [...]; oder das absolut Unbedingte ist nur ein Teil der Reihe, dem die übrigen Glieder derselben untergeordnet sind, *der* selbst aber unter keiner anderen Bedingung steht [...]. Im zweiten Falle gibt es ein Erstes der Reihe“ (Kant 1998 [1787²], S. 521-522).

²⁸⁴ Kant präzisiert, dass nicht alle Kategorien zu transzendentalen Ideen werden können, sondern nur „diejenigen, in welchen die Synthesis eine Reihe ausmacht, und zwar der einander untergeordneten (nicht beigeordneten) Bedingungen zu einem Bedingten“ (*Ibidem*, S. 515).

Einerseits sucht die Vernunft nach dem Unbedingten im Sinne von einem Anfang der Reihe, der *qua* Anfang von keinem anderen Glied derselben bedingt ist: in Bezug auf die Kategorie der Kausalität würde es sich um eine Ursache handeln, die selbst von nichts verursacht wurde – also um die Idee der Freiheit. Andererseits kann die Vernunft die ganze Reihe der Phänomene als das Unbedingte betrachten, denn diese hätte *qua* Totalität nichts außer sich, das sie bedingen würde. Dieser zweiten Vorstellung des Unbedingten entspricht die Idee der Natur, d.h. die Idee einer Welt, in der alles nach Gesetzen geschieht, in der also keine Freiheit möglich ist²⁸⁵.

Es ist also ein deterministisches Weltbild (vgl. oben, § 1.d), das in der Kantischen Philosophie die Idee der Natur, d.h. das Objekt der Naturwissenschaften überhaupt ausmacht: so findet man ganz am Anfang der *Anfangsgründe*, wo es Kant darum geht, den Gegenstand der Naturwissenschaft festzulegen, die Idee der Natur wieder

als de[n] Inbegriff aller Dinge, so fern sie *Gegenstände unserer Sinne*, mithin auch der Erfahrung sein können, worunter also das Ganze aller Erscheinungen, d.i. die Sinnenwelt, mit Ausschließung aller nicht sinnlichen Objekte, verstanden wird²⁸⁶.

„Das absolute Ganze aller Erscheinungen“ – behauptet Kant aber in der Dialektik der *KrV* – „ist *nur eine Idee*, denn, da wir dergleichen niemals im Bilde entwerfen können, so bleibt es ein *Problem* ohne alle Auflösung“ (Kant 1998 [1787²], S. 432). Der Gegenstand der Naturwissenschaft ist also aus Kantischer Perspektive ein *Problem* – was man im zweifachen Sinne interpretieren kann. Erstens zeigen die Ideen laut Kant eine „*Aufgabe*, um die Einheit des Verstandes, wo möglich, bis zum Unbedingten fortzusetzen“²⁸⁷. Die Ideen sind in diesem Sinne ein fruchtbares „Problem“, denn sie „können [...] doch im Grunde und unbemerkt dem Verstande zum Kanon seines ausgebreiteten und einhelligen Gebrauchs dienen, dadurch er [...] in [seiner] Erkenntnis besser und weiter geleitet wird“ (Kant 1998 [1787²], S. 433). Die Natur – im Sinne eines deterministischen Weltbildes aufgefasst – hat also für die Naturwissenschaft, deren Gegenstand sie ausmacht, eine *heuristische* Funktion.

Andererseits aber, was den anderen Sinn von „Problem“ betrifft, betrachtet Kant bekannterweise in seiner transzendentalen Dialektik die Ideen als „problematische Begriffe“²⁸⁸, zu denen die Vernunft unwiderstehlich strebt, die aber nicht nur keine

²⁸⁵ Über Natur- und Weltbegriff vgl. Kant (1998 [1787²]), S. 522-524.

²⁸⁶ Kant 1997 [1786], S. 3.

²⁸⁷ Kant (1998 [1787²]), S. 429; meine Hervorhebung.

²⁸⁸ Kant (1998 [1787²]), S. 441.

Kenntnisse sind, sondern überdies die Vernunft in Widersprüche verwickeln. Man kann also Kant nicht ohne weiteres ein deterministisches Weltbild zuschreiben: vielmehr weist seine kritische Philosophie darauf hin, dass Begriffe wie „Welt“ oder „Natur“, die vom wissenschaftlichen Determinismus als Weltbild oder als Weltanschauung vorausgesetzt werden, eben „problematische Begriffe“ sind, die unlösbare Probleme generieren. So bleibt der erwähnte Widerstreit zwischen Natur und Freiheit als Widerstreit ungelöst²⁸⁹, und wenn Kant einerseits die Natur (als notwendige und allgemeingültige Gesetzmäßigkeit der *Erscheinungen*) der Naturwissenschaft zugrunde legt, beruft er sich andererseits auf die Idealität des Kausalverhältnisses (das eben nur Erscheinungen, und nicht die Dinge an sich betrifft) um jene Freiheit wenigstens denkbar zu machen, die er „zur Moral braucht“²⁹⁰.

Neben dem gerade erläuterten dritten Widerstreit der Antinomie der reinen Vernunft, der eine unmittelbare Darstellung der Determinismusfrage enthält, verweisen interessanterweise auch die anderen Widerstreite der Vernunft auf Probleme, die in engen Zusammenhang mit dem wissenschaftlichen Determinismus gebracht werden können, und auf die ich in meiner systematischen Darstellung der Determinismusfrage (vgl. oben, Kap. 1) schon hingewiesen habe. Wie schon erwähnt, setzt nämlich der wissenschaftliche Determinismus die Vorstellung eines geschlossenen Systems voraus, das man als vollständige Reihe von Phänomenen betrachten kann (er setzt also die Vorstellung eines Unbedingten vor). In seiner Dialektik weist Kant darauf hin, wie eine solche Vorstellung zu unlösbaren Schwierigkeiten führt – und nicht nur in der schon erwähnten Hinsicht der Kausalität. Sie führt zu Schwierigkeiten in Bezug auf die Auffassung von Raum und Zeit²⁹¹; sie führt zu Schwierigkeiten in Bezug auf die Unentscheidbarkeit zwischen einer diskreten und einer kontinuierlichen Darstellung der Naturphänomene²⁹²; schließlich führt sie zu Schwierigkeiten im Bezug auf die Auffassung des Zufälligen²⁹³. Das ganze „System der kosmologischen Ideen“ spricht also dagegen, dass man Kant für einen Vertreter des wissenschaftlichen Determinismus als Weltbild hält. Noch

²⁸⁹ Vgl. die Kantische Erklärung seiner „skeptischen Methode“ (die kein Skeptizismus ist) in: Kant (1998 [1787²]), S. 526.

²⁹⁰ Diese ‚Rettung‘ der Freiheit zwecks der Moral war offensichtlich von fundamentaler Bedeutung für Kant, denn er stellt sie als wesentlicher Vorteil seiner kritischen Philosophie gleich in der „Vorrede“ zur 2. Auflage der *KrV* (Kant 1998 [1787²], S. 28-30).

²⁹¹ Siehe den ersten Widerstreit der Antinomie der Vernunft: Kant (1998 [1787²]), S. 530-537. Auf die „geheimnisvolle“ zeitliche Dimension, die vom wissenschaftlichen Determinismus impliziert wird, habe ich oben in den §§ 1.a. und 1.b. hingewiesen, in dem ich auch die Formulierungen (WD²) und (WD⁶) eingeführt habe, zwischen denen der wissenschaftliche Determinismus zu schwanken scheint.

²⁹² Siehe den zweiten Widerstreit der Antinomie der Vernunft: Kant (1998 [1787²]), S. 538-548. Wie schon im § 2.c erwähnt, ist Israel (1991) ein guter Ausgangspunkt, um den Zusammenhang zwischen dem wissenschaftlichen Determinismus und dem mathematisch-physikalischen Problem des Kontinuums zu untersuchen.

²⁹³ Siehe den vierten Widerstreit der Antinomie der Vernunft: Kant (1998 [1787²]), S. 556-564.

weniger kann er für einen Vertreter des wissenschaftlichen Determinismus als Weltanschauung gehalten werden, denn seine anti-realistische Auffassung der Kausalität stand – wie gerade erwähnt - im Zusammenhang mit dem Versuch, der menschlichen Freiheit einen Freiraum zu lassen.

Zusammenfassend, wird der klassische (implizite) wissenschaftliche Determinismus in der Kantischen *Kritik der reinen Vernunft* sowohl in Bezug auf seine Breite, als auch in Bezug auf seine Tiefe *geschwächt*:

- (Breite) Während der klassische wissenschaftliche Determinismus sich wenigstens potentiell auf die ganze Welt bezogen hatte (vgl. oben, Kap. 2, Schluss), wird der Weltbegriff selbst als Versuch, eine Totalität aufzufassen, im Rahmen der Kantischen Dialektik für eine „natürliche und unvermeidliche *Illusion*“ (Kant 1998 [1787²], S. 408) gehalten. Daraus folgt u.a., dass das deterministische Weltbild, das im Kantischen Begriff der „Natur“ steckt, anhand der Dialektik nicht mehr Berechtigung als der gegensätzliche Begriff der Freiheit hat.

- (Tiefe) Kausalität, Satz vom zureichenden Grunde und deterministisches Weltbild sind Begriffe, die im Rahmen der kantischen Philosophie ‚operationalisiert‘ worden sind: sie entsprechen keinem Erkenntnisobjekt, sondern sind Bezeichnungen für Operationen, die der Verstand und die Vernunft jedes menschlichen Erkenntnissubjekts anhand des empirischen Materials, das in seiner Erfahrung jeweils gegeben wird, durchführt. Anders als der klassische wissenschaftliche Determinismus bezieht sich also der Kantische Determinismus *nicht* auf die Welt an sich: das Kausalverhältnis gilt *a priori* als eine Form jener Strukturierung des empirischen Materials, die das (bzw. jedes menschliche) Erkenntnissubjekt bei jeder Erfahrung notwendigerweise durchführt - es ist also eine Ordnungsform bzw. eine Denkstruktur des Erkenntnissubjekts:

Denn Gesetze [der Erscheinungen in der Natur] existieren eben so wenig in den Erscheinungen, sondern nur *relativ auf das Subjekt*, dem die Erscheinungen inhärieren, so fern es Verstand hat, als Erscheinungen nicht an sich existieren, sondern nur relativ auf dasselbe Wesen, sofern es Sinne hat²⁹⁴.

Man kann wohl behaupten, dass die Kantsche Auffassung der Gesetzmäßigkeit, so wie sie aus den *Anfangsgründen* und der *KrV* hervorgeht, *relativierende* Züge hat: die (besonderen) Gesetze der Mechanik, sowie die „allgemeinen Gesetze der Natur“ (die Grundsätze möglicher Erfahrung), gelten nur unter gewissen Bedingungen, und zwar:

²⁹⁴ Kant (1998 [1787²]), S.202; meine Hervorhebung.

- a. dass sie Erkenntnisse eines menschlichen Erkenntnissubjekts sind: Kant schließt nicht aus, dass die Welt anderen Lebewesen anders erscheinen könnte (d.h. sie könnte ihnen auch als zufällig und zusammenhanglos erscheinen). Der Mensch hat keinen privilegierten Zugang zu der Welt an sich²⁹⁵.
- b. dass wir die Welt als Natur untersuchen wollen: wenn wir aber den Menschen als ein moralisches Subjekt in Betracht ziehen wollen, müssen wir davon ausgehen, dass die Kausalkette der Naturphänomene durch Freiheit gebrochen werden kann (wie schon erwähnt, zeigt die Dialektik, dass beide Betrachtungsweisen möglich sind)
- c. was insbesondere die Formulierung der Gesetze der Mechanik betrifft, dass wir Begriffe *voraussetzen*, die nur die Metaphysik *a priori* liefern und erklären kann: die Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Prinzipien der Naturwissenschaft kann weder vollständig auf der Mathematik (nicht alle Begriffe der Naturwissenschaft können konstruiert werden) noch auf Erfahrung (sie würden ihre Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit verlieren) beruhen, sondern hängt von außermathematischen und außerempirischen Voraussetzungen ab.

c. Vom Anwendungsproblem zu einer nicht-realistischen Auffassung der Naturgesetze

Das letzte Zitat von Kant ist der Kern seiner Antwort auf eine Frage, die er erstmals völlig explizit und klar aufwarf, und zwar die Frage danach, „wie die Gesetze der Erscheinungen in der Natur mit dem Verstande und seiner Form *a priori* [...] übereinstimmen“ können (Kant 1998 [1787²] S. 202). Es handelt sich hier um das sogenannte „Anwendungsproblem“, das Einstein mehr als ein Jahrhundert später immer noch beschäftigte:

Wie ist es möglich, daß die Mathematik, die doch ein von aller Erfahrung unabhängiges Produkt des menschlichen Denkens ist, auf die Gegenstände der Wirklichkeit so vortrefflich paßt? Kann denn die menschliche Vernunft ohne Erfahrung durch bloßes Denken Eigenschaften der wirklichen Dinge ergründen?²⁹⁶

²⁹⁵ „Wir kennen nichts, als unsere Art, sie [= die Gegenstände] wahrzunehmen, die uns eigentümlich ist, die auch nicht notwendig jedem Wesen, obzwar jedem Menschen, zukommen muss. Mit dieser haben wir lediglich zu tun“ (Kant 1998 [1787²], S. 117).

²⁹⁶ Einstein (1921), S. 3. Dieser Text wird im „Manifest“ des Wiener Kreises als Bezugspunkt für die moderne Philosophie des Logischen Empirismus betrachtet (vgl. Stadler Hrsg. 2012, S. 64) und wurde von Moritz Schlick rezensiert (Schlick 2012 [1921]).

Diese Frage ist von entscheidender Bedeutung für unser Problem des Determinismus, denn im vorigen Kapitel haben wir gesehen, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus im Grunde als ein Glaube an die Unwiderlegbarkeit *und* absolute (d.h. unmittelbare, eindeutige, mit Anspruch auf Ausschließlichkeit formulierte) Realitätsbezogenheit mathematischer Beschreibungen und Berechnungen aufzufassen sei. Voraussetzungen des impliziten wissenschaftlichen Determinismus waren nämlich: erstens, dass man die mathematische (daher bestimmte und präzise) Beschreibung eines „physikalischen“ Zustandes für *die wahre* Beschreibung hält - d.h. für diejenige, die die wesentlichen Eigenschaften der Welt (bzw. dieses Zustandes der Welt) abbildet²⁹⁷. Zweitens setzte der impliziten wissenschaftlichen Determinismus voraus, dass die aus der mathematischen Beschreibung jenes Zustandes ausgehende mathematische Berechnung „folgender“ (oder „früherer“) Zustände (durch Differentialgleichungen) der Entwicklung „der wirklichen Dinge“ (wie Einstein es ausdrückt) abbildet²⁹⁸, während der fast unvermeidliche Grad an Unbestimmtheit, der in der tatsächlichen Erfahrung physikalischer Prozesse vorkommt, durch Hinweis auf Anfangs- und Randbedingungen wegerklärt werden kann.

Kant hinterfragt indirekt diese Voraussetzungen des impliziten wissenschaftlichen Determinismus, indem er die Frage nach dem Verhältnis zwischen Mathematik, Erfahrung und Realität stellt, und die Gültigkeit sowohl der Mathematik als auch der Gesetzmäßigkeit in mehreren Hinsichten *relativiert* – wie im vorigen Absatz gezeigt wurde. Mathematik und Gesetzmäßigkeit gelten mit Allgemeinheit und Notwendigkeit – aus Kantischer Sicht – nur indem sie eben *keine* Realitätsbezogenheit haben, sondern *Erscheinungen* betreffen: in diesem Sinne haben sie *Erfahrungsbezogenheit*, diese ist aber nur mit Bezug auf *menschliche* Erfahrung gemeint. Die Mathematik gilt außerdem mit Absolutheit und Notwendigkeit bloß die *Form* dieser Erfahrung betreffend: mathematisch formulierte Sätze garantieren auf keinen Fall das *Dasein* dessen, von dem sie die Form *a priori* bestimmen. Gesetzmäßigkeit gilt bloß als Funktion, als Denkform des Erkenntnissubjektes²⁹⁹ und die Vorstellung einer vollkommen

²⁹⁷ Im Kap. 1 habe ich schon mit Hinweis auf Butterfield (1998, S. 38) bemerkt, wie eine Voraussetzung des Determinismus (wenigstens in seinen „tieferen“ Auffassungen – im ebenso im Kap. 1 von mir definierten Sinn von „Tiefe“) die Annahme ist, dass deterministische Beschreibungen „the whole truth about the system“ ausdrücken. Der klassische implizite wissenschaftliche Determinismus enthält diese Annahme vor allem aufgrund des Ausschließlichkeitsanspruches der als System aufgefassten klassischen Mechanik und aufgrund der Absolutheit des raumzeitlichen Rahmens, den diese postulierte (vgl. oben, Kap. 2, § c. und d.).

²⁹⁸ Vgl. insbesondere oben, Kap. 2 § c.: „Berechnungen als Kausalverhältnisse“.

²⁹⁹ Schopenhauer (1977 [1813], §24) bringt die Implikationen der Kantischen Kausalitätsauffassung auf den Punkt, wenn er behauptet, es führte zum Missbrauch des Kausalitätsbegriffes „daß man vergißt, daß das Gesetz der Kausalität zwar eine Voraussetzung ist, die wir mit auf die Welt bringen, und welche die Anschauung der Dinge außer uns möglich macht, daß wir jedoch eben deshalb nicht berechtigt sind, einen solchen, aus der

gesetzmäßigen bzw. deterministischen Welt spielt als „bloße Idee“ fast nur noch eine heuristische Rolle, außerdem ausschließlich für die Naturwissenschaft – denn die praktische Vernunft muss laut Kant unbedingt eine unterschiedliche, und doch gleichberechtigte, Perspektive annehmen.

In diesen Hinsichten, obwohl Kant der von dem klassischen Wissenschaftsverständnis behaupteten Notwendigkeit und Allgemeingültigkeit wissenschaftlicher Erkenntnis sogar stärkere Grundlagen (v. a. durch seine transzendente Deduktion) geben wollte, bereitete seine Philosophie mit den in ihr enthaltenen Relativierungen schon den Wandel zum modernen Wissenschaftsbegriff vor:

Modern heißt eine Erkenntnis nur dann, wenn sie durch die Relativität ihres Geltungsanspruches ausgezeichnet ist. Nicht die inhaltliche Ersetzung einer ihrem Anspruch nach ausschließlich geltenden Naturauffassung durch eine andere, sondern die formale Anerkennung der Begrenztheit und Kontingenz von Geltungsbedingungen sowie der Gleichberechtigung alternativer Betrachtungsweisen ist das Signum der naturphilosophischen Moderne.³⁰⁰

Die Formulierung des Anwendungsproblems suggeriert – im Bezug auf die Determinismusfrage – eine Abkoppelung der theoretischen (und insbesondere der mathematischen) determinierenden Verhältnisse von der Realität, indem es gefragt wird, wie die ersten auf die letzte „angewendet“ werden können bzw. inwiefern und unter welchen Bedingungen die ersten sich auf die zweite beziehen. Diese Perspektive, die unsere theoretische Konstrukte und die Welt erstmals als abgekoppelt betrachtet, wird wiederum eine Relativierung des Geltungsanspruches der Theorien ermöglichen, sowie das langsame Entstehen der Idee, dass verschiedene theoretische Konstrukte gleichberechtigt über dieselbe Welt Rechenschaft geben können.

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts verbreitete sich die nun klar formulierbare Sorge um die Realitätsbezogenheit mathematischer Theorien und Gesetze interessanterweise vor allem unter deutschsprachigen Physikern (im Unterschied zu den französischen³⁰¹). Georg Simon

Vorrichtung unsers Erkenntnisvermögens entspringenden Grundsatz auch außerdem und unabhängig von Letzterem als die für sich bestehende ewige Ordnung der Welt und alles Existierenden geltend zu machen“.

³⁰⁰ Schiemann (1997), S. 3. In seinem Buch untersucht Schiemann diesen Wandel vor allem am Beispiel von Helmholtz' Mechanismus.

³⁰¹ Es sei an dieser Stelle kurz an jene Widersprüchlichkeit erinnert, die wir schon im vorigen Kapitel in Zusammenhang mit Laplace erwähnt haben (vgl. oben, § 2.a), der Laplace selbst nicht bewusst war, und die aber dem Laplace-Forscher Jörn Heinrich klar aufgefallen ist: „Einerseits ist die Mathematik das kohärenzstiftende und begründende Glied zwischen den quantitativen Wissenschaften, deren Gesetze die Natur determinieren, andererseits ist sie menschliche Kreation“ (Heinrich 2010, S. 160). Was insbesondere Laplace betrifft, merkt Heinrich, dass er einerseits an die ausnahmslose Geltung der Naturgesetze im *ontologischen* Sinne geglaubt hat,

Ohm (1789-1854) versuchte z.B. in bewusster Distanzierung von Laplace „gegebene Körperelemente“ statt nur „gedachte Raumelemente“ in Betracht zu ziehen, weil er befürchtete, dass „die physische Natur der Körper [sonst] fast ganz verloren“ gehe³⁰². Wilhelm Weber (1804-1891) fand mathematische Gesetze als Beschreibungen physikalischer Prozesse wegen ihrer Abstraktheit und Einfachheit unbefriedigend³⁰³.

1822 führte der Kantianer Jacob Friedrich Fries die in der Kantischen Philosophie im Grunde schon enthaltenen Epistemologisierung (oder Ent-ontologisierung) der Prinzipien der Mechanik so weit, dass er sie als bloß „*heuristische* Leitfäden“ der Naturforschung betrachtete³⁰⁴. Noch interessanter ist der Fall vom Frühkonventionalisten deutschen Mathematiker Carl Gustav Jacob Jacobi, der 1826 bis 1843 an der Universität Königsberg tätig war, wo Kant bis zum Jahre 1796 gewirkt hatte. Die Entwicklung seines Denkens zeigt nämlich sehr deutlich, wie die Berücksichtigung des Anwendungsproblems zu einer *konventionalistischen* Einstellung in Bezug auf die Mechanik und auf die Naturgesetze führen kann. Insbesondere seine *Vorlesungen über analytische Mechanik* (1847/48) stehen in Mittelpunkt der Reflexion von Pulte (2000, 2005), wenn er einen im 19. Jh. einzubetten und von der Entwicklung der nichteuklidischen Geometrien *unabhängigen Weg der Mechanik zum Konventionalismus* rekonstruiert³⁰⁵. Jacobi betrachtete die allgemeinsten Gesetze der Mechanik als „symbolische Formen“ oder „symbolische Ausdrücke“³⁰⁶. Er ging aber auch über die Anerkennung des rein formalen Charakters der Prinzipien der Mechanik hinaus zur Hinterfragung der Realitätsbezogenheit mathematisch formulierter Gesetze: So bemerkte er in Bezug auf die Lagrangesche Mechanik:

Die Natur wird da jedes Mal vollständig aus den Augen gerückt, und es tritt an die Stelle der Constitution der Körper [...] lediglich die bestimmte Bedingungsgleichung. Hier wird nun freilich in der analytischen Mechanik

andererseits ist „bei Laplace das unausgesprochene Kriterium der Determiniertheit die prognostische Leistungsfähigkeit der Differentialgesetze“, und, was die Mathematik betrifft, „die Tendenz [seiner] Äußerungen zur Mathematik geht dahin, dass sie trotz ihrer Unerlässlichkeit bei quantitativen Prognosen eher heuristisch als ontologisch interpretiert wird“ (vgl. Heinrich 2010, S. 149-161; Zitate aus den Seiten 156 bzw. 160),

³⁰² Ohm 1827, zit. in Stichweh (1984), S. 228.

³⁰³ Vgl. Stichweh (1984), S. 227.

³⁰⁴ Vgl. Pulte (2005), S. 279. Über Fries und sein Verhältnis zu Kant vgl. Gregory (2006) und Pulte (2006).

³⁰⁵ Vgl. vor allem Pulte (2000). Pulte stützt sich auch an die Arbeit von Giedymin (1982), der schon behauptet hatte, die Prinzipien der analytischen Mechanik könnten als Prototype der Konventionen im Sinne des Konventionalismus aufgefasst werden. Was das Verhältnis des physikalischen Konventionalismus zu dem geometrischen betrifft, argumentiert Pulte (2000) dafür, dass der physikalische Konventionalismus nicht auf eine Folge der Entstehung der Nichteuklidischen Geometrien zu reduzieren sei; umgekehrt weist er (Pulte 2005, Kap. VII.1) auf einen Einfluss von Jacobi auf Riemann und Neumann hin (ohne aber dann umgekehrt der geometrische Konventionalismus auf eine Folge des physikalischen reduzieren zu wollen).

³⁰⁶ Bemerkenswert ist diese frühe Anwendung des Begriffs „symbolische Form“, der fast ein Jahrhundert später von dem in der Kantischen Tradition stehenden Philosophen Ernst Cassirer zu einem Hauptbegriff der eigenen Philosophie gemacht wurde (vgl. Cassirer 1923/29).

die Rechtfertigung vermißt, indem sie, um eine rein mathematische Disziplin zu bleiben, auch von dieser Rechtfertigung ganz abstrahiert. (...) Wenn die Physik nun finden sollte, daß diese Bedingungsgleichung nicht den Zustand dieses oder jenes Körpers ausdrückt, so ist das Etwas, was außerhalb des Werkes liegt; wenn z.B. die tropfbaren Flüssigkeiten als absolut incompressibel angenommen werden: ist das aber nicht mehr der Fall, so ergeben sich dadurch *Abweichungen der Resultate von der Wirklichkeit*.³⁰⁷

Jacobi spricht hier offensichtlich nicht mehr vom Standpunkt, der für die „ältere“ Auffassung der Mechanik charakteristisch war, und der „die Wirklichkeit“ eher den mathematischen Verhältnissen als der Erfahrung - die ja für ein untreues Bild der Realität gehalten wurde - zugesprochen hatte (vgl. oben, § 2.d.). Wenn Jacobi von „Abweichungen der (mathematischen) Resultaten von der Wirklichkeit“ spricht, scheint er die „Wirklichkeit“ eher mit der Erfahrung zu identifizieren.

Was hier jedenfalls in Bezug auf den wissenschaftlichen Determinismus am wichtigsten ist, ist wieder das Auftauchen der Frage nach der Realitätsbezogenheit mathematisch formulierter (und deterministischer) „Natur“gesetze. Jenes Anwendungsproblem, das Kant vor allem auf erkenntnistheoretischer Ebene beschäftigt hatte, beschäftigt nun Jacobi auf der unmittelbaren Ebene der Mechanik³⁰⁸. Jacobi hinterfragt nämlich explizit die Übereinstimmung zwischen dem (determinierenden) mathematischen Formalismus der Mechanik und der Realität³⁰⁹, und kommt später zu dem Schluss, dass die Prinzipien der Mechanik nicht mehr notwendig, allgemeingültig und wahr im Sinne einer formalen *und* materiellen Wahrheit seien, sondern sie seien eher Konventionen, die anhand der Erfahrung *nicht eindeutig* festgestellt werden können³¹⁰, und die, wenn sie überhaupt einen empirischen Inhalt beanspruchen, höchstens als

³⁰⁷ Jacobi 1847/48, zit. in Pulte (2005), S. 324-325; meine Hervorhebung.

³⁰⁸ Über das Anwendungsproblem vgl. Thiel (1995) und Pulte (2005), Kap. VI.2.1. Wie es noch im Kap. 7 darzustellen ist, entwickelt das Wiener Kreis Mitglied Edgar Zilsel 1916 gerade von dem Anwendungsproblem ausgehend seine Überlegungen zur Naturgesetzlichkeit.

³⁰⁹ „Jacobi beschäftigt sich (...) ernsthaft mit der Frage, inwieweit die analytische Mechanik als eine genuin mathematische Disziplin im Sinne Lagranges *auch* als eine physikalische Wissenschaft aufgefaßt werden kann“ (Pulte 2005, S. 320).

³¹⁰ „According to Jacobi, mathematics offers a rich supply of *possible* first principles, and *neither* empirical evidence *nor* mathematical or other reasoning can determine any of them as true“ (Pulte 2000, S. 61). Sehr interessant ist die Tatsache, dass Jacobi zu diesem Konventionalismus anscheinend auch infolge seiner historischen Forschungen über die Geschichte der Mechanik gelang. Pulte (2005, VI.2.3.), der dieses biographische Aspekt rekonstruiert, bemerkt, dass „die Geschichte der Mechanik lehrt, dass es verschiedene Möglichkeiten gibt, die Mechanik zu axiomatisieren – etwa eine Newtonsche, eine Lagrangesche, eine Hamiltonsche – (...),“ und dass „die Möglichkeit *alternativer Darstellungen* sich nicht mit der früheren, platonistisch gefärbten Sichtweise verträgt: Der Grundsatz (...) ‚eine Natur, eine Axiomatisierung‘ wird zum Problem, weil die *Geschichte* ihn in Frage stellt“ (S. 320). Indem Jacobi durch historische Analyse die Prinzipien der Mechanik ent-ontologisiert und relativiert, nimmt er (in dieser Hinsicht) den Standpunkt von Ernst Mach (1998 [1912⁷]) vorweg.

„probabel“ betrachtet werden sollen (und zwar in dem Fall, dass sie empirisch bestätigt wurden)³¹¹.

Aus dem Standpunkt Jacobis – der die strenge Trennung der Logischen Empiristen zwischen analytischen und empirischen Sätzen vorwegnimmt – erscheinen die allgemeinsten „Natur“gesetze entweder als mathematische Sätze, die zwar notwendig und allgemeingültig sind, dafür aber bloß *formale* Wahrheit besitzen, oder, wenn ihnen ein empirischer Inhalt zugesprochen wird, als „Conventionen“, die weder mathematisch beweisbar noch anhand der Erfahrung *eindeutig* feststellbar sind oder endgültig bestätigt werden können³¹². Somit wird wieder die wesentliche Annahme in Frage gestellt, die die klassische Auffassung der Mechanik charakterisiert hatte, und die den impliziten wissenschaftlichen Determinismus untermauert hatte: die Annahme, dass die allgemeinsten Naturgesetzen (d.h. die Prinzipien der Mechanik) einerseits notwendig und allgemeingültig sind, andererseits aber auch materiale Wahrheit besitzen (d.h. sie hätten empirischen Inhalt ohne aber empirisch falsifizierbar zu sein). Damit wird auch die Annahme in Frage gestellt, dass die Determiniertheit der Mathematik bzw. der mathematischen Gesetzen *unmittelbar* die Determiniertheit der Welt bedeuten (widerspiegeln) würde.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mündet generell die Sorge um die Realitätsbezogenheit physikalischer Theorie in die Feststellung einer nur partiellen und relativen Realitätsbezogenheit derselben. Es sind vor allem Wissenschaftler-Philosophen, und unter denen vor allem deutschsprachige Physiker, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Reflexion über die Grundlagen und die Natur wissenschaftlicher Theorien durchführen. Es ist auch unter dem Einfluss der Kantischen Philosophie³¹³, dass sie die Korrespondenzauffassung der Wahrheit in Bezug auf wissenschaftliche Theorien hinterfragen bzw. relativieren³¹⁴. Wissenschaftler wie Hermann von Helmholtz (1821-94), Heinrich Hertz

³¹¹ Vgl. Pulte (2005), S. 326-327.

³¹² Der Rekonstruktion von Pulte (2005, S. 327) zufolge sind Konventionen im Sinne von Jacobi: „(1) mathematisch nicht beweisbar, (2) der empirischen Prüfung fähig, (3) der empirischen Bestätigung bedürftig, (4) Setzungen, d.h. unter Alternativen wählbar, (5) durch Einfachheit und Plausibilität gekennzeichnet.“ Pulte führt auch einen Vergleich zwischen dem Konventionalismus von Jacobi und dem von Poincaré durch (vgl. Pulte 2000 und Pulte 2005, Kap. VI.3.3.).

³¹³ Die Verbreitung einer empiristischen Einstellung im 19. Jh. spielt aber auch eine Rolle, wie aus dem nächsten Kapitel klar hervorgehen soll.

³¹⁴ Über den Einfluss Kants auf Physiker wie Helmholtz und Hertz vgl. Leroux (2010), Kap. 1. Auf einer allgemeinen Ebene kann man außerdem bemerken, wie eine „Relativierung des Kantischen Apriori“ (vgl. Reichenbach 1920a und Friedman 1999a, 2001 und 2007) schon im Laufe des 19. Jahrhunderts stattfand: unsere Erkenntnis- und Denkformen (inklusive der Kausalität) wurden z.B. auf unsere (menschliche) physiologische Ausstattung zurückgeführt (Helmholtz, Lange - vgl. insb. Lange 1974 [1887], II. Buch, 3. Abschnitt); sie wurden als im Sinne der Evolutionstheorie nützliche, ökonomische, sich mit der Zeit verändernde Vereinfachungen aufgefasst (Spencer, Mach, Nietzsche – vgl. Gori 2009, Kap. 1); sie wurden pragmatisch und historisch bzw. evolutionistisch neu interpretiert (von Neukantianern wie Paulsen, Riehl und Windelband – vgl. Gori 2009, S.

(1857-94) und Ludwig Boltzmann (1844-1906) bringen auf verschiedene Weisen die moderne Auffassung wissenschaftlicher Erklärungen und Theorien als *Modelle* langsam hervor³¹⁵. Dazu kommt eine Entwicklung und Verstärkung der schon erwähnten Tendenz zu einer „Entmetaphysierung“ und zu einer „Ent-Ontologisierung“ in der Auffassung wissenschaftlicher Theorien, Begriffe und Gesetze: man denke z.B. an den positivistischen Standpunkt von Gustav Robert Kirchhoff (1824-87), oder an die historisch-kritischen und antimetaphysischen Untersuchungen Ernst Machs (1838-1916)³¹⁶. Schließlich ist es zu bemerken, dass „eine moderne *Hypothetisierung*“ wissenschaftlicher Theorien sich ab den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts nachweisen lässt³¹⁷. So vollzieht sich langsam ab der Mitte des 19. Jahrhunderts der Wandel von der klassischen zu der modernen Wissenschaftsauffassung, die von einem Pluralismus wissenschaftlicher Theorien, von der Einräumung ihres hypothetischen Charakters, sowie von einer Relativierung ihres Geltungsanspruches charakterisiert ist³¹⁸.

63); schließlich kann man wohl einen Einfluss der Kantischen Philosophie auf Autoren vermuten, die von „Konventionen“ sprachen (vgl. oben den Fall von Jacobi und weiter unten in diesem Kapitel und im § 6.b. den Hinweis auf Poincaré).

³¹⁵ Über dieses große Thema – das hier nicht vertieft werden kann – und über jeden der erwähnten Autoren gibt es eine breite Literatur. Über Bildtheorien wissenschaftlicher Erkenntnis vgl. Scheibe (2006), Kap. IV, Ferrari – Stamatescu (Hrsg. 2002), und Leroux (2010), Kap. 1. Dieser letzte hebt den Bezug auf Kant hervor, nicht nur historisch, sondern auch philosophisch, z.B. indem er bemerkt: „Essentiellement, une telle théorie [= eine Bildtheorie wissenschaftlicher Erkenntnis] voudra rendre compte de la fonction descriptive de notre image scientifique du monde en tentant une réponse à la question: Que faut-il pour qu’une image soit une image de quelque chose? Cette question reformule, *mutatis mutandis*, la question kantienne des conditions de possibilité de la connaissance = représentation [...]“ (Leroux 2010, S. 17). Über Helmholtz vgl. Krüger (1994), Schiemann (1997), Ferrari (2002), Lenoir (2006) und Leroux (2010), S. 17ff. Über Hertz vgl. Baird – Hughes – Nordmann (Hrsg. 1998), Hüttemann (2002), Ferrari (2002) und – den Bezug auf Kant betreffend – Christiansen (2006). Was die Bild- und Modellauffassung wissenschaftlicher Theorien von Boltzmann betrifft, vgl. Scheibe (2006), S. 100ff. sowie den von Boltzmann selbst für die „Encyclopedia Britannica“ geschriebenen Artikel „model“ (Boltzmann 1902).

³¹⁶ Mach selbst weist oft (polemisch) auf das Verhältnis zwischen seiner Philosophie zu der von Kirchhoff hin, z.B.: „In einem 1871 gehaltenen Vortrag habe ich meinen erkenntnistheoretischen Standpunkt in der Naturwissenschaft überhaupt, und insbesondere in der Physik genau bezeichnet. Der Begriff „Ursache“ wird daselbst durch den Funktionsbegriff ersetzt, die Ermittlung der *Abhängigkeit* der Phänomene voneinander, die *ökonomische* Darstellung des *Tatsächlichen*, wird als das *Ziel*, die physikalischen Begriffe lediglich als *Mittel* zum Zwecke erkannt. Die Verantwortung für den Inhalt dieses Vortrags wollte ich keinem Journalredakteur mehr zumuten; derselbe wurde 1872 als besondere Schrift gedruckt. Als nun Kirchhoff 1874 in seiner Mechanik mit seiner ‚Beschreibung‘, mit Aufstellungen hervortrat, welche nur einem *Teil* der meinigen entsprachen, und gleichwohl dem ‚allgemeinen Staunen‘ der Fachgenossen begegnete, da lernte ich mich bescheiden. Allmählich übte aber doch die große Autorität Kirchhoffs ihre Macht, was zweifellos auch zur Folge hatte, dass meine Mechanik bei ihrem Erscheinen 1883 nicht mehr so befremdlich wirkte. Bei dieser ausgiebigen Hilfe durch Kirchhoff konnte es mir ganz Nebensache sein, dass man meine prinzipiell-physikalischen Darlegungen für weitere Ausführungen und Anknüpfungen an die Kirchhoffschen hielt und teilweise noch hält, während erstere der Publikation nach in Wirklichkeit nicht nur die altern, sondern auch die radikaler sind.“ (Mach 2012 [1912⁷], S. 297).

³¹⁷ Der Ausdruck ist von Schiemann (1997), S. 11. Zu diesem Thema vgl. vor allem Heidelberger – Schiemann (Hrsg. 2009).

³¹⁸ Über den allgemeinen Kontext des Wandels von einer klassischen zu einer modernen Wissenschaftsauffassung vgl. z.B. Schiemann (1997) und Pulte (2005).

Auch die Mechanik kann also nicht mehr vor dem Hintergrund der Absolutheit, der unmittelbar materiellen Wahrheit, der Gewissheit, der Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit wissenschaftlicher Erkenntnis aufgefasst werden – wie am Beispiel der *Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt* von Mach (1883³¹⁹) und der *Prinzipien der Mechanik* von Heinrich Hertz (1894) kurz gezeigt werden kann³²⁰.

Vorerst ist zu bemerken, dass die Mechanik sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einerseits von der „angewandten Mathematik“ ausdifferenziert hatte³²¹, andererseits nur noch ein Spezialgebiet der Physik unter anderen war - obgleich ihr oft aufgrund der damaligen mechanistischen Heuristik eine gewisse Überlegenheit anerkannt wurde³²². Mach kann auf eine jahrhundertslange Entwicklung der Mechanik zurückblicken, und, aus seiner historischen und evolutionären Perspektive betrachtet³²³, verlieren die Mechanik und die in ihr enthaltenen Naturgesetze, jede Absolutheit³²⁴. Jene Prinzipien der Mechanik, die in der Neuzeit mit Anspruch auf Allgemeingültigkeit, Notwendigkeit und Ausschließlichkeit formuliert wurden, zeigen sich aus historischer Sicht in ihrer Pluralität und sind von Einseitigkeit und Vorläufigkeit charakterisiert:

Das *wahre* Verhältnis der verschiedenen Prinzipien ist ein *historisches*. Eins reicht weiter auf diesem, ein anderes weiter auf jenem Gebiet. [...] Alle Prinzipien fassen mehr oder weniger willkürlich bald diese, bald jene Seiten derselben Tatsachen heraus und enthalten eine skizzenhafte Regel zur Nachbildung der Tatsachen in Gedanken. Niemals kann man behaupten, dass dieser Prozess vollkommen gelungen und dass er abgeschlossen sei.³²⁵

³¹⁹ 1883 erschien die erste Auflage der machschen *Mechanik*: zu Machs Lebzeiten erschienen noch sechs, die letzte 1912. Diese wurde vor kurzem in einer neuen Edition wiedergegeben und eingeleitet von Gereon Wolters und Giora Hon (Mach 2012 [1912⁷]): auf diese Ausgabe werde ich mich im Folgenden beziehen.

³²⁰ Unter den vielen möglichen Beispielen (vgl. z.B. die Werke über die Mechanik, die von Mach in den Vorworten zu seiner *Mechanik* erwähnt werden) wähle ich hier insbesondere die Werke von Mach und Hertz auch deswegen, weil sie aus ziemlich gegensätzlichen Perspektiven ausgehen (der erste hat einen empiristischen, der zweite einen eher rationalistischen Ansatz), und doch in der von mir gemeinten Hinsicht übereinstimmen. Einen Vergleich zwischen Mach und Hertz bietet Baç (2000).

³²¹ Vgl. Stichweh (1984) und Schiemann (1997), S. 145.

³²² „Als Heuristik, d.h. als regulative Orientierung bei der experimentellen und theoretischen Bearbeitung von Phänomenen, die wissenschaftliche noch kaum erforscht waren, war die Mechanik seit der Neuzeit bis in unser Jahrhundert vor allem wegen der vorbildlichen mathematischen Struktur ihrer Gleichungen und der Anschaulichkeit ihrer Modelle [...] von Bedeutung“ (Schiemann 1997, S. 26).

³²³ Vgl. die „Einleitung“ zu seiner *Mechanik* (Mach 2012 [1912⁷], S. 11-18). Seine charakteristische Perspektive auf die Physik hatte Mach schon in seinem 1871 vorgetragenen und 1872 veröffentlichten Werk, *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit* (Mach 1909 [1872]) angewendet.

³²⁴ „In der That, wenn man aus der Geschichte nichts lernen würde, als die Veränderlichkeit der Ansichten, so wäre sie schon unbezahlbar. [...] Man gewöhne sich also bei Zeiten daran, dass die Wissenschaft unfertig, veränderlich sei“ (Mach 1909 [1872], S. 3).

³²⁵ Mach (2012 [1912⁷]), S. 91-92.

Als „Regeln zur Nachbildung der Tatsachen in Gedanken“ – und nicht als eindeutige, absolut gültige Abbildungen der Realität – werden die Naturgesetze von Mach aufgefasst³²⁶. Ich möchte hier – unbeschadet aller Unterschiede zwischen den zwei Denkern – an die Kantische Auffassung des Verstandes als „Vermögen der Regeln“ erinnern: die Gesetzmäßigkeit, die wir in der Natur „finden“ ist eigentlich laut Mach wie laut Kant ein Ergebnis des nach Regeln ordnenden *menschlichen* Verstandes. Nun können aber diese „Regeln“ aus dem empiristischen und modernen Standpunkt Machs weder *a priori* noch mit Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit gelten – wie Kant behauptet hatte. Das Individuum mag die Illusion haben, dass sie *a priori* gelten, weil sie auf „instinktiven Erkenntnissen“ basieren, die sehr wichtig „für die Entwicklungsprozesse“ der Spezies gewesen sind und deren Ursprung dem Individuum meistens unbewusst bleibt³²⁷. Trotzdem ist eigentlich jene „axiomatische Gewissheit“ der Prinzipien, die im klassischen Wissenschaftsverständnis (und daher für den impliziten wissenschaftlichen Determinismus) so zentral war, laut Mach nur eine „Illusion“, die übrigens speziell auf den Gelehrten wirkt („dessen ganzes gewohntes Gedankensystem durch eine Störung dieser Elemente seines Denkens in Unordnung gerät“³²⁸), denn in Wirklichkeit ist alle Erkenntnis Erfahrungserkenntnis, und kann daher von der Erfahrung jederzeit widerlegt werden.

Da laut Mach die Naturgesetze „Nachbildungsanweisungen“ sind, die unseren menschlichen Interessen und Zwecken – bzw. der Selbsterhaltung der menschlichen Gattung – dienen, sind sie einseitig, vorläufig, nur relativ geltend, wie Mach in Bezug auf das Brechungsgesetz klar ausdrückt:

³²⁶ „Unsere Naturwissenschaft besteht in der Nachbildung der Tatsachen in Gedanken oder in dem begrifflichen quantitativen Ausdruck der Tatsachen. Die Nachbildungsanweisungen sind die Naturgesetze. In der Überzeugung, dass solche Nachbildungsanweisungen überhaupt möglich sind, liegt das Kausalgesetz“ (Mach 2012 [1912⁷], S. 527-528).

³²⁷ Vgl. Mach (2012 [1912⁷]), S. 91, und – was die Kausalität betrifft, S. 508: „Wichtig ist es für die Autorität der Begriffe Ursache und Wirkung, dass sich dieselben *instinktiv* und unwillkürlich entwickeln, dass wir deutlich fühlen, persönlich nichts zur Bildung derselben beigetragen zu haben. Ja, wir können sogar sagen, dass das Gefühl für Kausalität nicht vom Individuum erworben, sondern durch die Entwicklung der Art vorgebildet sei. Ursache und Wirkung sind also Gedankendinge von ökonomischer Funktion. Auf die Frage, *warum* sie entstehen, lässt sich keine Antwort geben. Denn eben durch die Abstraktion von Gleichförmigkeiten erlernen wir erst die Frage, *warum*“.

³²⁸ Mach (2012 [1912⁷]), S. 302. Hier will Mach insbesondere „das Verhalten der Forscher gegenüber dem Trägheitssatz psychologisch [aufklären]“, und die übliche Meinung widersprechen (die wir auch bei Kant vorgefunden haben), dass der Trägheitssatz deswegen *a priori* gilt, weil es aus dem Kausalgesetzes abgeleitet werden kann.

In der Natur gibt es auch kein Brechungsgesetz, sondern nur verschiedene Fälle der Brechung. Das Brechungsgesetz ist eine zusammenfassende konzentrierte Nachbildungsanweisung für *uns*, und zwar *nur* bezüglich der geometrischen Seite der Tatsache³²⁹

Das „Rätsel“ der Anwendbarkeit der Naturgesetze (im Sinne des schon erwähnten Anwendungsproblems) wird von Mach wie von Kant (obwohl auf eine unterschiedliche Weise³³⁰) dadurch gelöst, dass ihr Anspruch auf Absolutheit, Vollkommenheit und Realitätsbezogenheit relativiert und eingeschränkt wird. Von Mach wird jener Anspruch durch eine modellartige Auffassung der Naturgesetze ersetzt – wie aus dem späteren Werk von Mach *Erkenntnis und Irrtum* deutlich hervorgeht:

Die *vielfache, möglichst allgemeine* Anwendbarkeit der Naturgesetze auf konkrete tatsächliche Fälle wird nur möglich, durch *Abstraktion, durch Vereinfachung, Schematisierung, Idealisierung* der Tatsachen, durch gedankliche Zerlegung derselben in solche einfache Elemente, dass aus diesen die gegebenen Tatsachen mit zureichender Genauigkeit sich wieder gedanklich aufbauen und zusammensetzen lassen. Solche elementare idealisierte Tatsachenelemente, wie sie in der Wirklichkeit nie in Vollkommenheit angetroffen werden, sind die gleichförmige und die gleichförmig beschleunigte Massenbewegung, die stationäre (unveränderliche) thermische und elektrische Strömung und die Strömung von gleichmäßig wachsender und abnehmender Stärke usw. Aus solchen Elementen lässt sich aber jede beliebig variable Bewegung und Strömung genügend beliebig genau zusammengesetzt denken, und der Anwendung der Naturgesetze zugänglich machen. Dies geschieht in den *Differentialgleichungen* der Physik³³¹.

³²⁹ Mach (2012 [1912⁷]), S. 509.

³³⁰ Ich betone bewusst die Ähnlichkeiten zwischen Kant und Mach, weil ihre Philosophien mir in Bezug auf die Determinismusfrage einer selben Entwicklungslinie zu gehören scheinen, und zwar jener der allmählichen Schwächung des Realitätsbezugs der determinierenden Verhältnisse. Ganz anderer Meinung ist Stöltzner (2003), der gerade von dem Gegensatz „Kantian or neo-Kantian [?] epistemology“ vs. „Mach replac[ing] causality by functional dependences“ (vgl. Z. B. Stöltzner 2003, S. 83-84) ausgeht, um die Tradition des „Wiener Indeterminismus“ in Vergleich mit der deutschen Auffassung der Kausalität als Realitätskriterium zu charakterisieren. Mir scheint es relevant zu sein, dass die Kausalität von Kant nicht für eine Möglichkeitsbedingung der Realität *an sich* oder *tout court* gehalten wird, sondern „nur“ für Möglichkeitsbedingung des Phänomenons. Seine Einsicht, dass die (vorherbestimmten) Phänomene nicht die Realität überhaupt sind, sondern die Realität, so wie sie den Menschen erscheint, bedeutet – wie es mir scheint – einen ersten, einflussreichen Riss bei jenem mathematischen Platonismus bzw. rationalistischen Realitätsbegriff, der den determinierenden Verhältnissen unmittelbare und absolute Realität zugeschrieben hatte, und auf dem daher der wissenschaftliche Determinismus basierte.

³³¹ Vgl. Mach (2011 [1906²]), S. 464-465. Vgl. auch die etwa andere, humorvolle Formulierung des Anwendungsproblems, die Mach auf eine für ihn so typische Weise ausdrückt: „Wenn die Welt durch Abstraktionen zersägt und zerschnitten ist, so erscheinen diese Teilstücke so luftig und so wenig massig, dass Zweifel auftreten, ob sich die Welt aus denselben wieder zusammenleimen lassen wird. Man fragt wohl auch gelegentlich humoristisch-ironisch, ob so eine Empfindung oder Vorstellung, die keinem Ich angehört, *allein* in der Welt spazieren gehen könnte? So waren ja auch die Mathematiker, nachdem sie die Welt in Differentiale zerteilt hatten, ein wenig in Angst, ob sie die Welt aus solchen Nichtsen wieder ohne Schaden würden zusammenintegrieren können?“ (*Ebenda*, S. 469-470).

Der Determinismus, den die Differentialgleichungen zum Ausdruck bringen, setzt also (aus diesem Gesichtspunkt) voraus, dass wir die „Natur“ schon auf abstrakte, vereinfachte Elemente reduziert haben: was deterministisch „läuft“, ist nicht die Natur, sondern ein Modell von ihr, das nur einige idealisierte Eigenschaften der Ereignisse in Betracht zieht. Dabei sind verschiedene Modelle möglich, u.a. je nach dem, welchen Grad an Genauigkeit wir für den jeweiligen Zwecken brauchen.

Das Kausalverhältnis überhaupt ist aus der machschen Perspektive etwas „Menschliches, allzu Menschliches“³³² und hat keine Realität „an sich“:

Wenn wir von Ursache und Wirkung sprechen, so heben wir willkürlich jene Momente heraus, auf deren Zusammenhang wir bei Nachbildung einer Tatsache in der für uns wichtigen Richtung zu *achten* haben. In der Natur gibt es keine Ursache und keine Wirkung. Die Natur ist nur *einmal* da. Wiederholungen gleicher Fälle, in welchen A immer mit B verknüpft wäre, also gleiche Erfolge unter gleichen Umständen, also das Wesentliche des Zusammenhangs von Ursache und Wirkung, existieren nur in der Abstraktion, die wir zum Zweck der Nachbildung der Tatsachen vornehmen.³³³

Schon in seiner Arbeit über *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*³³⁴ hatte Mach den Ursachebegriff durch den mathematischen Funktionsbegriff ersetzt, und zwar durch einen formalen Begriff, der die „*Abhängigkeit der Erscheinungen von einander*“, genauer: [die] *Abhängigkeit der Merkmale der Erscheinungen von einander*“³³⁵

³³² Die Anwendung des berühmten Nietzscheschen Ausdrucks ist natürlich von mir, und nicht von Mach. Man merke trotzdem die Ähnlichkeiten zwischen dem folgenden Zitat von Mach und dem zweiten Zitat von Nietzsche, das am Anfang dieses Kapitels steht. Die interessante Verwandtschaft zwischen einigen Aspekten der Machschen und der Nietzscheschen Philosophie wird in Gori (2009) meisterhaft untersucht.

³³³ Mach 2012 [1912⁷], S. 506-507. Interessant ist auch die Behauptung Machs, „dass alle Formen des Kausalgesetzes subjektiven Trieben entspringen, welchen zu entsprechen eine Notwendigkeit für die Natur *nicht* besteht“ (Mach 2012 [1912⁷], S. 531).

³³⁴ Mach 1909 [1872], vgl. insb. den letzten Teil (S. 33ff.), „Die logische Wurzel des Satzes vom ausgeschlossenen perpetuum mobile“. Mach möchte in diesem (letzten) Teil seines Vortrags zeigen, dass dieser Satz „bloß eine besondere Form des Causalgesetzes ist“ (S. 46). Dafür muss er zuerst erklären, wie er das Kausalgesetz auffasst.

³³⁵ So wird Mach später, in der *Analyse der Empfindungen*, das Ergebnis dieses seines früheren Werks zusammenfassen (Mach 2008 [1911⁶], S. 94). Formulierungen dieser Auffassung der Kausalität als Funktion bzw. funktionale Abhängigkeit findet man oft in den Werken Machs (vgl. z.B. Mach 2008 [1911⁶], §I.8 und Mach 2011 [1906²], 18-24). Trotz dieser Schwächung der Kausalität liegen kausale Verhältnisse (in Bezug auf Mach muss man eher von gegenseitigen Abhängigkeiten sprechen) bei Mach ähnlich wie bei Kant der Existenz der Erkenntnisobjekte zugrunde: bei Mach ist erst die „relative Beständigkeit“ der Verhältnisse zwischen Elemente, die erlaubt, von der Welt, von dem Ich oder von physikalischen Körpern zu sprechen (vgl. z.B. Mach 2008 [1911⁶], §I.7 und I.12 und Mach 2011 [1906²], 22 und 291), auch wenn alle diese „Dinge“ für Mach – anders als für Kant – nur „provisorische Fiktionen“ sind. Es scheint mir aber kein Zufall zu sein, dass ein Philosoph mit machschem erkenntnistheoretischem Hintergrund, wie Philipp Frank, in diesem Punkt mit dem Neokantianer Ernst Cassirer übereinstimmt: in seiner Besprechung des Buchs von Cassirer, *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik* (1937), schreibt Frank (1949 [1938], S. 175): „Another fundamental feature of Cassirer’s conception is that the form of the law of causality and the concepts of what one calls an

ausdrücken soll. Aus diesem Umdenken des Kausalitätsbegriffes ausgehend entwickelt Mach im selben Werk ein explizites (obwohl bisher - so weit ich weiß - in der Sekundärliteratur vernachlässigtes) Argument gegen den wissenschaftlichen Determinismus. Das Argument kann man zusammenfassen, wie folgt³³⁶: während der klassische Kausalbegriff uns dazu bringt, (1) von der Vielseitigkeit der gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Erscheinungen zugunsten eines einseitiges Verhältnis Ursache-Wirkung abzusehen, und (2) einige Variablen (z.B. Zeit oder Raum) willkürlich als *unabhängig* anzunehmen, kann der Funktionsbegriff beliebig erweitert (oder eingeschränkt) werden, so dass auch gegenseitige und vielseitige Abhängigkeiten in Betracht gezogen werden können. Aus diesem Konzept ausgehend behauptet Mach, dass das Hineinziehen des Räumlichen und des Zeitlichen in das Kausalgesetz - als ob sie einen absoluten Bezugssystem darstellen könnten - „mindestens überflüssig“ sei: Raum und Zeit sind bloß Erscheinungen unter anderen Erscheinungen, und können daher nur willkürlich und aus denkökonomischen Gründen (bzw. relativ zu bestimmten Zwecken) als unabhängig betrachtet werden³³⁷. Einmal, dass wir weder Zeit noch Raum als absoluten Bezugsrahmen betrachten, sondern nur die Abhängigkeit der Erscheinungen voneinander, gibt es keinen ‚fixen Hintergrund‘, vor dem wir eine absolute Veränderung der Welt identifizieren könnten. Mit anderen Worten: Etwas ist nur relativ zu etwas Anderem (voraus)bestimmt, das ‚willkürlich‘ als unabhängige Variable genommen wird: da aber nach dem Funktionsbegriff Machs keine Variable absolut unabhängig ist, sondern alle Erscheinungen im Prinzip von einander abhängen, gibt es nichts, das „an sich“ oder absolut (vorher)bestimmt ist.

Aus dem Gesichtspunkt Machs zeigt sich die Unmöglichkeit des wissenschaftlichen Determinismus insbesondere als Weltbild, denn aus der dargestellten Perspektive folgt auch, dass wir auf keine Weise das Kausalgesetz für die *ganze* Welt gelten lassen können wie das folgende Zitat klar macht:

Wenn wir von einem Ding in der Welt sagen, es wird nach Verlauf einer gewissen Zeit die Veränderung *A* erleiden, so setzen wir es als abhängig von einem anderen Theil der Welt, den wir als Uhr betrachten. Wenn wir aber für das Weltall einen solchen Satz aussprechen, so haben wir uns insofern getäuscht, als wir nichts mehr

‘object’ mutually condition each other. This also is a basic thesis of logical empiricism, and one that has been taken over from positivism.”

³³⁶ Vgl. Mach (1909 [1872]), S. 34-37 und – als Ergänzung - Mach (2008 [1911⁶]), S. 94ff.

³³⁷ Vgl. Mach (1909 [1872]), S. 34-35: „Da wir das, was wir Zeit und Raum nennen, wieder nur an gewissen Erscheinungen erkennen, so sind räumliche und zeitliche Bestimmungen wieder nur Bestimmungen durch andere Erscheinungen. Wenn wir z.B. die Lage der Weltkörper als Functionen der Zeit ausdrücken, d.h. als Functionen des Drehungswinkels der Erde, so haben wir doch nichts getan, als die Abhängigkeit der Lagen der Körper von *einander* ermittelt“.

übrig haben, worauf wir das Weltall wie auf eine Uhr beziehen könnten. Für das Weltall gibt es keine Zeit. Naturwissenschaftliche Sätze von der erwähnten Art scheinen mir schlimmer als die schlimmsten philosophischen.³³⁸

Somit möchte Mach die Naturforscher auf eine „gewisse Unbestimmtheit“ aufmerksam machen, die „immer vorhanden [ist] und sich unmittelbar klar durch die Elimination des Raumes und der Zeit aus dem Causalgesetz [ergibt]“³³⁹:

Es dürfte für den Naturforscher nicht unwichtig sein, die Unbestimmtheit, welche das Causalgesetz übrig lässt, zu berücksichtigen und zu erkennen. Freilich hat dies für ihn nur den Werth, ihn vor Ueberschreitungen seiner Grenzen zu bewahren. Ein müssiger Philosoph hingegen könnte hier seine Ideen über Willensfreiheit vielleicht mit mehr Glück anknüpfen, als dies bisher durchweg bei anderen Wissenslücken geschehen ist [hier kommt die Fn 7 vor, die auf Fechner hinweist]. Für den Naturforscher bleibt nichts zu ermitteln übrig, als die *Abhängigkeit der Erscheinungen von einander*³⁴⁰.

Doch ist der Verzicht auf den Determinismus bei Mach noch nicht vollständig, wie es bei anderen Autoren war, die die Determinismusfrage in einem breiteren, weltanschaulichen Kontext in derselben Zeit reflektierten (vgl. unten, Kap. 6). Die Kantische Idee, dass der wissenschaftliche Determinismus eine Voraussetzung wissenschaftlicher Forschung sei, also ein wissenschaftlicher Determinismus im normativen Sinne, ist bei Mach noch präsent:

In der Tat ist die Absicht, ein Gebiet zu erforschen, nur mit der Annahme der *Erforschbarkeit* desselben vereinbar. Diese setzt aber Beständigkeiten voraus, denn was sonst sollte durch die Forschung ermittelt werden? Solche Beständigkeiten sind aber Abhängigkeiten der Elemente des Gegebenen voneinander, *funktionale Beziehungen oder Gleichungen* zwischen diesen Elementen. Wenn eine Gleichung erfüllt ist, so liegt hierin eine erweiterte, verallgemeinerte *substantielle* Auffassung, aber auch eine weiter entwickelte, verschärfte, geläuterte *kausale* Auffassung. Es kommt im Allgemeinen wenig darauf an, ob wir die Gleichungen der Physik als den Ausdruck von Substanzen, Gesetzen, oder in besonderen Fällen von Kräften ansehen; jedenfalls drücken sie

³³⁸ Mach (1909 [1872]), S. 36-37. Mach setzt so fort: „Man meint gewöhnlich, wenn der Gesamtzustand der Welt in einem Moment gegeben ist, so sei er im nächsten vollkommen bestimmt. Dabei unterläuft aber eine Täuschung. Dieser nächste Moment ist gegeben durch das Fortrücken der Erde. Die Lage der Erde gehört mit zu den Umständen. Wir begehen aber leicht den Fehler, dass wir denselben Umstand zweimal zählen. – Wenn die Erde weitergerückt ist, so ist dieses und jenes eingetreten. Allein die Frage, *wann* sie weitergerückt sein wird, hat gar keinen Sinn. Die Antwort lässt sich ja nur so geben: Dann ist sie weitergerückt, wenn sie weitergerückt ist“. Auch in der *Analyse der Empfindungen* verweist Mach auf dasselbe Argument, obwohl in verkürzter Form: „Eine gegenseitige Abhängigkeit lässt *Veränderung* nur zu, wenn irgendeine Gruppe der in Beziehung stehenden Stücke als *unabhängig* variabel betrachtet werden kann. Deshalb ist es zwar möglich, das Weltbild in wissenschaftlich bestimmter Weise im einzelnen zu ergänzen, wenn ein ausreichender Teil desselben gegeben ist; wo aber die ganze Welt hinaus will, kann wissenschaftlich nicht ermittelt werden“ (Mach 2008 [1911⁶], S. 95).

³³⁹ Mach (1909 [1872]), Fn 7, S. 57. In dieser Fußnote verweist Mach auch auf die Arbeit Fechners.

³⁴⁰ Mach (1909 [1872]), S. 37. Zu Fechner vgl. auch unten, §4.c und §6.a.

funktionale Abhängigkeiten aus. [...] Die Richtigkeit der Position des „Determinismus“ oder Indeterminismus“ lässt sich nicht beweisen. Nur eine vollendete oder nachweisbar unmögliche Wissenschaft könnte hier entscheiden. [...] Während der Forschung aber ist jeder Denker notwendig theoretisch Determinist.³⁴¹

„Die Abhängigkeit der Erscheinungen von einander“, die in den Gleichungen der Physik ihren präzisen Ausdruck findet, spielt auch in der Hertzschen Auffassung physikalischer Theorien eine ganz zentrale Rolle. In der Einführung in seine *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* (1892) reduziert Hertz die Maxwellsche Theorie (der Elektrodynamik) auf die Maxwellschen Gleichungen, in der Hoffnung, bei seinem Vergleich verschiedener Theorien der Elektrodynamik (der maxwellschen, der Helmholtzschen und seiner eigenen) einen gemeinsamen Kern zu identifizieren, der unabhängig von der Verschiedenheit der „Vorstellungen“ (d.h. der physikalischen Deutungen) und der „Darstellungen“ (d.h. der *modi*, in denen die Theorie ausgedrückt wird) der Theorie gelten würde³⁴². Auch in seinem zweiten und letzten (posthum erschienenen) Hauptwerk – die *Prinzipien der Mechanik* (1894)³⁴³ – beschäftigt sich Hertz mit einem Vergleich zwischen verschiedenen Formulierungen der „selben“ physikalischen Theorie – und somit kann er als Wegbereiter der Auseinandersetzung mit dem Problem der *underdetermination*, sowie der konventionalistisch gefärbten Untersuchung des Problems der *theory-choice* gelten³⁴⁴. Anders als bei Mach ist es also bei Hertz nicht hauptsächlich der historische, sondern eher der systematische vergleichende Gesichtspunkt, der zu einer Relativierung des Wahrheit- und Gültigkeitsanspruchs der Prinzipien der Mechanik führt³⁴⁵.

da wir von den Prinzipien der Mechanik durch verschiedene Auswahl der Sätze, welche wir zugrunde legen, verschiedene Darstellungen geben können, so erhalten wir verschiedene [...] Bilder der Dinge, welche Bilder wir prüfen und miteinander vergleichen können in bezug auf ihre Zulässigkeit, ihre Richtigkeit und ihre Zweckmäßigkeit³⁴⁶.

Hertz hat einerseits noch eine durchaus klassische Auffassung der Prinzipien der Mechanik: diese sollen aus seiner Sicht den Bedingungen genügen, „dass sich aus ihr ohne weitere

³⁴¹ Mach (2011 [1906²]), S. 291-292.

³⁴² Vgl. Heidelberger (1998), insb. S. 18-19 und Hüttemann (2002), S. 110-113.

³⁴³ Hier werde ich von diesem Werk nur die „Einleitung“ näher betrachten, die auch gesondert als *Drei Bilder der Mechanik* veröffentlicht wurde (Hertz 1959 [1894]).

³⁴⁴ Vgl. Saunders (1998).

³⁴⁵ Ein historisches Bewusstsein fehlt auch bei Hertz nicht ganz: „Es konnte infolge der geschichtlichen Entwicklung nicht ausbleiben, dass Sätze, welche unter besonderen Voraussetzungen einmal mit Recht als Prinzipien bezeichnet wurden, später diesen Namen, wiewohl mit Unrecht beibehielten“ (Hertz 1959 [1894], S. 19).

³⁴⁶ Hertz 1959 [1894], S. 19

Berufung auf die Erfahrung die gesamte Mechanik rein deduktiv entwickeln lässt“ (Hertz 1959 [1894], S. 19). Anders als im klassischen Wissenschaftsverständnis sind aber laut Hertz verschiedene Systeme von Prinzipien und Lehrsätzen möglich. Das letzte Zitat enthält den berühmten hertzschen Begriff von „Bild“, dessen Bedeutung und dessen Verwandtschaft mit den Begriffen anderer Wissenschaftler und Philosophen (vor allem Helmholtz und Wittgenstein) in der Sekundärliteratur unterschiedlich analysiert und interpretiert werden³⁴⁷. Dem soeben wiedergegebenen Zitat geht die Behauptung voraus, dass

die Grundbegriffe der Mechanik zusammen mit den sie verkettenden Prinzipien das einfachste Bild [darstellen], welches die Physik von den Dingen der sinnlichen Welt und den Vorgängen in ihr herzustellen vermag³⁴⁸.

Ein „Bild“ besteht also in diesem Kontext aus (1) Grundbegriffen und (2) sie verkettenden Prinzipien, und – wie schon gemerkt – verschiedene Bilder sind möglich und können verglichen werden.

Tatsächlich vergleicht Hertz in der Einleitung zu seiner *Prinzipien der Mechanik* drei Bilder der Mechanik: das „gewöhnliche“, das die Grundbegriffe Raum, Zeit, Masse und Kraft zugrunde legt; das „jüngere“, das auf den Grundbegriffen Raum, Zeit, Masse und Energie (sowie auf dem Hamiltonsche Prinzip) basiert; und das Bild, das von Hertz selbst im übrigen Teil seiner *Prinzipien der Mechanik* geschaffen wird, das nur von den Grundbegriffen von Zeit, Raum und Masse ausgeht – wobei einerseits unklare (wenigstens laut Hertz) Begriffe wie Kraft und Energie vermieden werden, andererseits die Hypothese „verborgener“ Massen eingeführt werden muss. Diese drei Bilder werden nun anhand der drei im vorletzten Zitat erwähnten Kriterien untersucht und verglichen, und zwar:

- a. Logische Zulässigkeit: das Bild soll in sich konsistent sein und kein „Widerspruch gegen die Gesetze unseres Denkens“ (Hertz 1959 [1894], S. 17-18) enthalten;
- b. Richtigkeit: die „wesentlichen Beziehungen“, die vom Bild abgebildet werden, sollen „den Beziehungen der äußeren Dinge [nicht] widersprechen“ (Hertz 1959 [1894], S. 18);
- c. Zweckmäßigkeit: das Bild soll so viele dem Gegenstand entsprechende Beziehungen wie möglich liefern und so wenig leere Beziehungen wie möglich enthalten (Hertz 1959 [1894], S. 18).

³⁴⁷ Heidelberger (1998) und Christiansen (2002) interpretieren z.B. den hertzschen Begriff von „Bild“ eher im Sinne einer „Anschaulichkeit“ als im Sinne einer formalen Theorie. Während Heidelberger (1998, S. 21) aus diesem Grund sich verweigert, den hertzschen Begriff von „Bild“ mit einer Theorie zu identifizieren, identifiziert Schiemann in seinem Beitrag zu demselben Sammelband Bilder und Theorien (Schiemann 1998, S. 29). Vgl. auch Ferrari (2002), S. 19ff. und Hüttemann (2002), S. 114-116.

³⁴⁸ Hertz 1959 [1894], S. 19.

Auch bezüglich dieser Kriterien bzw. bezüglich der Hertzschen Überprüfung der drei Bilder anhand der drei Kriterien herrscht in der Sekundärliteratur eine Verschiedenheit der Meinungen und der Interpretationen³⁴⁹ – sicherlich auch deswegen, weil Hertz selbst in seiner Darstellung nicht immer klar und konsequent ist³⁵⁰. Was uns hier interessiert, hängt mit dem zweiten Kriterium zusammen, denn die Bilder, die diesem Kriterium nicht genügen, genügen auch der „ersten Grundforderung“ nicht, die Hertz an physikalischen Theorien stellt:

Es ist die nächste und in gewissem Sinne wichtigste Aufgabe unserer bewussten Naturerkenntnis, dass sie uns befähige, zukünftige Erfahrungen vorausszusehen, um nach dieser Voraussicht unser gegenwärtiges Handeln einrichten zu können. [...] Das Verfahren [...], dessen wir uns zur Ableitung des Zukünftigen aus dem Vergangenen und damit zur Erlangung der erstrebten Voraussicht stets bedienen, ist dieses: wir machen uns innere Scheinbilder oder Symbole der äußeren Gegenstände, und zwar machen wir sie von solcher Art, dass die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände³⁵¹

Die drei erwähnten Formulierungen der Mechanik, die Hertz in diesem Werk in Betracht zieht und vergleicht, erfüllen alle (mehr oder weniger gut) dieser Grundforderung: Hertz selbst behauptet, er hätte das Bedürfnis gehabt, eine eigene, neue Formulierung der Mechanik zu entwerfen, nicht weil die anderen zwei Bilder (und insbesondere das erste) mit Bezug auf empirische Anwendungen nicht benutzbar wären, sondern vor allem, um eine logisch und systematisch reinere, klarere und besser zusammenhängende Version der Mechanik zu schaffen³⁵². Unterschiedliche Bilder der Mechanik sind also gleichermaßen imstande, „naturnotwendige Folgen“ durch „denknotwendige Folgen“ abzubilden, also Vorhersagen zu liefern, und in dieser Hinsicht bezeugen sie alle auch „gewisse Übereinstimmungen [...] zwischen der Natur und unserem Geiste“ (Hertz 1959 [1894], S. 19, S. 17). Diese Übereinstimmungen sind aber unvollkommen: einerseits enthält jedes Bild notwendigerweise „leere Beziehungen“³⁵³, andererseits können die im jeweiligen Bild enthaltenen Beziehungen

³⁴⁹ Vgl. z.B. Schiemann (1998), S. 31-35; Baç, M. (2000), S. 43-44; Christiansen (2006), S. 2-7.

³⁵⁰ Vgl. Schiemann (1998), S. 32 und Hüttemann (2002), S. 119-120.

³⁵¹ Hertz 1959 [1894], S. 17.

³⁵² Hertz 1959 [1894], S. 42, insb.: „nicht deshalb habe ich es [= sein Bild der Mechanik] zu zeichnen versucht, weil die Mechanik nicht bereits für ihre Anwendungen genügend Zweckmäßigkeit zeigte, noch weil dieselbe mit der Erfahrung irgend in Widerstreit geraten wäre, sondern allein um mich von dem drückendem Gefühl zu befreien, dass ihre Elemente nicht frei seien von Dunkelheiten und Unverständlichkeiten für mich. Nicht das einzig mögliche Bild der mechanische Vorgänge, noch auch das beste Bild, sondern überhaupt nur ein begreifbares Bild wollte ich suchen und an einem Beispiel zeigen, dass ein solches möglich sei, und wie es etwa aussehen müsse“.

³⁵³ Vgl. insb. Hertz (1959 [1894]), S. 18 und S. 24.

nur teilweise die Erfahrung und die Naturphänomene decken³⁵⁴. Und auch in Bezug auf die mathematische Form, in der das jeweilige Bild jene Beziehungen ausdrückt, stellt sich – auch für Hertz – jene Frage, die wir schon als „Anwendungsproblem“ bezeichnet haben: im Rahmen der Besprechung seiner eigenen Formulierung der Mechanik fragt er sich z.B.:

Mit welchem Recht können wir versichern, dass alle Zusammenhänge der Natur durch lineare Differentialgleichungen erster Ordnung sich ausdrücken lassen?³⁵⁵

- und lässt grundsätzlich die Frage offen bzw. er gibt zu, dass seine Mechanik das nicht versichern sondern nur hypothetisch annehmen kann (vgl. Hertz 1959 [1894], S. 44).

Hertz gibt auch den Grund an, warum man von einer Übereinstimmung zwischen unseren Bildern der Tatsachen und den Tatsachen selbst nicht ausgehen kann:

weil sie eben nur Bilder, und zwar Bilder unseres besonderen Geistes sind und also von den Eigenschaften seiner Abbildungsweise mitbestimmt sein müssen³⁵⁶.

Hauptsache ist, dass sie dem Hauptzweck erfüllen, uns zukünftige Erfahrungen voraussehen zu können, was mit der erwähnten Forderung zusammenhängt, dass „die denknotwendigen Folgen der Bilder stets wieder die Bilder seien von den naturnotwendigen Folgen der abgebildeten Gegenstände“:

Die Bilder, von welchen wir reden, sind unsere Vorstellungen von den Dingen; sie haben mit den Dingen die eine wesentliche Übereinstimmung, welche in der Erfüllung der genannten Forderung liegt, aber es ist für ihren Zweck nicht nötig, dass sie irgend eine weitere Übereinstimmung mit den Dingen haben. In der Tat wissen wir auch nicht und haben auch kein Mittel zu erfahren, ob unsere Vorstellungen von den Dingen mit jenen in irgend etwas anderem übereinstimmen, als allein in eben jener fundamentalen Beziehung.³⁵⁷

³⁵⁴ So bemerkt z.B. Hertz in Bezug auf die klassische Mechanik (d.h. das erste Bild): „[Es] schien uns, dass die von der Mechanik betrachteten Bewegungen sich nicht völlig mit den zu betrachtenden natürlichen Bewegungen decken. Manche Eigenschaften der natürlichen Bewegungen werden in der Mechanik nicht berücksichtigt; viele Beziehungen, welche die Mechanik betrachtet, fehlen wahrscheinlich in der Natur“ (Hertz 1959 [1894], S. 26).

³⁵⁵ Hertz 1959 [1894], S. 43. Hüttemann (2002) liest die *Prinzipien der Mechanik* von Hertz interessanterweise unter der Perspektive eines „attempt to sort out which features of our theories can be attributed to nature as opposed to those which depend on us“ (Hüttemann 2002, S. 109). Schiemann (1998) analysiert „The Loss of World in the Image“ anhand der Begriffe von „Zeichen“, „Symbol“ und „Bild“ bei Helmholtz und Hertz.

³⁵⁶ Hertz 1959 [1894], S. 18.

³⁵⁷ Hertz 1959 [1894], S. 17.

Interessant an diesem Zitat ist u.a. der Hinweis, der im letzten Satz enthalten ist, und der wieder³⁵⁸ eine tautologische Auffassung des wissenschaftlichen Determinismus suggerieren kann: wir können uns nur im Fall von gesetzmäßigen Phänomenen, und nur nachdem unsere Voraussagen sich als richtig erwiesen haben, einer Übereinstimmung unserer Erkenntnis mit der Welt sicher sein. Wir reden also von einer deterministischen Welt einfach deswegen, weil wir die Welt nur unter dem Aspekt der Determiniertheit erkennen können.

Jene Verunsicherung hinsichtlich der Realitätsbezogenheit physikalischer (deterministischer) Prinzipien und Gesetze, die im Mittelpunkt dieses Kapitels steht, führte also im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einer eher konventionalistischen und pragmatischen Auffassung derselben, was eine Schwächung der „Tiefe“ (wie von mir im §1.c. definiert) des wissenschaftlichen Determinismus bedeutet. Jene konventionelle Seite der Prinzipien der Mechanik, die sowohl Mach als Hertz erkannt hatten³⁵⁹, wird z.B. Henri Poincaré 1902 ausführlich aufweisen. In dem Kapitel über „La mécanique classique“ aus seinem berühmten Buch *La science et l'hypothèse*³⁶⁰ erklärt er die konventionelle Natur der Grundlagen der klassischen Mechanik: absoluter Raum, absolute Zeit, Simultaneität und euklidische Geometrie

sont pas des conditions qui s'imposent à la mécanique ; toutes ces choses ne préexistent pas plus à la mécanique que la langue française ne préexiste logiquement aux vérités que l'on exprime en française.³⁶¹

Sogar wenn man die absolute Zeit und die euklidische Geometrie als *nützliche Annahmen* voraussetzt, kann man laut Poincaré die drei newtonschen Bewegungsgesetze als *Definitionen* entpuppen: sie seien nämlich weder *a priori* evident und wahr (sonst hätten sie z.B. auch die antiken Griechen erkannt³⁶²) noch experimentell bestätigt (es ist unmöglich, Experimente durchzuführen, die sie bestätigen könnten, ohne sie schon vorauszusetzen³⁶³). So geht Poincaré noch über Hertz hinaus:

Hertz s'est demandé si les principes de la mécanique sont rigoureusement vrais. « dans l'opinion de beaucoup de physiciens, dit-il, il apparaîtra comme inconcevable que l'expérience la plus éloignée puisse jamais changer

³⁵⁸ Vgl. oben, das Ende vom §2.d.

³⁵⁹ Vgl. Baç, M. (2000), S. 45-46: „there is an important similarity between the two philosophers-scientists [Mach und Hertz] regarding the way they view classical mechanics. Both agreed that Newtonian mechanics is problematic in that not all of the three laws deserve the status of empirical generalizations – which means that there is a conventional element in the classical trio“.

³⁶⁰ Vgl. Poincaré (2003 [1902]), Kap. VI.

³⁶¹ Poincaré (2003 [1902]), S. 144.

³⁶² Vgl. Poincaré (2003 [1902]), S.144.

³⁶³ Vgl. z.B. Poincaré (2003 [1902]), S. 146 : „Le principe d'inertie, qui n'est pas une vérité *a priori*, est-il donc un fait expérimental ? Mais a-t-on jamais expérimenté sur des corps soustraits à l'action de toute force, et si on l'a fait, comment a-t-on su que ces corps n'étaient soumis à aucune force ?“.

quelque chose aux inébranlables principes de la mécanique ; et cependant ce qui sort de l'expérience peut toujours être rectifié par l'expérience ».

Après ce que nous venons de dire, ces craintes paraîtront superflues. Les principes de la dynamique nous apparaissaient d'abord comme des vérités expérimentales ; mais nous avons été obligés de nous en servir comme définitions. C'est *par définition* que la force est égale au produit de la masse par l'accélération ; voilà un principe qui est désormais placé hors de l'atteinte d'aucune expérience ultérieure“.³⁶⁴

Die Prinzipien der Mechanik sind also laut Poincaré *deswegen* gegenüber jeglicher empirischen Falsifizierung sichergestellt, weil sie Definitionen sind, und nicht weil sie auf eine Realität hinweisen, von der die Erfahrung nur ein unvollkommenes Abbild ist – wie jene rationalistische Epistemologie suggerierte, die u.a. die Mechanik und den (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus hervorbrachte (vgl. oben, Kap. 2). Sehr wohl sind die Prinzipien der Mechanik von Gewissheit charakterisiert, aber „Cette certitude, c'est nous qui la [...] avons conférée pur ainsi dire librement, en la regardant come une convention“³⁶⁵. Die Erfahrung spielt auch eine Rolle, nicht aber als Bereich der möglichen Bestätigung der Prinzipien und der ausgewählten Konventionen, sondern als derer Entstehungszusammenhang und als „Prüfstand“ ihrer Nützlichkeit und Angemessenheit (nicht ihrer Wahrheit).

Diese konventionalistische Auffassung der Prinzipien der Mechanik seitens Poincaré wird schließlich der Physiker, Philosoph, und späteres Mitglied des Wiener Kreises Philipp Frank in einem 1907 veröffentlichten Aufsatz über „Kausalgesetz und Erfahrung“ auf „den in gewissem Sinn allgemeinsten Satz der theoretischen Naturwissenschaft, das Kausalgesetz, zu übertragen“ versuchen³⁶⁶. Das Kausalgesetz formuliert Frank in Bezug auf ein gewisses

³⁶⁴ Poincaré (2003 [1902]), S. 162.

³⁶⁵ Poincaré 2003 [1902], S. 170. Poincaré hatte sich schon in den 1880er Jahre vom im 19. Jh. herrschenden Mechanismus distanziert, indem er viele seiner Vorlesungen der Arbeit von Maxwell im Bereich der Elektromagnetismus widmete, obwohl diese Arbeit aufgrund der schwierigen Zurückführbarkeit elektromagnetischer Phänomene auf der Mechanik mit Skeptizismus konfrontiert war (vgl. Sinigaglia 2003, S. XVI). 1902 erklärt Poincaré seine Position gegenüber dem Mechanismus, wie folgt: „Si donc un phénomène comporte une explication mécanique complète, il en comportera une infinité d'autres qui rendront également bien compte de toutes les particularités révélées par l'expérience“ (Poincaré 2003 [1902], S. 323). Mehr über Poincaré unten, im §6.b.

³⁶⁶ Frank (1907), S. 443: „Der französische Mathematiker Henri Poincaré hat in den beiden naturphilosophischen Schriften ‚Wissenschaft und Hypothese‘ und ‚Wert der Wissenschaft‘ den Standpunkt vertreten, daß viele von den allgemeinsten Sätzen der theoretischen Naturwissenschaft (z.B. das Trägheitsgesetz, der Satz von der Erhaltung der Energie usw.), von denen man oft nicht recht weiß, ob sie empirischen oder apriorischen Ursprungs sind, in Wirklichkeit weder das eine noch das andere sind, sondern rein konventionelle, von der menschlichen Willkür abhängige Festsetzungen. Es soll der Zweck dieser Arbeit sein, diese Auffassung auf den in gewissem Sinn allgemeinsten Satz der theoretischen Naturwissenschaft, das Kausalsatz, zu übertragen“.

System so: „Folgt einmal [sic!] auf den Zustand A der Zustand B, so folgt jedes Mal auf A der Zustand B“³⁶⁷. Mit Bezug auf das so definierte Kausalgesetz vertritt er dann folgende These:

Das Kausalgesetz [...] lässt sich durch Erfahrung weder bestätigen noch widerlegen, aber nicht aus dem Grunde, weil es eine a priori denknotwendige Wahrheit wäre, sondern weil es eine rein konventionelle Festsetzung ist.³⁶⁸

Frank macht dann darauf aufmerksam, dass man z.B. die Definition physikalischer Zustände beliebig anpassen kann, so dass das Kausalgesetz immer gilt³⁶⁹. Darin sieht er sogar die Aufgabe der theoretischen Wissenschaft: „die Körper mit den fiktiven Eigenschaften auszustatten, die erst die Geltung des Kausalgesetzes sichern“ (Frank 1907, S. 447).

Auf eine gewisse Kontinuität zwischen der „neuesten Naturphilosophie“ und dem kritischen Idealismus, von dem das vorliegende Kapitel ausgegangen ist, macht Frank aufmerksam:

[...] so erneuert die neueste Naturphilosophie in überraschender Weise den Grundgedanken des kritischen Idealismus, daß Erfahrung nur einen Rahmen ausfüllt, den der Mensch schon von Natur aus mitbringt; nur daß die alten Philosophen diesen Rahmen für ein notwendiges Gewächs der menschlichen Organisation hielten, während wir in ihm ein Erzeugnis menschlicher Willkür erblicken.³⁷⁰

Besser hätte man die Entwicklungen, die ich in diesem Kapitel verfolgt und rekonstruiert habe, nicht zusammenfassen können.

Schluss

Die absolute Exaktheit, die vollkommen genaue eindeutige Bestimmung der Folgen einer Voraussetzung besteht in der Naturwissenschaft (ebenso wie in der Geometrie) nicht in der sinnlichen *Wirklichkeit*, sondern nur in der *Theorie*.³⁷¹

³⁶⁷ Frank 1907, S. 445-446. Diese Formulierung ist ziemlich eigenartig, denn die auf Induktion basierte Herausfindung von Kausalverhältnissen würde offensichtlich mehr als *einen* Fall („einmal“) als Evidenz verlangen.

³⁶⁸ Frank (1907), S. 444.

³⁶⁹ „Wenn das Kausalgesetz nach einer Definition des Zustandes nicht erfüllt ist, definieren wir den Zustand eben so, daß das Gesetz erfüllt ist. Wenn dem aber so ist, verwandelt sich das scheinbar eine Erkenntnis aussagende Gesetz in eine bloße Definition des Wortes ‚Zustand‘“ (Frank 1907, S. 446-7; vgl. auch oben, §1.a und 1.b).

³⁷⁰ Frank (1907), S. 447-8.

³⁷¹ Mach (2008 [1911⁶]), S. 465-466.

Diese Behauptung Machs bringt die Bedeutung der Entwicklungen, die im Zentrum dieses Kapitels standen, für die Determinismusfrage sehr gut auf den Punkt³⁷². Der wissenschaftliche Determinismus ist im Grunde ein theoretisches, und insbesondere ein mathematisches Konstrukt. Dass dieses Konstrukt eben ein solches, und kein eins-zu-eins Abbild der Realität an sich ist, konnte nur dadurch sichtbar werden, dass die Realitätsbezogenheit der „Natur“gesetze in Frage gestellt wurde. Dabei muss man allerdings bedenken, dass diese Infragestellung und Relativierung des Gültigkeitsanspruchs der wissenschaftlichen Gesetze und Theorien keiner Leugnung ihrer Gültigkeit gleichkommt und keine Behauptung ihrer Willkürlichkeit impliziert. Dies macht eine schöne Metapher von John Norton klar:

[...] seeking causation in nature is akin to seeking images in the clouds. Different people naturally see different images. And different clouds incline us to seek different images. But once an image has been identified, we generally all see it. Moreover, the image is not a pure fiction. It is grounded in the real shape of the cloud; the nose on the face does correspond to a real lobe in the cloud³⁷³.

Im ersten Teil dieses Kapitels habe ich behauptet, dass die Kantische Philosophie einen wesentlichen Beitrag zur Relativierung der Realitätsbezogenheit der Gesetze – und somit des impliziten wissenschaftlichen Determinismus – leistete, indem sie die Gesetzmäßigkeit der Natur als Ergebnis einer (laut Kant notwendigen) Denkform des menschlichen Erkenntnissubjekts erscheinen ließ, und die Idee einer deterministischen Welt als ein bloß regulatives – zugleich problematisch und heuristisch fruchtbares – Konzept für die Naturwissenschaften auffasste. Wenn Kant also als Vertreter eines wissenschaftlichen Determinismus betrachtet werden soll, dann aber nur mit der zusätzlichen Präzisierung, dass es sich um einen wissenschaftlichen Determinismus im normativen Sinne handelte, und auch dies nur mit Bezug auf die Naturwissenschaften.

Kant stellte – auf eine noch frühe und allgemeine Weise – jene Frage, die später als „Anwendungsproblem“ bekannt geworden ist, und die einige Physiker des 19. Jahrhunderts – wie wir gesehen haben – präziser formuliert und auf ihre mathematischen Konstrukte bezogen haben: inwiefern entsprechen die deterministischen mathematischen Gleichungen der Realität bzw. die mathematischen (Voraus)berechnungen der realen Entwicklung der Welt?

³⁷² Zur allgemeinen Problematik des Realitätsbezugs der Physik (aus historischer Perspektive) vgl. Wahsner – Borzeszkowski (1992).

³⁷³ Norton (2003), S. 15.

Jene Übereinstimmung zwischen theoretischen bzw. mathematischen Konstrukten und Realität, die der rationalistische Realitätsbegriff unmittelbar und „dogmatisch“ garantierte (vgl. oben, Kap. 2), wird ab dem späten 18. und vor allem im Laufe des 19. Jahrhunderts auf zwei miteinander verbundene Weisen in Frage gestellt. Einerseits werden die Prinzipien und die Gesetze der Physik – wie gesagt – als Denkformen des Erkenntnissubjekts gesehen. Während Kant paradoxerweise diesen Schritt gemacht hatte, um gerade ihre *a priori* Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit zu garantieren, führte dieser Schritt im Laufe des 19. Jahrhunderts – wie wir gesehen haben – zu einer Relativierung ihres Wahrheits- und Gültigkeitsanspruchs: wenn die Gesetze bloß Denkformen sind, wird es ziemlich natürlich, zu denken, dass sie die Realität nur selektiv – also nur teilweise – begreifen. Unter dem Einfluss der Evolutionstheorie konnte man überdies im späten 19. Jh. auf den Gedanken kommen, dass diese „selektive Wahrnehmung“ der Realität die Phänomene nach den biologischen menschlichen Bedürfnissen sortiert. Wenn man dazu noch anhand der historischen Entwicklung der Mechanik bemerkte, dass die Form ihrer Gesetze sich historisch geändert hatte, konnte man einsehen, dass verschiedene Art und Weisen, die Realität nach Gesetzen zu „ordnen“ möglich sind, und dass diese einen vorläufigen und hypothetischen Charakter haben. Vor dem Hintergrund dieses modernen Wissenschaftsverständnisses kommt dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus, der in der Mechanik enthalten ist, eine andere Bedeutung zu: die Welt kann höchstens in einer gewissen Hinsicht, oder relativ zu gewissen Merkmalen, oder dank gewisser Ordnungsformen des erkennenden Subjekts als „deterministisch“ erscheinen.

1905 spannte der dänische Philosoph Harald Høffding in einem Vortrag den Bogen von der kritischen Erkenntnistheorie Kants zu der zuletzt erwähnten konventionalistischen oder pragmatischen Wissenschaftsauffassung, wie folgt:

If we observe the tendency which in these later years manifests itself in the discussions on the first principles of science, we find that the evidence of the validity of these principles more and more is found in their applicability. The right to set up a principle is founded on the fact that it leads us to a connexion between phenomena which otherwise would be obscure and sporadic. The truth of principles, then, does not consist in their conformity to an absolute order of things [...] We ourselves produce the truth, when we find the principles, which can connect the phenomena in greatest extension and in highest degree. A critical or dynamical conception of truth is making its way, in opposition to the dogmatic concept of truth which can be designated static, because it supposes a given quiescent order of things which then is to be reproduced in thought. This is nothing new for the philosopher. *The critical philosophy*, already, postulated a dynamical concept of truth, when it pointed out that objective validity

consists in the lawful connection of phenomena. But it is of no small importance that not only philosophers but also scientists as Clerk Maxwell, Ernst Mach and Heinrich Hertz, go in this direction.³⁷⁴

Neben der in diesem Kapitel betrachteten „Ent-ontologisierung“ der wissenschaftlichen Theorien und der in ihnen enthaltenen determinierenden Verhältnisse fand aber im Laufe des 19. Jahrhunderts auch ein weiterer Prozess der Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus statt. Wie wir im vorigen Kapitel gesehen haben, basierte der klassische implizite wissenschaftliche Determinismus wesentlich auf einem gewissen mathematischen Platonismus bzw. auf dem von mir so genannten rationalistischen Realitätsbegriff. Dieser schützte die deterministischen, mathematisch ausgedrückten Prinzipien und Gesetze der „Physik“ (eigentlich noch *mathesis mixta*) von jeder Widerlegung durch die Erfahrung, und garantierte damit der Wissenschaft jenen absoluten Gültigkeits- und Wahrheitsanspruch, den sie nach der klassischen Wissenschaftsauffassung haben musste (um überhaupt als Wissenschaft zu gelten). Dementsprechend wurde der implizite wissenschaftliche Determinismus im Laufe des 18. und des 19. Jahrhunderts auch dadurch geschwächt, dass der Erfahrung – die ja immer einen gewissen Grad an Unbestimmtheit bzw. Unvorhersagbarkeit enthält – eine wichtigere erkenntnistheoretische Rolle zugeschrieben wurde. Wie eine Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus daraus folgte: das soll im nächsten Kapitel gezeigt werden.

³⁷⁴ Höffding, „On Analogy and its Philosophical Importance“ (1905), zit. in: Christiansen (2006), S. 11; meine Hervorgebungen.

4. Die Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus in Bezug auf seine *Festigkeit*: das Eindringen der Wahrscheinlichkeit in die Wissenschaft im Laufe des 19. Jahrhunderts

Einleitung

Im Kap. 2 habe ich auf die entscheidende Rolle hingewiesen, die das klassische (rationalistische) Wissenschaftsverständnis für die Entstehung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus gespielt hat. Die klassische Wissenschaftsauffassung erkannte nur jener Erkenntnis den epistemologischen *Status* der Wissenschaftlichkeit an, die Gewissheit garantieren konnte. Die Mechanik war – in der Zeit zwischen ihrer Entstehung und dem 19. Jh. – eben dank ihres mathematischen Charakters und ihrer deduktiven, systematischen Struktur das Paradebeispiel wissenschaftlicher Erkenntnis: sie schien, auf allgemeinen und notwendigen Prinzipien (die also von einer apodiktischen Gewissheit charakterisiert waren) zu beruhen, aus denen sich ebenso absolut gewisse Sätze deduktiv ableiten ließen. In diesem Rahmen wurden Kausalverhältnisse nach dem deduktiven Muster der Implikation oder der mathematischen Berechnung modelliert: was Ersteres betrifft, habe ich schon auf die Verflechtung zwischen Kausalprinzip und Satz vom zureichenden Grunde mehrmals hingewiesen, dank der der Unterschied zwischen Gründen und Ursachen verwischt wurde. Was Letzteres betrifft, habe ich im Kap. 2 die Annahme einer unmittelbaren Übereinstimmung der mathematischen Beschreibung „physikalischer“ Zustände mit der Realität als wesentliche Voraussetzung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus erwähnt, während die Infragestellung dieser Annahme als Auftauchen des „Anwendungsproblems“ im vorigen Kapitel beschrieben wurde.

Wenn es stimmt, dass eine rationalistische Epistemologie den Hintergrund des impliziten wissenschaftlichen Determinismus darstellte und den impliziten wissenschaftlichen Determinismus vor aller empirischen Widerlegung schützte, kann man erwarten, dass die Entwicklung und die Verstärkung eines empiristischen Standpunkts in Bezug auf das Wissen und insbesondere auf die Wissenschaft eine weitere (neben derjenigen, die im letzten Kapitel untersucht wurde) Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus bedeuten musste. Tatsächlich blieb jene empiristische Einstellung, die sich ab dem 18. Jh. in der Philosophie und in der Wissenschaft verbreitete und die im 19. Jh. die Wissenschaftsauffassung der Wissenschaftler stark prägte, für den impliziten

wissenschaftlichen Determinismus nicht ohne Folgen. Sowohl vom rationalistischen als auch vom empiristischen Standpunkt her wurde immer die Tatsache anerkannt, dass Erfahrung höchstens zu einem Wissen führt, das mit Wahrscheinlichkeit gilt³⁷⁵. Jener Grad an Unbestimmtheit bzw. Unvorhersagbarkeit, der in der Erfahrung immer enthalten ist, galt lange als Zeichen einer mangelhaften Erkenntnis. Sogar der Empirist Hume³⁷⁶ glaubte, dass nur mathematische Erkenntnis echte Erkenntnis ist, während empirische Erkenntnis – inklusive der induktiven Erkenntnis bezüglich Kausalverhältnisse – kein echtes „knowledge“ ist³⁷⁷. Allerdings koppelte Hume die Kausalität vom deduktiven Muster der Implikation explizit ab, und „entzog“ somit die Kausalität dem Bereich der deduktiven, „echten“ Wissenschaften³⁷⁸. Am wichtigsten ist aber, dass er dieser Art nicht-gewisser Erkenntnis (d.h. der empirischen, kausalen Erkenntnis) eine neue Würde zuerkannte:

Those philosophers, who have divided human reason into *knowledge and probability*, and have defin'd the first to be *that evidence, which arises from the comparison of ideas*, are oblig'd to comprehend all our arguments from causes or effects under the general term of probability. But tho' every one be free to use his terms in what sense he pleases [...] 'tis however certain, that in common discourse we readily affirm, that many arguments from causation exceed probability, and may be receiv'd as a superior kind of evidence. One wou'd appear ridiculous, who wou'd say, that 'tis only probable the sun will rise tomorrow, or that all men must dye; tho' 'tis plain we have no further assurance of these facts, than what experience affords us. For this reason, 'twould perhaps be more convenient, in order [...] to [...] mark several degrees of evidence, to distinguish human reason into three kinds, viz. *that from knowledge, from proofs, and from probabilities*.³⁷⁹

³⁷⁵ Wie schon gemerkt, bedeutete das im Lichte des erwähnten klassischen Wissenschaftsverständnisses, dass Erfahrung niemals die Aussagen (und Voraussagen) der Mechanik hätte widerlegen können, denn ihr höchstens wahrscheinliches „Wissen“ hätte nie die epistemologische Würde der Wissenschaftlichkeit beanspruchen können.

³⁷⁶ Hume (1978 [1739/40]) enthält einen ganzen Teil (Part III) mit dem Titel „Of knowledge and probability“.

³⁷⁷ Hume (1978 [1739/40]), insb. „Section I: Of Knowledge“ und „Section II: Of probability; and of the idea of cause and effect“.

³⁷⁸ Hume (1978 [1739/40]), „Section III: Why a cause is always necessary“, wo er u.a. den Satz vom zureichenden Grunde widerlegt (S. 78-79). Schon Berkley hatte 1710 die Naturgesetze von dem deduktiven Muster abgekoppelt: „Dass uns Speise nährt, Schlaf erfrischt, Feuer wärmt, dass das Säen zur Saatzeit die Voraussetzung ist, um im Herbst zu ernten, und überhaupt, dass bestimmte Mittel dazu dienen, bestimmte Zwecke zu erreichen – all das erkennen wir nicht dadurch, dass wir irgendeine notwendige Verbindung zwischen unseren Ideen entdecken, sondern nur dadurch, dass wir die beständigen Naturgesetze beobachten, ohne die wir in völliger Ungewissheit und Verwirrung wären [...]“, „Denn wenn wir feststellen, dass bestimmte sinnliche Ideen beständig von anderen Ideen begleitet werden, und wenn wir wissen, dass dies nicht unser eigenes Werk ist, so schreiben wir sofort Kraft und Wirksamkeit den Ideen selbst und halten die eine für die Ursache der anderen. Dennoch kann nichts absurder und unverständlicher sein als das.“ (Berkeley 2005 [1710], S. 52-53).

³⁷⁹ Hume (1978 [1739/40]), S. 124. Hume definiert dann die drei erwähnten Erkenntnisarten, wie folgt: „By knowledge, I mean the assurance arising from the comparison of ideas. By proofs, those arguments, which are deriv'd from the relation of cause and effect, and which are entirely free from doubt and uncertainty. By probability, that evidence, which is still attended with uncertainty“. In der folgenden „Section“ beschäftigt sich aber Hume mit der „probability of causes“, und er subsumiert somit das kausale Denken dem Bereich der Wahrscheinlichkeit bzw. des induktiven Schlusses.

Diese neue Anerkennung hängt offensichtlich mit dem *differenzierenden* Blick Humes auf die „nicht-gewisse Erkenntnis“ zusammen: ein Teil dieser Erkenntnis ist zwar nicht gewiss, aber er gilt mit einem mehr oder weniger hohem Grad der Wahrscheinlichkeit – und dieser Grad kann in vielen Fällen sogar berechnet werden. Zur Zeit Humes war der Wahrscheinlichkeitsbegriff zwar immer noch nicht systematisch ganz geklärt worden, aber schon genug entwickelt, um eine differenzierte Auffassung empirisch fundierter Erkenntnis zu ermöglichen. Zur Zeit der Aufklärung wurde sogar der Rationalitätsbegriff u.a. durch die Fähigkeit definiert, in einer Lage mangelnden Wissens anhand der Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung rationale Erwartungen und Überzeugungen zu haben und rationale Entscheidungen zu treffen³⁸⁰: man konnte also offensichtlich auch ohne Gewissheit wenigstens die Bedingungen der Rationalität (wenngleich nicht jene der Wissenschaftlichkeit) erfüllen.

Ebenfalls auf das 18. Jh. sind jene entscheidenden Entwicklungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung zurückzuführen, die zu den wesentlichen Voraussetzungen der in der Sekundärliteratur sogenannten „probabilistic revolution“³⁸¹ gehören. Ausgangspunkt und Triebkraft dieser „Revolution“, die hauptsächlich im 19. Jh. stattfand³⁸², war die Feststellung *statistischer Regelmäßigkeiten* bzw. *statistischer Gesetzmäßigkeiten* innerhalb sowohl der Natur- als auch der Sozialwissenschaften. Es folgte die Anerkennung der Realitätsbezogenheit oder wenigstens der Wissenschaftlichkeit jener Erkenntnis, die keine Gewissheit garantieren kann, und jener Gesetzmäßigkeit, die nicht in jedem (Einzel)fall die Anforderungen der deterministisch aufgefassten Kausalität erfüllte. Im Laufe dieser Entwicklung, wurden nicht-deterministische, sondern statistische Modelle der Kausalität und der Gesetzmäßigkeit allmählich ein wesentlicher Teil wissenschaftlicher Theorien, so dass der implizite wissenschaftliche Determinismus allmählich geschwächt wurde. Innerhalb der Wissenschaft bedeutete nämlich die Anerkennung der Wissenschaftlichkeit statistischer Aussagen wenigstens, dass zwei schon erwähnte (vgl. oben, Kap. 3, Einleitung)

³⁸⁰ Vgl. Daston (1995²), insb. Kap. 2.

³⁸¹ *The Probabilistic Revolution* ist der Titel eines Werks in zwei Bänden, das von Krüger und anderen 1987 herausgegeben wurde (Vgl. Krüger / Daston / Heidelberger (Hrsg. 1987) und Krüger / Gigerenzer / Morgan (Hrsg. 1987)). Ein weiterer, für dieses Thema sehr relevanter Sammelband mit dem Titel *The Empire of Chance* erschien zwei Jahre später (Gigerenzer *et al.* 1989). Sehr wichtig in Bezug auf diese Thematik sind auch die historischen Untersuchungen von Hacking (1975; 1983; 1987a; 1990) und von Porter (1986; 2003) über Wahrscheinlichkeit und Statistik.

³⁸² Die Autoren des historischen ersten Bandes von *The Probabilistic Revolution* (Krüger / Daston / Heidelberger Hrsg. 1987) beziehen sich auf die Zeitspanne 1800-1930 und diskutieren aus verschiedenen Perspektiven, ob und inwiefern der von ihnen untersuchten historischen Prozess eine „echte“ Revolution darstellte (vgl. insbesondere Cohen 1987, Hacking 1987a und Kamlah 1987)

Voraussetzungen, auf denen der implizite wissenschaftliche Determinismus basierte, in der wissenschaftlichen Beschreibung oder Erklärung der Welt entbehrlich wurden:

- Aus jedem bestimmten Zustand eines Systems zur Zeit t_0 schließt man durch mathematische Berechnung zu *einem* genau so bestimmten Zustand dieses Systems zu jedem anderen beliebigen Zeitpunkt.
- Die Beschränktheit unserer Fähigkeit, einen Zustand mit vollkommener Präzision zu beschreiben und/oder einen späteren Zustand genau vorherzusagen, kann – als kontingente menschliche Erfahrung – die vom impliziten wissenschaftlichen Determinismus behauptete strenge Gesetzmäßigkeit der Welt nicht widerlegen, *weil* empirische Erkenntnis eine unvollkommene Erkenntnisform darstellt.

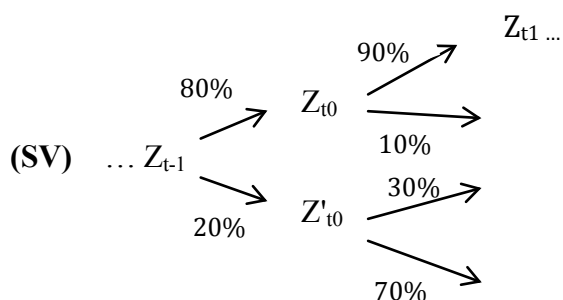
Auch wenn statistische Aussagen in der Wissenschaft auf statistischen *Gesetzen* (sowie auf *Wahrscheinlichkeitsrechnung*) basieren, erreicht ihre determinierende Macht nicht die „Festigkeit“ des klassischen wissenschaftlichen Determinismus (sowie oben, §1.b., definiert). An der Stelle des eindeutig determinierenden Verhältnisses, das im §1.a wie folgt dargestellt wurde:

$$(WD^e) \dots Z_{t-1} \leftrightarrow Z_{t0} \leftrightarrow Z_{t1} \dots$$

oder:

$$(WD^z) \dots Z_{t-1} \rightarrow Z_{t0} \rightarrow Z_{t1} \dots,$$

tritt die Mehrdeutigkeit der statistischen Voraussagen, z.B.:



Damit geht u.a. jene Reversibilität verloren, die für den klassischen Determinismus typisch war, und die die oben erwähnte Formulierung (WD^e) zum Ausdruck bringt.

Selbstverständlich handelt sich dabei eben nur um eine Schwächung, und nicht um eine Widerlegung des Determinismus: der Determinist kann immer noch behaupten, dass die auf Statistik basierenden wissenschaftlichen Theorien einfach noch nicht vollkommen sind. Eine nicht-deterministische Wissenschaft bzw. eine nicht-deterministische wissenschaftliche Theorie wäre also nur deswegen nicht-deterministisch, weil sie nicht das letzte Wort über die

Beschaffenheit der Welt wäre. Es wäre also nun die Wissenschaft, die die Anforderung des „echten“ Wissens nicht erfüllen würde.

Historisch gesehen ist die Geschichte der Anerkennung der Würde und des Wahrheitsinhalts eines Wissens, das einen Grad an Unbestimmtheit und Unvorhersagbarkeit zulässt, die Geschichte einer Überwindung des Determinismus „von innen“: zuerst konnten sich statistische *Gesetze* dank ihres *determinierenden* Charakters als wissenschaftliche Gesetze durchsetzen; erst nachdem sich diese Anerkennung etabliert hatte, konnten sich die Indeterministen auf den Grad an Unbestimmtheit berufen, den solche Gesetze offen lassen³⁸³. Man könnte die statistische Gesetzmäßigkeit quasi als ‚trojanisches Pferd‘ des Indeterminismus auffassen.

Es sind also zwei „Bewegungen“, die wir in diesem Kapitel verfolgen müssen, von denen die zweite die erste voraussetzt: zuerst müssen wir verstehen, wie die statistischen Gesetze dank ihres *determinierenden* Charakters in der Wissenschaft sich durchsetzen konnten. Dafür wird notwendig sein, eine etwas andere Art von Physik, d.h. die *physique sociale*, in Betracht zu ziehen, und damit die Frage nach dem Verhältnis zwischen Natur- und Sozialwissenschaften mit Bezug auf den Determinismus zu stellen. Erst danach wird es möglich werden, die Art und Weise zu untersuchen, in der die Statistik innerhalb der Physik eine Verunsicherung in Bezug auf den impliziten wissenschaftlichen Determinismus bedeutete.

a. Das trojanische Pferd: die Aufnahme probabilistischen Wissens in die Wissenschaft. Klassische Wahrscheinlichkeitsrechnung und Fehlertheorie

Statistische Methoden erweisen schon seit Jahrhunderten dem wissenschaftlichen Determinismus einen entscheidenden Dienst: auf sie stützt sich ein Begriff, der für die Widerlegungsresistenz des wissenschaftlichen Determinismus von fundamentaler Bedeutung ist – der von „Approximation“. Im Bezug auf die Prinzipien der Mechanik schrieb Poincaré (2003 [1902], S. 211):

³⁸³ Vgl. Porter (1986), S. 150: “[statistics] was almost universally associated with an impressive extension of the domain of knowledge, and not with its limitations. The more sceptical view of statistics that gained influence during the 1860s and 1870s was largely a reaction to the extravagance of its pretensions”. Hacking (1987), S. 52 (er bezieht sich auf den Zeitraum 1800-1930): „I have two complementary labels [...]: the *taming of chance* and the *erosion of determinism*. [...] Determinism was eroded precisely by making chance manageable, intelligible, existent, and governed by laws of probability“. Gigerenzer *et al.* (1989, S. 60): „[...] the recognition within science of a role for chance in the world was a byproduct of what Ian Hacking refers to as its taming“.

Comment une loi peut-elle devenir un principe? Elle exprimait un rapport entre deux termes réels A et B. Mais elle n'était pas rigoureusement vraie, elle n'était qu'approchée. Nous introduisons arbitrairement un terme intermédiaire C plus ou moins fictif et C est *par définition* ce qui a avec A *exactement* la relation exprimée par la loi.

Alors notre loi s'est décomposée en un principe absolu et rigoureux qui exprime le rapport de A à C et une loi expérimentale approchée et révisable qui exprime le rapport de C à B.

Aus empiristischem Standpunkt erscheint jene Exaktheit, mit der die Naturgesetze laut dem wissenschaftlichen Determinismus gelten sollen, immer wieder von der Erfahrung widerlegt. Im Kap. 2 haben wir gesehen, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus jahrhundertlang trotzdem nicht hinterfragt wurde, und die absolute Gültigkeit der Gesetze der Mechanik *qua* Prinzipien (oder *qua* aus Prinzipien deduktiv ableitbare Sätze) *a priori* galt („par définition“ wird später der Konventionalist Poincaré sagen), weil die Erfahrung als Erkenntnisquelle diskreditiert wurde und außerdem weil die Mechanik – so hat z.B. Pulte behauptet (vgl. oben, §2.c) – nicht auf einer Praxis der wirklichen Messungen basierte. Diese letzte Behauptung ist aber nun insofern zu relativieren, als Messungen wenigstens innerhalb jenes Teils der Mechanik, der die Himmelskörper betraf (genauer: innerhalb der beobachtenden Astronomie) sehr wohl eine wichtige Rolle gespielt haben³⁸⁴. Es war genau in diesem Kontext, dass statistische Methoden erstmals in der Wissenschaft an Wichtigkeit gewannen.

Der schon mehrmals erwähnte Pierre-Simon de Laplace ist nicht nur der Autor des Standardwerks der klassischen Wahrscheinlichkeitsrechnung (*Théorie analytique des probabilités*, 1812 erstmals veröffentlicht, ab der zweiten Auflage 1814 zusammen mit dem *Essai philosophique sur les probabilités* als Einführung veröffentlicht³⁸⁵) sondern auch der „Hauptheld“ der Entwicklung der statistischen Methoden in der astronomischen Fehlertheorie gewesen³⁸⁶. Schon seit der Mitte des 18. Jahrhunderts gab es unter Astronomen Debatten und Versuche in Bezug auf die beste Weise, die Messungsergebnisse der beobachtenden Astronomie zu verwenden. Die zwei Hauptfragen dabei waren: (1) wie man aus einer Reihe unterschiedlicher Messungsergebnisse derselben Größe zu einer verlässlichen Einschätzung

³⁸⁴ Vgl. Swijtink (1987).

³⁸⁵ Über die zentrale Rolle dieses Werks im 19. Jh. vgl. insb. Kamlah (1987) und Schneider (1987), die über die Dominanz von Laplace im ganzen 19. Jh. übereinstimmen und jedoch den wissenschaftlichen Wert der Laplaceschen Arbeit unterschiedlich einschätzen.

³⁸⁶ „From about 1750 through 1850, astronomers overcame one conceptual obstacle after another to reach a point where probability-based statistical methods were a commonplace in astronomical work. It was a heroic struggle, and Laplace was the principal hero.” (Stigler 1987, S. 288). „Laplace defined for subsequent generations both the class of problems to which error analysis could be fruitfully applied and the method for doing so.” (Porter 1986, S. 94-95). Vgl. auch Brian (2001 [1994]), insb. S. 113-115.

des realen Wertes dieser Größe schließen soll, und (2) wie man die Verlässlichkeit dieser Einschätzung wiederum einschätzen kann. Es ging also darum – in der Sprache der Wahrscheinlichkeitstheorie – (1) den „wahrscheinlichsten“ Wert der Größe anhand unterschiedlicher Beobachtungsergebnisse zu finden, und (2) die Wahrscheinlichkeit zu finden, dass dieser wahrscheinlichste Wert mit einer gewissen Approximation dem realen Wert entspricht.

Um zu verstehen, wie die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung den Astronomen Hilfe bieten konnte (und worauf Laplace seine entscheidende Arbeit basieren konnte) muss man einen kurzen Rückblick auf diese Entwicklung werfen.

Die Wahrscheinlichkeitsrechnung hatte sich ab der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts auf eine ziemlich unübersichtliche Weise entwickelt: sie wurde nicht als mathematische Theorie entwickelt, die unabhängig von allen Anwendungen gilt und selbstständig ausgearbeitet werden kann, sondern sie existierte nur als zerstreute Menge mathematischer Modelle von unterschiedlichsten Sachverhalten in den unterschiedlichsten Bereichen³⁸⁷. Die Mathematik der Glücksspiele, die Bearbeitung der Sterblichkeits- und Geburtenziffer zwecks bürokratischer Verwaltung, die Einschätzung von Hypothesen im Lichte einer gewissen Evidenz im gerichtlichen Kontext, die ersten Formen der Entscheidungstheorie, die Modelle der empiristischen Assoziationspsychologie, die ersten Einschätzungen induktiver Evidenz der „minor sciences“ (z.B. Medizin, Astrologie, Alchimie, Geologie), die ersten Formen der astronomischen Fehlertheorie sind alle Bereiche, in denen die Wahrscheinlichkeitsrechnung zwischen der Mitte des 17. Jahrhunderts und dem 18. Jh. entwickelt wurde, ohne dass sie als eigenständige Theorie anerkannt gewesen wäre³⁸⁸. Zwischen den verschiedenen Anwendungen wurden höchstens Analogien identifiziert³⁸⁹: das analoge Denken wird auch in der Entwicklung der Statistik eine entscheidende Rolle spielen, wie wir sehen werden. In seiner *Théorie analytique* bringt Laplace die meisten dieser Modelle unter einen Hut und fixiert die klassische Wahrscheinlichkeitsauffassung.

³⁸⁷ Vgl. Hacking (1975), S. 4 („Only very recently has probability theory been hardy enough to create its own problems and generate its own programs of research. The stimulus used to come from other disciplines“) und Gigerenzer *et al.* (1989), S. xiii-xiv.

³⁸⁸ Zur Geschichte der Wahrscheinlichkeitstheorie bis dem Anfang des 19. Jahrhunderts vgl. insb. Hacking (1975); Gigerenzer *et al.* (1989), Kap. 1; Daston (1995²); Brian (2001 [1994]). Einen kurzen Überblick auf die Entwicklung des probabilistischen Denkens bietet Brian (2009), § 1.2.; einen längeren Überblick auf die Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie samt ihrer unterschiedlichen Anwendungen biete ich (auf Italienisch) in Romizi (2009).

³⁸⁹ Ein interessantes Beispiel davon ist die Analogie zwischen der sogenannten „mathematischen Erwartung“ und der Lebenserwartung im 18. Jh. (vgl. Hacking 1975, S. 99).

Was den Hintergrund der Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie auf die Astronomie betrifft, war die erste relevante Voraussetzung der Satz von Bernoulli. Er erschien 1713 im vierten Teil der *Ars conjectandi*, einem Werk von Jakob Bernoulli, das *posthum* von seinem Neffe Nikolaus Bernoulli veröffentlicht wurde. Der Satz gilt normalerweise für Versuche mit Zufallsergebnissen, bei denen nur zwei Versuchsausgänge möglich sind (z.B. Schwarz/Weiß; Zahl/Wappen; Erfolg/Misserfolg). Sein Inhalt kann ausgedrückt werden, wie folgt: die Wahrscheinlichkeit, dass die empirisch festgestellte relative Häufigkeit der Versuchsausgänge mit ihrer „realen“ Wahrscheinlichkeit übereinstimmt, strebt gegen 1 (d.h. gegen die Gewissheit), wenn die Anzahl der Versuche gegen die Unendlichkeit strebt.

Da der Satz im Zusammenhang mit Modellen von Glücksspielen entstand, war es nicht schwierig, sich die „realen“ Wahrscheinlichkeiten *a priori* vorzustellen: Münzen, Würfel oder Urnen mit weißen und schwarzen Kugeln sind Zufallmechanismen, die aufgrund ihrer physikalischen Symmetrie sehr leicht die entsprechenden Grundgesamtheiten und Wahrscheinlichkeitsverteilungen *a priori* identifizieren lassen. Wenn die Wahrscheinlichkeiten erst einmal *a priori* bekannt sind, kann man den Satz von Bernoulli problemlos anwenden, um aufgrund vorgefundener Häufigkeiten bei der nächsten Ziehung eine „rationale“ Erwartung in Bezug auf das Ergebnis zu haben (*direkter statistischer Schluss*). Der Satz von Bernoulli erlaubt uns, zu berechnen, in welchem Ausmaß die Verlässlichkeit unserer Prognose bei wachsender Anzahl der schon gemachten Versuche und anhand der gefundenen Häufigkeiten wächst. Das Lieblingsbeispiel von Bernoulli betraf das Verhältnis zwischen schwarzen und weißen Kugeln in einer Urne. Nehmen wir an, dass ich das Verhältnis zwischen weißen und schwarzen Kugeln (d.h. die „realen Wahrscheinlichkeiten“ des jeweiligen Versuchungsergebnisses) *a priori* kenne. Wenn ich nach einer gewissen Anzahl von Ziehungen (mit Zurücklegen) mit einer gewissen Häufigkeit eine weiße Kugel gezogen habe, erlaubt mir der Satz von Bernoulli eine „rationale“ Erwartung in Bezug auf das Ergebnis der nächsten Ziehung zu haben, indem ich durch den Satz berechnen kann, wie verlässlich eine Prognose ist, die auf den schon festgelegten Häufigkeiten basiert.

Bernoulli wollte aber im vierten Teil seiner *Art conjectandi* die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf politische, ethische und wirtschaftliche Probleme anwenden, und in solchen Bereichen – z.B. im Fall der Berechnung der Lebenserwartungen oder der Berechnung von Versicherungsprämien – kann man die „realen Wahrscheinlichkeiten“ schwer *a priori* kennen. So kam Bernoulli auf die Idee, die *a priori* Wahrscheinlichkeiten anhand von festgestellten

Häufigkeiten zu bestimmen³⁹⁰, und stand somit plötzlich vor einem Problem des *indirekten* statistischen Schlusses: es ging nun darum, anhand von empirisch festgestellten Häufigkeiten, die „realen“ Wahrscheinlichkeiten zu berechnen. Der Satz von Bernoulli erlaubt aber an sich keinen solchen indirekten Schluss, denn man müsste die „realen“ Wahrscheinlichkeiten schon kennen, um zu wissen, wie viele Versuche notwendig sind, um aufgrund der Häufigkeiten eine verlässliche Einschätzung der „realen“ Wahrscheinlichkeiten zu machen³⁹¹. Der Grund dafür, dass er sein Werk nicht veröffentlichte, könnte darin liegen, dass sein Satz nicht dem Zweck diene, den Bernoulli verfolgte³⁹². Er vermutete offensichtlich nicht, dass sein Satz in zwei Hinsichten für die weitere Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Statistik von entscheidender Bedeutung sein würde. Erstens beweist der Satz, dass bei genügend oft wiederholten Versuchen (oder bei einer genügend großen Gesamtheit) die relative Häufigkeit der Zufallsergebnisse sich ihrer jeweiligen Wahrscheinlichkeit annähert, das heißt, dass die relative Häufigkeit *gegen einen Mittelwert strebt*. Als erstes bewiesene Konvergenztheorem³⁹³, oder als (schwaches) Gesetz der großen Zahlen³⁹⁴, brachte der Satz von Bernoulli die erstaunliche³⁹⁵ Tatsache der *statistischen Stabilität* erstmals deutlich ans Licht.

Zweitens hatte Bernoulli somit den Anstoß zur Suche einer Methode für den *indirekten Schluss* gegeben, sowie zur induktiven Ursachenforschung, denn seine Idee, die „realen“ Wahrscheinlichkeiten aufgrund der Häufigkeiten herauszufinden, wurde vom Anfang an auch als Anspruch aufgefasst, die Ursachen aufgrund der Wirkungen zu finden³⁹⁶.

1733 gab De Moivre dem Satz von Bernoulli eine noch stärkere Fundierung, indem er mathematisch bewies, dass die Versuchsreihen, bei denen die vorgefundenen Häufigkeiten den realen Wahrscheinlichkeiten am nächsten sind, auch die wahrscheinlichsten sind. Dabei führte er jene Exponentialfunktion ein, die später als astronomisches Fehlergesetz bekannt

³⁹⁰ Vgl. Sandrini (1987), S. 27.

³⁹¹ Vgl. Sandrini (1987), S. 30.

³⁹² Vgl. Hacking (1975), Kap. 16 und 17 und Daston (1995²), Kap. 5.2.

³⁹³ Vgl. Hacking (1975), Anfang Kap. 17.

³⁹⁴ „The phrase ‚law of large numbers‘ was coined by Poisson in 1835. To him, it referred to the proposition that the frequencies of events must, over the long run, conform to the mean of their probabilities when those probabilities fluctuate randomly around some fixed, underlying value. Virtually everyone else who recited the phrase in the nineteenth century made no distinction between Poisson’s theorem and the one in Jakob Bernoulli’s 1713 *Ars Conjectandi*, according to which the frequency of events must conform over the long run to the fixed probability governing each trial” (Porter 1986, S. 12).

³⁹⁵ Im 18. Jh. wurde die Existenz statistischer Regelmäßigkeiten oft als Beweis einer göttlichen Vorsehung dargestellt (vgl. Hacking 1975, Kap. 18 und Porter 1986, S. 50ff.).

³⁹⁶ Vgl. Daston (1995²), Kap. 5. Ich werde im Folgenden auf das Kausalitätsmodell, das im Zusammenhang mit der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie steht, zurückkommen.

und angewandt wurde, und die der von der Glockenkurve veranschaulichten Normalverteilung entspricht³⁹⁷.

Der indirekte statistische Schluss war auch das, was die Astronomen am meisten interessierte: es ging nämlich darum, aufgrund von Meßergebnissen auf die realen Werte der Größen zu schließen.

Ein fundamentales Instrument zur Durchführung indirekter statistischer Schlüsse wurde 1763 mit der ebenfalls *posthumen* Veröffentlichung des Bayestheorems geliefert. Das Bayestheorem erlaubt die Berechnung von bedingten Wahrscheinlichkeiten, und kann im Allgemeinen (für zwei nicht weiter spezifizierte Ereignisse A und B) so formuliert werden:

$$P(B|A) = P(B) \cdot P(A|B) / P(A),$$

d.h.: die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses B unter der Bedingung, dass das Ereignis A eingetreten ist, ist gleich dem Produkt von der *a priori* Wahrscheinlichkeit seines Eintretens und der bedingten Wahrscheinlichkeit für A unter der Bedingung, dass B eingetreten ist durch die *a priori* Wahrscheinlichkeit für das Eintreten von A.

Das Bayestheorem, das in dieser allgemeinen Form einfach ein Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung ist (d.h. es kann von den einfachsten Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung abgeleitet werden), wurde aber auch als Modell für indirekte Schlüsse von den *Wirkungen* auf die *Ursachen* (d.h. die Wahrscheinlichkeit einer Ursache unter der Bedingung des Eintretens der Wirkungen wird berechnet) und von einer gewissen Evidenz auf die Verlässlichkeit einer Hypothese (d.h. die Wahrscheinlichkeit einer Hypothese anhand einer gewissen Evidenz wird berechnet) interpretiert. Diese Art von Gedankengang konnte den Astronomen weiterhelfen, indem sie die Frage stellten: welchen realen Wert müsste die Größe haben (Ursache bzw. Hypothese), damit unsere Messfehler so verteilt sind, wie sie sind (Wirkung bzw. Evidenz)?

Natürlich ist man bei der Anwendung des Bayestheorems wieder mit dem Problem konfrontiert, dass man, um die bedingte Wahrscheinlichkeit für B zu kennen, die *a priori* Wahrscheinlichkeit von B und von A schon zuvor festlegen muss. Dieses Problem, das Bayes durch die klassische Annahme der „Gleichwahrscheinlichkeit“ der Ereignisse zu lösen suchte³⁹⁸, entzweit heute immer noch die Bayesianer untereinander und von den Frequentisten. Das Bayestheorem hat aber den Vorteil, dass man den Glauben an eine

³⁹⁷ Über die Arbeit von De Moivre vgl. Porter (1986), S. 93-94 und Hacking (1990), S. 106.

³⁹⁸ Vgl. Daston 1988, S. 270.

Hypothese oder die Wahrscheinlichkeit einer Ursache nach jeder Veränderung der Evidenz bzw. der beobachteten Wirkungen mit mathematischer Präzision (angenommen, dass die Evidenz oder die Wirkungen sich mathematisch ausdrücken lassen) anpassen kann.

In den 1770er Jahren fing Laplace an, die Ergebnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die unterschiedlichsten Fragen anzuwenden, die einen indirekten Schluss (von den beobachteten Häufigkeiten zu den realen Werten) vorsehen: auf Fragen der Demographie³⁹⁹, wie auch auf Fragen der Physik. Er verallgemeinerte die Ergebnisse von De Moivre (der sich nur auf Glücksspiele bezogen hatte) und fing an, seine Exponentialfunktion als Instrument für die Einschätzung astronomischer „Fehler“ (Abweichungen von den realen Werten) aufzufassen. Dabei wurde die Glockenkurve zur Veranschaulichung der Wahrscheinlichkeitsverteilung unterschiedlich großer Fehler bei wiederholten Beobachtungen. Das impliziert eine ziemlich gewagte Analogie, denn es ist überhaupt nicht selbstverständlich, dass mehrere Reihen von Meßergebnissen derselben Größe derselben Wahrscheinlichkeitsverteilung wie die Bernoulli-Verteilung (die Zufallsvariablen mit nur zwei möglichen Versuchsausgängen betraf) entsprechen.

Laplace befestigte aber in seiner *Théorie analytique* ein kausales Erklärungsmodell der Zufallsphänomene, das diese Analogie unterstützte⁴⁰⁰, und das in Bezug auf die Determinismusfrage sehr relevant ist. Erstens setzt er in diesem Werk die kausale Interpretation des Satzes von Bernoulli und des Bayestheorems fest: Laut Laplace würde der Satz von Bernoulli beweisen, dass bei asymptotisch wiederholten Versuchen (z.B. Ziehungen von schwarzen und weißen Kugeln aus einer Urne) die Wirkung der „regelmäßigen und konstanten Ursachen“ jene der „unregelmäßigen Ursachen“ überwiegt⁴⁰¹. In dieser Hinsicht ist ein Münzenwurf einer Messung ähnlich, denn in beiden Fällen ist das Einzelereignis von vielen kleinen Ursachen (die nur ein Dämon im Detail berücksichtigen könnte) bestimmt, die teils ein Versuchsergebnis, teils ein anderes Versuchsergebnis begünstigen würden, wobei wir erst langfristig die überwiegenden Ursachen anhand der Häufigkeiten erkennen könnten. Ende der 1830er Jahre behaupteten die Astronomen G.H.L. Hagen und F.W. Bessel explizit, dass die Vielfalt der Fehlerquellen bei Mess- oder Beobachtungsfehlern, die den einzelnen Fehler verursachen können, sowie die Komplexität ihres Zusammenspiels der Grund sei, warum man

³⁹⁹ Zur Arbeit von Laplace im Kontext der damaligen administrativen Praktiken vgl. Brian (2001 [1994]), insb. S. 116ff.

⁴⁰⁰ So kann man wenigstens anhand der Bemerkungen von Hacking (1990, S. 111-112) vermuten.

⁴⁰¹ Vgl. Sandrini (1987), S. 40. Wir werden im nächsten Absatz auf dieses Kausalitätsmodell von Laplace, das in Krüger (1987, S. 65) analysiert wird, zurückkommen.

in der Fehlertheorie dieselbe Wahrscheinlichkeitsrechnung anwenden kann, wie bei Glücksspielen⁴⁰².

Was das Bayestheorem betrifft, stellt es laut Laplace in mathematischer Form die Tatsache dar, dass eine vermutliche Ursache eines Ereignisses umso glaubwürdiger ist, je wahrscheinlicher das Eintreten des Ereignisses unter Annahme der angedachten Ursache ist⁴⁰³.

Damit waren um 1800 die Voraussetzungen vorhanden, um eine Antwort auf die schon erwähnten Fragen der Astronomen zu finden. Die erste Frage, (1) wie man von einer Reihe unterschiedlicher Messergebnisse derselben Größe auf eine verlässliche Einschätzung des realen Wertes dieser Variable schließen soll, wurde von Legendre und Gauß (unabhängig voneinander) Anfang des 19. Jahrhunderts durch die Methode der kleinsten Quadraten beantwortet. Die Methode lieferte das Kriterium, um eine Kurve zu finden, die so nah wie möglich an den vorhandenen Messwerten verläuft⁴⁰⁴. Im Fall von unterschiedlichen Messwerten, die sich auf dieselbe Größe beziehen, zeigte Gauß, dass der „wahrscheinlichste Wert“ (der verlässlichste) der arithmetische Mittelwert war. Die Glockenkurve (später eben auch als Gaußsche Glockenkurve bekannt) war Teil der von Gauß 1809 gelieferten probabilistischen Rechtfertigung der Methode der kleinsten Quadraten: die Gültigkeit der Methode beruhte auf der Annahme – so Gauß – dass bei unendlichen Messungen die Abweichungen von dem realen Wert (d.h. die „Fehler“) nach der Glockenkurve von Laplace und De Moivre verteilt sind. Die tatsächlichen Messwerte würden sich langfristig normal verteilen, wobei der Mittelwert sich dem realen Wert asymptotisch nähert. In seiner Rechtfertigung berief sich Gauß auch auf den Bayesianischen Gedankengang, laut dem ein eingeschätzter Wert der Größe desto verlässlicher ist, je wahrscheinlicher die vorhandenen Messergebnisse werden, wenn man den eingeschätzten Wert annimmt.

Angesichts der Unmöglichkeit, unendliche Messungen durchzuführen, kann man nicht die Gewissheit erreichen, dass der Mittelwert bei der Normalverteilung dem realen Wert der Größe entspricht. D.h., es bleibt noch die zweite der erwähnten Fragen offen (2): wie kann man die Wahrscheinlichkeit berechnen, dass der „wahrscheinlichste Wert“ der Größe (d.h. der Mittelwert) mit einer gewissen Approximation dem realen Wert entspricht? Auch diese

⁴⁰² Vgl. Porter (1986), S. 96.

⁴⁰³ Vgl. Galavotti (2000), S. 42.

⁴⁰⁴ Die Methode wird in Porter (1986), S. 95-96, in Swijtink (1987), S. 271, und in Gigerenzer *et al.*, S. 80-83 ausführlicher erklärt.

Aufgabe versuchte Gauß 1816 zu lösen⁴⁰⁵, und der Begriff vom „wahrscheinlichen Fehler“ (die Einschätzung der Verlässlichkeit unserer Einschätzung des realen Wertes) nahm eine zentrale Stellung in der Fehlertheorie ein.

Trotz der umstrittenen Stellung der „Beweise“ von Gauß⁴⁰⁶ und der Fortsetzung der Debatten über die geeignetsten mathematischen Verfahren für die Einschätzung von Messergebnissen⁴⁰⁷, bildete sich zwischen 1810 und 1840 mit dem entscheidenden Beitrag von Laplace ein Konsensus über die Grundlagen der „Fehlertheorie“ heraus: bei wiederholten Beobachtungen zufälliger Ereignisse jeder Art - d.h. bei wiederholten Ziehungen aus einer Urne mit schwarzen und weißen Kugeln genauso wie bei wiederholten Messungen einer Größe - verteilten sich asymptotisch die „Fehler“ nach der Normalverteilung, wobei das sowohl für die Verteilung innerhalb einzelner Versuchsreihen, als auch für die Verteilung der bei mehreren Versuchsreihen gefundenen Mittelwerte gelten soll.

Somit waren statistische Methoden endgültig in die Wissenschaft eingezogen: das statistische Instrumentarium für die Einschätzung der Verlässlichkeit von Messergebnissen und für einen wissenschaftlichen Umgang mit Approximationsverfahren verbreitete sich rasch in den verschiedenen Wissenschaften⁴⁰⁸. Obwohl aber in der soeben dargestellten frühen Entwicklung der Fehlertheorie immer wieder die Rede von *Zufall*sergebnissen und *Zufall*svariablen war, bedeutete diese Entwicklung noch keine Infragestellung des (impliziten!) wissenschaftlichen Determinismus, und abschließend soll nun auf die Frage eingegangen werden, warum.

Zuerst muss man sich klar machen, dass die Fehlertheorie sich in einem Kontext entwickelte, in dem Messinstrumente rasch verbessert wurden, und sie trug zu einer beachtlichen Steigerung der Messmethoden und der Messpräzision bei⁴⁰⁹. Zwei „Helden“ der Fehlertheorie wie Gauß und Bessel erreichten so erstaunliche Ergebnisse bei der Identifizierung von Sternen und bei der Voraussage ihrer Bewegungen, dass sogar Mythen über angebliche, anspruchsvolle Messungen von Gauß entstanden⁴¹⁰. Trotz jener Verflechtung zwischen der Mathematik der Glückspiele und der Mathematik der Beobachtungsfehler, die – wie wir gesehen haben – den Hintergrund der Entwicklung der Fehlertheorie darstellte, wurde also die Anwendung der Fehlertheorie im Sinne einer Steigerung der Präzision und des Vermögens

⁴⁰⁵ Vgl. Swijtink (1987), S. 273. Vgl. dazu Gigerenzer *et al.* (1989, S. 82): „It is the estimate of probable error that makes Gauss' method statistical in the modern sense“.

⁴⁰⁶ Vgl. Swijtink (1987), S. 272-273 und Gigerenzer *et al.* (1989), S. 82.

⁴⁰⁷ Vgl. Schneider (1987), S. 206ff.

⁴⁰⁸ Vgl. Krüger - Gigerenzer - Morgan (Hrsg. 1987) und Gigerenzer *et al.* (1989), Kap. 2-6.

⁴⁰⁹ Vgl. Swijtink (1987).

⁴¹⁰ Vgl. Porter (1986), S. 96; Swijtink (1987), insb. S. 261, S. 268 und S. 278; Stigler (1987).

der Wissenschaft wahrgenommen, was den impliziten wissenschaftlichen Determinismus eher unterstützte.

Wie wir gesehen haben (vgl. oben, Kap. 2) war eine Voraussetzung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus, dass jeder Zustand eines physikalischen Systems im Prinzip mit absoluter Exaktheit bzw. durch mathematische Größen beschreibbar ist: die Steigerung der Präzision, die die Fehlertheorie erlaubte, musste diese Annahme unterstützen. Hinter der astronomischen Fehlertheorie steckte die Idee der Messungsergebnisse als „fehlerhafte“ Einschätzungen eines „wahren Wertes“. Die Hypothese, dass eine physikalische Größe *tatsächlich* einen nicht exakt determinierbaren Wert haben könnte, wird erst viel später mit der Entwicklung der Quantenmechanik auftauchen. Die erfolgreiche Anwendung statistischer Methoden unterstützte die klassische Idee, dass jede Variable, die in der Beschreibung eines physikalischen Zustandes vorkommt, einen im Prinzip exakt determinierbaren Wert hat, obwohl die Erfahrung wegen der ihr innewohnenden Unvollkommenheit bloß Approximationen liefert.

Diese Einstellung, und insbesondere das im Rahmen der Fehlertheorie zentrale Konzept der *Approximation*, ist auch im Bezug auf eine zweite Voraussetzung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus von Bedeutung, und zwar die Voraussetzung, dass die Entwicklung eines jeden physikalischen Systems aus der exakten Beschreibung eines seiner Zustände, d.h. aus den sogenannten „Anfangsbedingungen“, mit derselben Exaktheit eindeutig ableitbar ist. Obwohl dies in der Praxis selten der Fall ist, kann man dank des Begriffs der Approximation die Abweichungen der tatsächlichen Messergebnisse von den vorberechneten Werten als Folge des nur approximativen Charakters der festgelegten Anfangsbedingungen wegerklären⁴¹¹. Dass die Unvorhersagbarkeit bestimmter physikalischer Systeme auf eine unvermeidliche Ungenauigkeit bei der Feststellung der Anfangsbedingungen und nicht auf einen tatsächlichen Indeterminismus zurückzuführen sei, wird übrigens auch eine wichtige Voraussetzung der im 20. Jh. entwickelten Chaosforschung werden. Ihr Wegbereiter Poincaré schrieb 1908 im Kapitel „Le hasard“ aus seinem Buch *Science et méthode*:

⁴¹¹ Es sei hier wieder an die im Kap. 2 schon zitierte Stelle aus Pulte erinnert: „Certismus in Hinblick auf einmal festgestellte Gesetze ist eines der wichtigsten Kennzeichen der KMN [= klassische mathematische Naturwissenschaft]: Neue, unter gleichen Bedingungen gemachte Erfahrungen können mathematische Gesetze nicht widerlegen (falsifizieren), sondern allenfalls bestätigen. Hieraus resultiert eine scharfe Trennung von Gesetz und Einzelfall: Alles Zufällige, Kontingente wird zu einer Sache des Einzelnen und seiner Geschichte – mathematisch gesprochen, wird es, von der ‚eigentlichen‘ Gesetzesaussage abgetrennt, zu einer Angelegenheit der Anfangs- und Randbedingungen“ (Pulte 2005, S. 49).

„[...] lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'*approximativement*. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure *avec la même approximation*, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit“⁴¹²

Es können aber auch weitere Gründe identifiziert werden, warum die Verbreitung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der statistischen Methoden in der Astronomie (d.h. in einer *klassischen* Wissenschaft) keine Hinterfragung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus suggeriert hat.

Zu berücksichtigen ist sicherlich die Tatsache, dass die Fehlertheorie „bloß“ ein Hilfsmittel bei der Praxis des Messens und kein Teil der wissenschaftlichen Theorie war. Da außerdem im Mittelpunkt der Fehlertheorie die Festlegung eines *Überzeugungsgrads* in Bezug auf die Verlässlichkeit der Messergebnisse stand, kam der Wahrscheinlichkeit eher eine epistemische als eine physikalische Bedeutung zu - was allgemein bei der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung ohnehin meistens der Fall war⁴¹³.

Auf die epistemische Natur der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung wurde mit Recht hingewiesen, um das Paradoxon zu erklären, dass die Wahrscheinlichkeitstheorie sich gerade parallel zur Etablierung des Determinismus entwickelte⁴¹⁴. Die epistemische Wahrscheinlichkeitsauffassung passte tatsächlich sehr gut mit dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus zusammen: sie reduzierte jede empirisch festgestellte Unbestimmtheit auf eine subjektive (wenn auch mathematisch geregelte) Unsicherheit oder Ungewissheit. Diese war übrigens auch die explizite Argumentationsstrategie von Laplace in seinem *Essai*.

Trotzdem ist diese Erklärung noch unvollständig, denn wir haben gesehen, dass bei der Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der Fehlertheorie auch von Wahrscheinlichkeiten die Rede war, die sehr wohl eine physikalische Bedeutung hatten. Schon indem der Satz von Bernoulli von der Wahrscheinlichkeit sagt, dass die relativen Häufigkeiten sich den „realen Wahrscheinlichkeiten“ annähern, enthält er nicht nur ein epistemisches Konzept der Wahrscheinlichkeit (die Verlässlichkeit der Einschätzung der „realen Wahrscheinlichkeiten“ aufgrund der beobachteten Häufigkeiten), sondern auch den

⁴¹² Poincaré ([1902] 1920), S. 68-69.

⁴¹³ “Just as probability was a measure of uncertainty, this exponential function governed the chances of error. It was not an attribute of nature, but only a measure of human ignorance” (Porter 1986, S. 100).

⁴¹⁴ Vgl. z.B. Hacking (1975), Kap. 1 und Gigerenzer, G. *et. al.* (1989), Kap. 1.4.

Begriff von Häufigkeiten und den Begriff der „realen Wahrscheinlichkeiten“, die das tatsächliche – also physikalische – Verhältnis der Zufallsvariablen bedeuteten. Tatsächlich hat Hacking (1975) gezeigt, wie die aleatorische Auslegung der Wahrscheinlichkeit, die diese auf physikalische, beobachtete Häufigkeiten bezieht, von Anfang an neben der epistemischen Wahrscheinlichkeitsauffassung – meistens mit dieser verflochten und vermischt – vorhanden war. Die Astronomen, Mathematiker und Wahrscheinlichkeitstheoretiker beschäftigten sich um 1800 nicht nur mit Einschätzungen und Überzeugungsgraden, sondern sie waren sehr wohl mit aleatorischen Prozessen konfrontiert. Dass sie trotzdem den Grad an Zufall, der in solchen Prozessen vorhanden ist, eher ignorierten, hängt m.E. vor allem mit zwei weiteren Faktoren zusammen:

Erstens waren sie so sehr auf die Regelmäßigkeit der „großen Zahlen“ konzentriert, dass sie den Zufallscharakter des Einzelfalls meistens nicht beachteten. Der ganze Wert des Satzes von Bernoulli lag in der Entdeckung der Regelmäßigkeit bei wiederholten Versuchen oder (z.B. bei der Laplaceschen Anwendung des induktiven Schlusses auf demografische Probleme) bei Massenphänomenen. Die Astronomen waren ähnlicherweise mit dem Problem beschäftigt, aus *vielen* unterschiedlichen Messergebnissen zu einer Einschätzung zu kommen.

Zweitens, auch wenn von Einzelfällen die Rede war, besaß die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie das schon erwähnte kausale Erklärungsmodell, um den Zufallscharakter des Einzelfalls auf (deterministische) Kausalverhältnisse zurückzuführen. Die Zufälligkeit oder Unvorhersagbarkeit des Einzelfalls wurde somit auf die „unüberschaubare“ Komplexität der Ursachen zurückgeführt und ihr indeterministischer Charakter wegerklärt.

Erst nach der Einführung statistischer Methoden in die Sozialwissenschaften im Zusammenhang mit ihrem Anspruch auf Wissenschaftlichkeit fing die neue, probabilistische Betrachtungsweise der Phänomene an, den impliziten wissenschaftlichen Determinismus zu schwächen: erstens, indem Wahrscheinlichkeitsverteilungen (und insbesondere die Gaußsche Normalverteilung) nicht mehr als Verteilungen fehlerhafter *Einschätzungen* einer realen Eigenschaft, sondern deutlich als Verteilungen *realer* Eigenschaften hervortraten. Zweitens löste der sogenannte „statistische Fatalismus“, den der statistische Ansatz zur Untersuchung des Menschen und der Gesellschaft zu implizieren schien, eine heftige Debatte aus, bei der die Wichtigkeit des Einzelfalls zur Geltung kam.

Die Sekundärliteratur ist darüber einig: die Hauptfigur dieser „Wende“ war der Mathematiker, Astronom und Sozialwissenschaftler Adolphe Quetelet (1796-1874)⁴¹⁵.

b. Adolphe Quetelet und der Streit um den statistischen Determinismus

Der belgische Mathematiker, Astronom und Sozialwissenschaftler Adolphe Quetelet (1796-1874) hat vor allem in den 1980er Jahren das Interesse von vielen Historikern der Statistik und der Wahrscheinlichkeitstheorie geweckt⁴¹⁶. Seine Arbeit ist an der disziplinären Schnittstelle von Mathematik, Astronomie und empirisch-quantitativer Sozialforschung zu verorten. Quetelet selbst trug zur Entwicklung dieser Forschungsbereiche und zu ihrer Konvergenz viel bei: Als Mathematiker knüpfte er an die französische Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie (Laplace, Fourier, Poisson) an: Nicht nur verbreitete er die Anwendung der Glockenkurve und des „Gesetzes der großen Zahlen“ sondern sie auch „popularisierte“. Als Astronom (Begründer und Leiter der Sternwarte in Brüssel, d.h. des *Observatoire Royale de Belgique*) war er mit der Anwendung der Gaußschen Glockenkurve im Rahmen der Fehlertheorie vertraut. Als international anerkannter Sozialstatistiker (ab 1841 Präsident der statistischen Zentralkommission für Belgien), knüpfte Quetelet an der *mathématique sociale* der französischen Aufklärung⁴¹⁷ und an der britischen Tradition der empirisch-quantitativen Sozialforschung an.

Statistische Daten, die sich auf die Gesellschaft bezogen, waren nämlich vor allem in Großbritannien und Frankreich (sowie auch in Holland und in Preußen) schon seit der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts gesammelt worden⁴¹⁸. Die systematische Analyse dieser Daten im Rahmen der Versicherungen und der staatlichen Verwaltung wurde bis dem frühen 19. Jh. als

⁴¹⁵ „The object of Quetelet’s attention was the probabilistic error function [...] The history of this curve, now known as the Gaussian of normal distribution, is practically coextensive with the history of statistical mathematics during the nineteenth century, and *its reinterpretation as a law of genuine variation, rather than mere error*, was the central achievement of nineteenth-century statistical thought.” (Porter 1986, S. 91; meine Hervorhebung). Vgl. auch Porter (1986), S. 100ff., Cohen (1987), S. 37, und Hacking (1990), Kap. 13. Ein Wegbereiter dieser Wende war Fourier in den 1820er Jahren (vgl. Porter 1986, S. 97ff. und Hacking 1990, S. 97).

⁴¹⁶ Vgl. z.B. Porter (1986), Part II; Stigler (1986), Part II, Ch. 5; Krüger - Daston - Heidelberger (Hrsg. 1987); Gigerenzer *et al.* (Hrsg. 1989), Ch. 2; Schramm (1989); Hacking (1990), Ch. 13-15 and 20-21.

⁴¹⁷ Zur Entwicklung der Wahrscheinlichkeitstheorie im Zusammenhang mit gesellschaftlichen und politischen Fragen im 18. Jh. in Frankreich vgl. Brian (2001 [1994]).

⁴¹⁸ Die Pestepidemien einerseits und die Verbreitung der Versicherungen im Zusammenhang mit dem Frühkapitalismus andererseits waren die Hauptgründe für die Anfänge der Statistik in London, in Paris, und in Holland (vgl. Hacking 1975), Kap. 12 und 13. Auch in Preußen wurden schon seit dem 18. Jh. statistische Daten vom Staat gesammelt: sie wurden aber geheim gehalten und sie wurden nie systematisch (mit mathematisch-wissenschaftlichen Blick) analysiert (vgl. Hacking 1990., Kap. 3-5).

„politische Arithmetik“ bezeichnet⁴¹⁹. In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zeigte sich ein enormer Zuwachs solcher statistische Daten, die nun auch einer öffentlichen Darstellung und Selbstdarstellung der Gesellschaft dienten⁴²⁰. Dabei nahm das Wort „Statistik“, das viel früher mit anderer Bedeutung geprägt worden war⁴²¹, allmählich seine moderne Bedeutung an. Nicht nur Geburts- und Todesrate wurden erfasst, sondern auch statistische Daten in Bezug auf Krankheiten, Suizide, Verbrechen, Prostitution usw.⁴²² Die vielen öffentlichen und privaten Institutionen für Statistik, die in den 1830er Jahren gegründet wurden, sowie der Anfang der 1853 auf Veranlassung von Quetelet selbst gestarteten Reihe internationaler Kongresse für Statistik markieren in institutioneller Hinsicht die Wende zu einer Epoche der Statistik⁴²³.

Dank seiner Teilnahme an diesen Entwicklungen und der Zusammenarbeit mit den britischen und französischen Institutionen zur statistischen Forschung⁴²⁴ konnte Quetelet von den bereits gesammelten statistischen Daten über Geburtsraten, Todesraten, Verbrechensraten usw. profitieren und das ganze mathematische Instrumentarium der damaligen Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Untersuchung der Gesellschaft übertragen.

Aus seiner interdisziplinären Perspektive schien Quetelet jeden *prinzipiellen* Unterschied zwischen Natur- und Sozialwissenschaften abzulehnen - was sich im Titel seines berühmtesten Werks: *Essai de physique sociale*⁴²⁵ widerspiegelt. Auf dem Titelblatt der ersten Ausgabe verdeutlicht ein Zitat von Laplace die von Quetelet in seinem Werk verfolgte Absicht:

⁴¹⁹ Porter (1986), S. 18. Was Frankreich betrifft, vgl. den schon erwähnten Brian (2001 [1994]).

⁴²⁰ Hacking (1990, insb. Kap. 4) spricht von „avalanche of printed numbers“ in den Jahren 1820 bis 1840.

⁴²¹ Die Bezeichnung „Statistik“ wurde im Sinne eines den Staat betreffenden und dem Staat nützlichen Wissens geprägt, lange bevor sie die moderne Bedeutung annahm: „Statistics derives from a German term, *Statistik*, first used as a substantive by the Göttingen Professor Gottfried Achenwall in 1749. It was perhaps an unfortunate choice, for its etymology was ambiguous and its definition remained a matter of debate for more than a century“ (Porter 1986, S. 23). Vgl. auch Hacking (1990), Kap. 3. Es ist eine Ironie der Geschichte, dass das Wort „Statistik“ genau in dem Land geprägt wurde, in dem der Widerstand gegen das moderne Konzept der Statistik am stärksten sein musste, wie im Folgenden klar werden soll.

⁴²² Vgl. Hacking (1990), Kap. 6 und 8-10.

⁴²³ Vgl. Hacking (1987a), S. 50-52.

⁴²⁴ Vgl. Porter (1986), Kap. 2.

⁴²⁵ Die erste Ausgabe der Queteletschen *Physique sociale* – auf die ich mich hier beziehen werde – wurde 1835 unter dem Titel *Sur l'homme et le développement de ses facultés ou Essai de physique sociale* veröffentlicht (Quetelet 1835). Das Werk wurde 1838 ins Deutsche und 1842 ins Englische übersetzt und veröffentlicht. 1869 veröffentlichte Quetelet eine neue, stark erweiterte Ausgabe seines Werks mit dem Titel *Physique sociale, ou Essai sur le développement des facultés de l'homme*. Über die verschiedenen Ausgaben und Übersetzungen des Queteletschen Werks vgl. Schramm (1989), S. 51-52 und die „Introduction“ in: Vilquin / Sanderson (Hrsg. 1997).

Appliquons aux sciences politiques et morales la méthode fondée sur l'observation et sur le calcul, méthode qui nous a si bien servi dans les sciences naturelles⁴²⁶

Aus einer kurzen Analyse der Grundlagen von Quetelets *physique sociale*⁴²⁷ soll im Folgenden ersichtlich werden, wie sich die Überzeugung einer Ähnlichkeit der *physique sociale* mit den *sciences naturelles* einerseits, die Anwendung der Statistik auf gesellschaftliche Phänomene andererseits in der Arbeit Quetelets gegenseitig untermauert haben. In diesem Rahmen bezieht sich nun das probabilistische Wissen, das statistische Daten und statistische Gesetze enthält, nicht bloß auf Überzeugungsgrade, sondern auf reale Eigenschaften der Welt (erstmal der Gesellschaft). Darüber hinaus beruft sich Quetelet auf die Gesetzmäßigkeit statistischer Gesetze⁴²⁸, d.h. auf ihren determinierenden Charakter, um den Sozialwissenschaften den Charakter der Wissenschaftlichkeit zuzuschreiben. Es war also die Bemühung des Positivismus, die Sozialwissenschaften als Wissenschaften zu etablieren, der Rahmen, in dem die Wissenschaftlichkeit und der Wahrheitsinhalt nicht-deterministischer Gesetze erstmals anerkannt wurden.

Quetelets *physique sociale* gründet sich auf „Tatsachen“ und genau in dieser Hinsicht soll sie sich von jeglicher spekulativen *théorie de l'homme* unterscheiden:

Je n'ai point en vue de faire une théorie de l'homme, mais seulement de constater les faits et les phénomènes qui le concernent, et d'essayer de saisir, par l'observation, les lois qui lient ces phénomènes ensemble⁴²⁹

⁴²⁶ Zitat aus Laplace, *Essai philosophique sur les probabilités* (1814), Titelblatt von Quetelet (1835). Quetelet führte das durch, was bei Laplace eher ein Wunsch geblieben war (vgl. Schramm 1989, S. 47) und was auch Poisson nicht gelang (vgl. Schneider 1987, S. 195ff. und Hacking 1990, Kap. 11). Andere französische Mathematiker (wie z.B. Cauchy) lehnten die Idee, die Mathematik und insbesondere die Wahrscheinlichkeitsrechnung auf soziale Phänomene ab (vgl. Schneider 1987, S. 200ff.).

⁴²⁷ Auguste Comte beanspruchte (umsonst) die Prägung des Ausdrucks *physique sociale* (vgl. Schramm, 1989, S. 52); die Idee einer Hierarchie der Wissenschaften und die Ablehnung der Anwendung der Mathematik (d.h. auch der Statistik) auf die Sozialwissenschaften unterschieden aber die Position von Comte von der Quetelets (vgl. Porter 1986, S. 155-156).

⁴²⁸ “[...] statistical authors of the scientific persuasion set themselves to uncover the principles that governed society, both in its present condition and, especially, as a historical object. The concept of ‘statistical law’ was first presented to the world around 1830 as an early result of this search” (Porter 1986, S. 17). Quetelet war einer der ersten Sozialwissenschaftler, die den Begriff von „Gesetz“ auf gesellschaftliche Phänomene bezogen, wie im Folgenden nochmal besprochen werden soll.

⁴²⁹ Quetelet (1835), I, S. 21. Vgl. auch I, S. 2: “Il est évident que je n'entends point parler ici des sciences spéculatives...”. Dieser Aspekt der Queteletschen *Physique sociale* wird von den englischen Herausgebern des Queteletschen Werk besonders geschätzt: “He (= Quetelet) shows (...) that he is no theorist or system-maker, but simply wishes to arrive at truth by the only legitimate way, namely, the examination of *facts* – the incontrovertible facts furnished by statistical data” (“Publishers’ notice”, in: Quetelet 1842). Auf eine Debatte über solche Verweise auf “Tatsachen” seitens britischer Statistiker weist Porter (1986, S. 35-40) hin.

Die „Tatsachen“, die der Wissenschaftlichkeit der *physique sociale* zu Grunde liegen sollten, sind dabei eben jene Tatsachen, welche die damaligen Statistiken typischerweise erfassten: Geburten, Todesfälle, Krankheiten, usw. Auch anthropometrischen Daten (Körpergröße, Gewicht, Kraft usw.) schenkte Quetelet viel Aufmerksamkeit. Zugleich untersuchte er nicht nur die *qualités physiques*, sondern auch die *qualités morales et intellectuelles* des Menschen⁴³⁰ – und zwar auf Basis ihrer beobachtbaren Auswirkungen⁴³¹: So zog er auch Statistiken über Verbrechen, Prostitution und die Produktion von literarischen, philosophischen oder wissenschaftlichen Werken in Betracht:

The analysis of the moral man *through his actions*, and of the intellectual man *through his production*, seems to me calculated to form one of the most interesting parts of the *sciences of observation*, applied to anthropology. It may be seen, in my work, that the course which I have adopted is that followed by the *natural* philosopher, in order to grasp the laws that regulate the material world.⁴³²

Die „Tatsachen“, die die Statistiken ausdrücken, werden *zählbar* und können mathematisch behandelt werden: die verschiedensten „Qualitäten“ des Menschen und der Gesellschaft werden genauso messbar wie die Eigenschaften physikalischer (z.B. astronomischer) Objekte. Sobald genug statistische Daten vorhanden sind, tauchen, so Quetelet, dank des Gesetzes der großen Zahlen im Bereich der Gesellschaft jene Gesetzmäßigkeiten auf, die auch im Bereich der Natur zu finden sind:

*plus le nombre des individus que l'on observe est grand, plus les particularités individuelles, soit physiques, soit morales, s'effacent et laissent prédominer la série des faits généraux en vertu desquels la société existe et se conserve*⁴³³

Das Gesetz der großen Zahlen „garantiert“ z.B., dass die Zahl der in Frankreich innerhalb eines Jahres begangenen Morde gegen einen Mittelwert strebt; aber nicht nur das. Auch die spezifischen Formen des Mordes, z.B. Morde, die mittels Strangulation begangen werden,

⁴³⁰ Quetelet (1935), I, S. 4 und II, *Livre Troisième*.

⁴³¹ In Bezug auf die *qualités morales et intellectuelles* schreibt Quetelet (1935, II, S. 98): „...l'on peut les apprécier, en admettant qu'elles sont proportionnelles aux effets qu'elles produisent“.

⁴³² So schreibt Quetelet in seinem Vorwort zur schon erwähnten englischen Ausgabe seines Werks: „Preface of M. Quetelet“ in: Quetelet 1842, S. viii, meine Hervorhebungen.

⁴³³ Quetelet (1835), I, S. 12 (Hervorhebung im Originaltext).

strebten nach Quetelet gegen eine Normalverteilung⁴³⁴. Anthropometrische Daten ebenso, was Quetelet zur Prägung seines einflussreichen Begriffes des *homme moyen*⁴³⁵ führte.

Der Ausdruck „Gesetz der großen Zahlen“ wurde im selben Jahr der ersten Veröffentlichung von der Queteletschen *Physique sociale* (1835) von Poisson geprägt, und das entsprechende Theorem wurde von Poisson im Rahmen seiner *Recherches sur la probabilité des jugements* (1837) bewiesen⁴³⁶. Laut Porter (1986, S. 52) wird das Gesetz der großen Zahlen in der Arbeit von Quetelet das fundamentale Axiom seiner sozialen Physik⁴³⁷.

Durch das Gesetz der großen Zahlen kommen nämlich jene regelmäßigen statistischen Muster ans Licht, auf denen Quetelet seine Untersuchungen weiter aufbaute, indem er die verschiedensten statistischen *Korrelationen* herausfand - z.B. zwischen Beruf bzw. Geschlecht bzw. Alter und *penchant au crime*⁴³⁸, oder zwischen intellektueller Entwicklung und *aliénation mentale*⁴³⁹. Aufgrund seiner Befunde fühlte sich Quetelet berechtigt, von den *lois relatives à l'homme*⁴⁴⁰ zu sprechen:

Après avoir vu la marche qu'ont suivie les sciences à l'égard des mondes, ne pouvons-nous essayer de la suivre à l'égard des hommes? Ne serait-il pas absurde de croire que pendant que tout se fait d'après des lois si admirables, l'espèce humaine seule reste abandonnée aveuglément à elle-même, et qu'elle ne possède aucun principe de conservation?⁴⁴¹

⁴³⁴ Vgl. die Tabelle in Quetelet (1935), I, S. 8.

⁴³⁵ Vgl. Quetelet (1835), II, *Livre Quatrième*. Porter (1986, S. 100ff.), Krüger (1987, S. 75-76), und Hacking (1990, Kap. 13) analysieren den weiteren Schluss von Quetelet vom *homme moyen* zum *homme type* im Jahr 1844, sowie die Ontologisierung der Völker und der Nationen, die somit von Quetelet durchgeführt wurde, und die – so meint Hacking (1990, S. 107-108) – der erste Schritt zur Eugenik war.

⁴³⁶ Porter (1986), S. 12-13 und S. 77; Hacking (1990), Kap. 12. Hacking (1990, S. 95) gibt auch die ursprüngliche Formulierung von Poisson 1835 wieder: „Things of every kind are subject to a universal law that we may call *the law of large numbers*. It consists in this: if one observes a very considerable number of events of the same kind, depending on causes that vary irregularly, that is to say, without any systematic variation in one direction, then one finds that the ratios between the numbers of events are very nearly constant”.

⁴³⁷ Quetelet trug entscheidend dazu bei, dass das von Poisson so getaufte „Gesetz der großen Zahlen“, das eine stark verallgemeinerte Form des Satzes von Bernoulli war, sich als oberstes statistisches Gesetz durchsetzte: „statistical law was enthroned. When there are enough events, they display regularities. This law passed beyond a mere fact of experience. It was not something to be checked against experience; it was the way thing had to be. Not because there was a mathematical demonstration of the law – no one paid much heed to what Poisson had proved. The law of large numbers became a metaphysical truth. [...] the law of large numbers – not Poisson's theorem but a proposition about the stability of mass phenomena – became, for the next generation or two, a synthetic *a priori* truth” (Hacking 1990, S. 104).

⁴³⁸ Vgl. Quetelet (1835), II, *Livre Troisième*, Kap. III.

⁴³⁹ Vgl. Quetelet (1835), *Livre Troisième*, Kap. I, §II, in dem Quetelet zum folgenden interessanten Schluss kommt: „La folie semble croire en raison de l'intelligence pour l'individu, et de la civilisation pour les différents pays”.

⁴⁴⁰ Quetelet (1835), I, Introduction, §III.

⁴⁴¹ Quetelet, *Sur l'homme et le développement de ses facultés ou Essai de physique sociale*, op. cit., I, S. 28.

Dass Quetelet in diesem Kontext von *lois* spricht, war keine Selbstverständlichkeit: Quetelet war einer der ersten, die das Konzept einer Gesetzlichkeit, der die Gesellschaft gehorcht, einführten⁴⁴², und er war weithin dafür verantwortlich, dass eine breite, auf internationaler Ebene durchgeführte Diskussion über dieses Konzept stattfand – wie wir sehen werden.

Von den erwähnten statistischen Regelmäßigkeiten schließt Quetelet auch jeweils auf die Existenz von Ursachen. Er folgt nämlich jenem Kausalitätsmodell, das schon in seiner Laplaceschen Version im vorigen Absatz erwähnt wurde, und das Lorenz Krüger (1987) als „deterministic account of statistical regularities“ ausführlich analysiert hat. Dieses Modell basiert auf zwei Ideen: einerseits der Wirksamkeit der allgemeinen, strukturellen Zustände, andererseits dem gegenseitigen Ausgleich zwischen „zufälligen Ursachen“⁴⁴³. Dementsprechend berücksichtigt die Kausalitätsauffassung Quetelets einerseits stabile Ursachen (wie z.B. einen gewissen Zustand der Gesellschaft oder eine „Neigung“ der Natur, den *homme type* zu erzielen), andererseits partikuläre *forces* bzw. *causes perturbatrices* bzw. *accidentelles* (z.B. die freiwilligen Entscheidungen oder die eigenartigen Eigenschaften von Individuen). Bei einer ausreichend großen Anzahl ergäben diese zufällige Ereignisse laut Quetelet ein regelmäßiges Muster: nach der von ihm genannten *loi des causes accidentelles* strebten diese individuellen, zufälligen Eigenschaften gegen eine Normalverteilung⁴⁴⁴. Nicht nur die Suche nach Gesetzen und Ursachen hat Quetelets *physique sociale* mit den Naturwissenschaften gemeinsam, sondern auch die Möglichkeit, auf Basis solcher Gesetze Voraussagen zu formulieren:

Nous pouvons énumérer d'avance combien d'individus souilleront leurs mains du sang de leurs semblables, combien seront faussaires, combien empoisonneurs, à peu près comme on peut énumérer d'avance les naissances et les décès qui doivent avoir lieu⁴⁴⁵

⁴⁴² “Adolphe Quetelet was among the few nineteenth-century statisticians who pursued a numerical social science of laws, not just of facts” (Porter 1986, S. 41). Über die Probleme, die im Queteletschen Begriff von “Gesetz” stecken, vgl. Lécuyer, (1987).

⁴⁴³ „[The deterministic account of statistical regularities] was built on two complementary ideas: (i) the causal efficacy of structural conditions (...) and (ii) the mutual compensation of accidental causes” (Krüger 1987, S. 71).

⁴⁴⁴ Eine Frage, die sich hier natürlich stellt, behandelt Hacking (1990, S. 113) wie folgt: „Did phenomena really fit Quetelet’s curves? For a great many years, any empirical distribution that came up in a hump was Gaussian *because that was all it could be*. That was all it could be because of the story of little independent causes, which had, for a while, created another synthetic *a priori* truth. No one devised routine tests of goodness of fit, because the question did not arise. The first tests were not proposed for another 30 years (...)”. Für die genaue Definition der *loi des causes accidentelles* vgl. Lécuyer, (1987), S. 321. Lécuyer, sowie Schramm 1989, S. 54) heben die problematischen Seiten der Queteletschen Begriffe von „Gesetz“ und „Ursache“ hervor.

⁴⁴⁵ Quetelet (1985), I, S. 10.

Auch diese Möglichkeit steht mit der Anwendung der Statistik und mit der Wahrscheinlichkeitstheorie in engem Zusammenhang: Quetelets *physique sociale* suggeriert – der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung entsprechend – einen „rationalen“ Grad der Erwartung künftiger Ereignisse aufgrund vorhandener statistischer Häufigkeiten und Korrelationen⁴⁴⁶. Erklärungen und Voraussagen von gesellschaftlichen Phänomenen stellten nämlich für Quetelet keinen Selbstzweck dar. Vielmehr sollten seine Untersuchungen, gemäß der französischen Tradition aufklärerischer Sozialreformer, einer Verbesserung der gesellschaftlichen Verhältnisse und Bedingungen dienen⁴⁴⁷.

Aus dem Vorhergesagten kommt klar hervor, dass Quetelet die determinierende Seite statistischer Gesetze und statistischer (Vor)aussagen hervorhob, um für die Wissenschaftlichkeit solcher Gesetze und der auf ihnen basierenden *physique sociale* zu plädieren⁴⁴⁸. Das kann anhand meiner im Kap. 1 vorgeschlagenen Klassifizierung der Determinismusformen auf zwei Weisen interpretiert werden: wenn wir an der maximalen Festigkeit des wissenschaftlichen Determinismus anhalten, bedeutet die Position Quetelets ein Verzicht auf den wissenschaftlichen Determinismus im normativen Sinne. Aus der Perspektive Quetelets kann (und soll) nämlich eine Wissenschaft als solche anerkannt werden, auch wenn sie keine streng deterministischen Gesetze liefert. Andererseits hebt Quetelet immer wieder die determinierende Seite der statistischen Gesetze hervor und beharrt darauf, dass seine *physique sociale* eine Wissenschaft sei, eben deswegen, weil sie auf (statistischen) Gesetzen beruht: Das suggeriert, dass der wissenschaftliche Determinismus für ihn immer noch als normatives Ideal gilt⁴⁴⁹, während er eher eine Veränderung in der Auffassung seiner

⁴⁴⁶ Bezüglich des Zusammenhangs zwischen *expectation* (auf Latein *expectatio*) und Rationalität im Rahmen der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie vgl. Daston (1995²), Kap. 1 und 2.

⁴⁴⁷ Vgl. Quetelet (1835), I, S. 10, sowie das letzte Kapitel des Werks (II, S. 294ff.). Über die Beziehungen zwischen den politischen Positionen von Quetelet (und von anderen Autoren) und der Statistik vgl. Porter, (1986), Teil I, Kap. 2.

⁴⁴⁸ „From the standpoint of social science [...] statistical method was synonymous with quantification, and while some were skeptical of the appropriateness of mathematics as a tool of sociology, many more viewed it as the key to exactitude and scientific certainty. [...] The social science of statistics, in the hands of Quetelet and his admirers, constituted a self-conscious attempt to imitate the successful strategy of natural science” (Porter 1986, S. 10).

⁴⁴⁹ Wie Hacking (1990, S. 116) bemerkt, wurden die neuen, statistischen Gesetze immer wieder mit dem Gravitationsgesetz verglichen: hinter dem statistischen Determinismus steckte dasselbe Ideal der Determiniertheit und Vorhersagbarkeit, auf dem der implizite wissenschaftliche Determinismus basierte. In dieser Hinsicht ist die schon erwähnte Stelle aus Hacking (1990, S. 113) interessant, in der er bemerkt, dass viele empirisch festgelegte Wahrscheinlichkeitsverteilungen einfach deswegen als Normalverteilungen gesehen gleich wurden, weil die Gaußverteilung, sowie die entsprechende Kausalerklärung, eine „synthetische Wahrheit *a priori*“ geworden waren, so dass keine weitere Überprüfungen in Frage kamen. Eine solche „Apriorisierung“, oder „übertriebene“ Induktion, bezeugt die dauernde Stärke jener rationalistischen Epistemologie, die der Hintergrund des impliziten wissenschaftlichen Determinismus dargestellt hatte (vgl. oben, Kap. 2).

Festigkeit vorschlägt: auch Gesetze, die nicht die „maximale Festigkeit“ haben, sollen als Gesetze anerkannt werden.

Dass statistische Gesetze überhaupt Gesetze seien, wurde aber von vielen abgestritten: Vor allem in Preußen / Deutschland wurde das Konzept eines „statistischen Gesetzes“ fast für ein Selbstwiderspruch gehalten: während für die Nachfolger Humes und für die französischen Positivisten der Unterschied zwischen Gesetzmäßigkeiten und Gesetzen unbedeutend war⁴⁵⁰, war es für Deutsche wie den Psychologe Wilhelm Wundt, den Statistiker Ernst Engel und den Philosophen Hermann Lotze klar, dass die angeblichen „statistischen Gesetze“ höchstens Gesetzmäßigkeiten hätten sein können, die eben *keine* Gesetze sind⁴⁵¹. Aber auch in Frankreich fand Quetelet nicht unbedingt Zustimmung: die Comtesche Ablehnung der Anwendung der Statistik in den Sozialwissenschaften z.B. hing unter anderem damit zusammen, dass er nicht einräumte, dass man eine Wissenschaft auf statistischen Regelmäßigkeiten aufbauen kann, weil sie keine sichere Vorhersage erlauben, und in diesem Sinne keine Gesetze sind⁴⁵². Auch laut dem Physiologen Claude Bernard erlaubte die Feststellung statistischer Regelmäßigkeiten bloß Konjekturen, während das Merkmal „echter“ Wissenschaft Gewissheit sei⁴⁵³.

Am Widerstand gegen die Queteletsche Idee von statistischen Gesetzen kann man erkennen, dass sein Konzept in einer gewissen Hinsicht anspruchsvoller war, als das Konzept von statistischen Gesetzen, das hinter der Fehlertheorie steckte. Die Wahrscheinlichkeit kommt in der Arbeit Quetelets kaum mehr als Überzeugungsgrad vor. Statistische Gesetze beziehen Wahrscheinlichkeitswerte auf empirisch festgestellte Eigenschaften und Tatsachen: auf die Häufigkeit, mit der sie vorkommen. Die Wahrscheinlichkeit bezieht sich also nicht (nur) auf unsere subjektive Ungewissheit sondern auf Eigenschaften der Welt⁴⁵⁴. Natürlich waren auch die Messungen der Astronomen „Tatsachen“, aber keine Tatsachen, die das Forschungsobjekt der Wissenschaft (als Theorie) gewesen wären. Quetelet schlug eine Wissenschaft vor, dessen Forschungsobjekt Phänomene sind, die *en masse* statistischen Gesetzen gehorchen.

⁴⁵⁰ Folgende Stelle aus Buckle (1865, S. 5-6; meine Hervorhebungen) ist ein gutes Beispiel dieser Einstellung: „In regard to nature, events apparently the most irregular and capricious have been explained, and have been shown to be in accordance with certain *fixed and universal laws*. This has been done because men of ability, and, above all, men of patient, untiring thought, have studied natural events with the view of discovering their *regularity*: and if human events were subjected to a similar treatment, we have every right to expect similar results”.

⁴⁵¹ Vgl. Hacking (1990), S. 128ff. und Kamlah (1987), S. 95.

⁴⁵² Vgl. Cohen (1987), S. 39.

⁴⁵³ Vgl. Cohen (1987), S. 39.

⁴⁵⁴ Diese Veränderung der Sichtweise in Bezug auf die Natur der Wahrscheinlichkeit war wirklich nicht trivial: der queteletschen Methode wurde 1836 explizit vorgeworfen, dass Wahrscheinlichkeit „either useless or illusory“ wird, wenn sie „to real facts in the physical and moral world“ angewendet wird (Risueño d'Amador, zit. in Porter 1986, S. 159).

Diese Gesetzmäßigkeit gilt aber eben nur *en masse*, während die Deutung des Einzelfalls problematisch blieb. Einerseits berief man sich auf das schon mehrmals erwähnte deterministische Kausalitätsmodell der statistischen Gesetzmäßigkeit, das diese wenigstens im Prinzip mit einem strengen Determinismus im realistischen Sinne kompatibel hätte machen sollen. Andererseits musste die Ausweitung des wissenschaftlichen Determinismus auf den Bereich des Benehmens und der Entscheidungen der Menschen auf Widerstand stoßen. Quetelet gewann als Statistiker sehr früh einen internationalen Ruhm, seine Ideen verbreiteten sich dementsprechend schnell, und lösten eine große Debatte aus⁴⁵⁵: vor allem musste er sich immer wieder gegen den Vorwurf verteidigen, seine *physique sociale* würde den freien Willen der Individuen einschränken bzw. leugnen, indem er von statistischen Gesetzen sprach, denen Taten gehorchen, die man normalerweise für freiwillig hält (Verbrechen, Suiziden usw.)⁴⁵⁶. Genau diese Debatte brachte die Aufmerksamkeit erstmals auf die *indeterministische* Seite der statistischen Gesetze, indem sie nicht die Gesetzmäßigkeit „der großen Zahlen“, sondern den Einzelfall in Mittelpunkt stellte.

Quetelet war sich der Schwierigkeit, die seine Theorien für die Frage des freien Willens bedeuteten, gewissermaßen von Anfang an bewusst: schon in der Einleitung zur ersten Ausgabe der *physique sociale* war es ihm wichtig gewesen, Folgendes zu präzisieren:

Ces lois, par la manière même dont on les a déterminées [= statistisch], ne présentent plus rien d'individuel; et par conséquent, on ne saurait les appliquer aux individus que dans de certain limites. Toutes les applications qu'on voudrait en faire à un homme en particulier seraient essentiellement fausses; de même que si l'on prétendait déterminer l'époque à laquelle une personne doit mourir, en faisant usage des tables de mortalité⁴⁵⁷.

Allerdings konnte Quetelet damit seine Kritiker nicht überzeugen, nicht zuletzt weil manche seiner begeisterten Anhänger seine Position in einer radikalisierten Form popularisierten – wie z.B. der englische Historiker Thomas Buckle. Dieser hatte in seiner 1857 bis 1861

⁴⁵⁵ Dazu Schramm (1989, S. 57): „Quetelet kam als der recht Mann zur rechten Zeit. Er entfesselte eine weltweite Woge der Begeisterung und wurde von ihr getragen. Er stellte die Statistik auf internationaler Basis, sorgte für vergleichbare Maßstäbe. 1853 organisierte Quetelet den ersten internationalen Kongress für Statistik in Brüssel“. Über die Rezeption von Quetelet in Frankreich und in England vgl. Lécuyer, (1987). Vgl. auch Kap. 1 und 2 (Teil I) von Porter (1986).

⁴⁵⁶ Die Debatte um den freien Willen (ethischer (In)determinismus) vermischt sich hier interessanterweise mit den Ansprüchen auf „Wissenschaftlichkeit“, die die neue, statistische Form von Gesetzmäßigkeit impliziert. Eine viel ältere Formulierung eines „ethisch-wissenschaftlichen Indeterminismus“ ist die Epikursche und Lukrezsche Theorie der *παράγκλισις* bzw. des *clinamen*, wobei die Möglichkeit eine zufällige Abweichung der Atombahn die Existenz des Zufalls und des freien Willens garantieren musste. Interessanterweise wird der antike Atomismus immer noch „in the late Victorian scientific discussion“ einbezogen (vgl. Porter 1986, S. 197-98), und die lukrezsche Theorie wird von Maxwell erwähnt, um Mechanismus und freien Willen kompatibel zu machen (vgl. Porter 2006, S. 205-206).

⁴⁵⁷ Quetelet (1835), I, S. 14.

erschienenen *History of Civilization in England* behauptet, dass Statistiker wie Quetelet „die Regelmäßigkeit des menschlichen Handelns“ bewiesen hätten⁴⁵⁸, so dass man nun imstande wäre, eine richtige „science of history“ zu betreiben, die die „movements of Man“ ähnlich wie die „movements of nature“ auffasst und untersucht⁴⁵⁹. Somit berief sich auch Buckle auf die Statistik, um für eine einheitliche Auffassung der Wissenschaft zu plädieren: in Bezug auf das Verhältnis zwischen „students of the mind“ und „students of nature“ erhoffte er sich von seiner vom statistischen Determinismus ermöglichten „science of history“

[that] the present work will at least have the merit of contributing something towards filling up that wide and dreary chasm, which, to the hindrance of our knowledge, separates subjects that are intimately related, and should never be disunited⁴⁶⁰.

Das erste Kapitel der *History of Civilization in England* trägt den Titel: „Statement of the resources for investigating history, and proofs of the regularity of human actions. These actions are governed by mental and physical laws“. In diesem Kapitel lehnt Buckle die „Lehre des Zufalls“⁴⁶¹ und die Lehre des freien Willen *in einem Zug* ab:

[...] the metaphysician, setting out with the doctrine of Chance, carries into the study of the mind this arbitrary and irresponsible principle, which in its new field becomes Free Will; an expression by which all difficulties seem to be removed, since perfect freedom, itself the cause of all actions, is caused by none, but, like the doctrine of Chance, is an ultimate fact admitting of no further explanation⁴⁶²

Nachdem er eine ausführliche Widerlegung der Existenz des freien Willens geführt hat (Buckle 1865, S. 13-14), formuliert er eine These, die er auch für eine notwendige Voraussetzung einer endlich wissenschaftlichen Geschichtsschreibung hält:

Rejecting, then, the metaphysical dogma of free will, and the theological dogma of predestined events, we are driven to the conclusion that the actions of men, being determined solely by their antecedents, must have a

⁴⁵⁸ Das erste Kapitel der *History of Civilization in England* trägt den Titel: „Statement of the resources for investigating history, and proofs of the regularity of human actions“

⁴⁵⁹ Buckle (1865), Bd. I, S. 6-7. Über Buckle vgl. auch Hacking (1990), Kap. 15.

⁴⁶⁰ Buckle (1865), S. 32-33.

⁴⁶¹ „According to [this] doctrine, every event is single and isolated, and is merely considered as the result of a blind chance. This opinion, which is most natural to a perfectly ignorant people, would soon be weakened by that extension of experience which supplies a knowledge of those uniformities of succession and of co-existence that nature constantly presents“ (Buckle 1865, S. 8).

⁴⁶² Buckle (1865), S. 10-11. Diese Stelle ist von Buckle explizit auch als Kritik an die Kantische Ethik gemeint.

character of uniformity, that is to say, must, under precisely the same circumstances, always issue in precisely the same results⁴⁶³

Die Aussagen Buckles bezeugen ganz klar, wie in der post-Queteletschen Debatte um den „statistischen Determinismus“ (oder „statistischen Fatalismus“ oder „Queteletismus“)⁴⁶⁴ die Frage um die Anerkennung der Wissenschaftlichkeit der Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften kraft der Existenz statistischer Gesetze und die Frage um den ethischen Determinismus sich verflochten.

Die Interpretation der Statistik und die einheitliche Auffassung der Wissenschaften seitens der Queteletschen Schule wurden besonders in Preußen/Deutschland heftig kritisiert: hier ging die Tendenz, Sozial- und Naturwissenschaften voneinander zu unterscheiden Hand in Hand mit einer Auffassung von Statistik, die sich von der Konzeption Quetelets stark unterschied⁴⁶⁵.

Zunächst – und bis in die späten 1860er Jahre – wurde die Statistik in Deutschland nicht unbedingt mit Zahlen und Daten identifiziert: die sogenannte „Universitätsstatistik“ lieferte hier eher deskriptive Berichte über politische, gesellschaftliche, geographische, historische und wirtschaftliche Eigenschaften verschiedener Staaten („Statistik“ war als Nachforschung und Ermittlung der „Staatsmerkwürdigkeiten“ gemeint). So berichtet im Jahr 1864 der Ökonom und Finanzwissenschaftler Adolph Wagner über eine verbreitete „Antipathie gegen die Zahlenstatistik“ und eine „Aversion gegen die ziffermässige Behandlung vieler den Menschen betreffenden Fragen“⁴⁶⁶.

Dementsprechend wurde auch der Begriff von „statistischen Gesetzen“ beispielsweise von den meisten deutschen Nationalökonomen des im Jahr 1873 gegründeten *Vereins für Sozialpolitik* abgelehnt: ihr Glaube an die wesentliche Rolle, welche Geschichte und Kultur für die Identität von Völkern und Nationen spielten, lief der Zuschreibung ahistorischer statistischer Gesetze, die für eine jede beliebige Gesellschaft gelten sollten, zuwider⁴⁶⁷.

⁴⁶³ Buckle (1865), S. 18.

⁴⁶⁴ An der breiten, internationalen Debatte beteiligten sich nicht nur Wissenschaftler, sondern u.a. Staatsdiener, Ärzte und Schriftsteller. Vgl. Porter (1986), Kap. 6; Krüger (1987); Gigerenzer *et al.* (1989), Kap. 2; Hacking (1990), insbesondere Kap. 14 und 15 und Galavotti (2005), S. 18-21.

⁴⁶⁵ Zur Rezeption von Quetelet in Deutschland werden hier v. a. folgende Quellen berücksichtigt: Lazarsfeld (1961), S. 283-294 und S. 309-310; Porter (1986), Teil I und Teil 3, Kap. 6; Porter (1987); Hacking (1987b), S. 377-394 und (1990), insb. Ch. 5 und 15; Heidelberger (2010). Dazu kommen drei ältere Quellen: Wagner (1864); Knapp, (1871/72); Winkler (1937).

⁴⁶⁶ Wagner (1864), S. xiii-xiv.

⁴⁶⁷ Über die Entwicklung einer „Gesellschaftswissenschaft“ in Deutschland vgl. Mikl-Horke (2011), Kap. II, 2, insb. die Absätze „Grundbegriffe des deutschen Sozialdenkens: Staat, Volk, Kultur“ und „Historismus und Geisteswissenschaften“ (S. 43-48).

Selbst nachdem Daten und Zahlen langsam auch in Deutschland jene beschreibende Statistik ersetzen, die Porter „frozen history“ genannt hat⁴⁶⁸, wurde die „Zahlenstatistik“ in Deutschland zumeist „bloß“ als Mittel zu Massenbeobachtungen und Massenbeschreibungen aufgefasst: insbesondere war man keinesfalls bereit, statistische Regelmäßigkeiten und Korrelationen als Ausdruck von „Gesetzen“ oder als Bezugspunkt für „Erklärungen“ und „Vorhersagen“⁴⁶⁹ aufzufassen, u.a. eben aus dem Grund, dass dieser Schritt als Bedrohung der menschlichen Freiheit empfunden wurde. So gibt z.B. der deutsche Ökonom und Statistiker Georg Friedrich Knapp die Meinung von „Fachleuten“ über die Bedeutung der Statistik mit Zustimmung wieder:

Die Statistik ist doch eigentlich nur ein eigenthümliches Verfahren vermittelt dessen man bei sehr verwickelten Erscheinungen einzelne Ursachen aus dem großen Complex der Ursachen isolirt und die Wirkung derselben misst; wenn nun jene Schule [= Quetelet und seine Anhänger] gefunden haben will, dass die menschlichen Handlungen unabhängig vom Willen sind, so darf man wohl fragen, ob hierbei das Werkzeug der Untersuchung, nämlich die Statistik, mit dem nöthigen Verständnis angewendet gewesen sei.⁴⁷⁰

Viele deutsche Gelehrten lehnten die Position von Quetelet und Buckle zusammen mit dem statistischen Determinismus heftig ab. So merkte z.B. Knapp sarkastisch:

Die französische Schule, fortwährend an die astronomische Beschäftigung seines Gründers [= Quetelet] mahnend, sieht in dem Menschen, da ihm jene Willensfreiheit fehle, fortan nur noch ein Wesen, welches dem Zwang irgend welcher außerhalb stehender Gesetze unterworfen ist, und welcher dabei die merkwürdige Gabe besitzt, sich dessen bewusst zu sein was mit ihm vorgeht, und sich törichter Weise dafür verantwortlich zu fühlen. Ein Theil der Anhänger leugnet so alle selbstständige Bethätigung der Einzelnen; ein anderer Theil will für die menschliche Freiheit noch ein kleines Feld der Wirksamkeit offen lassen, so jedoch, dass dadurch höchstens kleine Unebenheiten, wie etwa durch Beobachtungsfehler, hervorgebracht werden. Der handelnde Mensch ist also entweder ganz dem fallenden Stein vergleichbar, oder er gleicht einem an die Kette gelegten Hund, dem mit mathematischer Unerbittlichkeit der Ort vorgeschrieben ist, auf welchem er frei umherspringen darf.⁴⁷¹

⁴⁶⁸ Porter (1987), S. 354.

⁴⁶⁹ Diese Problematik ist in den breiteren Kontext des Ursprungs jener Methodenstreite in den Sozialwissenschaften einzubetten, in denen Kategorien wie „Erklären“ und „Verstehen“, „quantitativ“ und „qualitativ“, „methodologischer Individualismus“ und „methodologischer Holismus“ gegenübergestellt wurden und werden. Gute Ausgangspunkte für eine detaillierte Analyse eines solchen Kontexts sind Mikl-Horke (2011) und Fest (Hrsg. 2010).

⁴⁷⁰ Knapp (1871/72), S. 240.

⁴⁷¹ Knapp (1871/72., S. 241.

Diese Debatte um den freien Willen erweckte eine neue Aufmerksamkeit für den „Einzelfall“: für die Frage, was die Gesetzmäßigkeit der großen Zahlen im Bezug auf die mögliche „Vorherbestimmtheit“ des Einzelfalls zu bedeuten habe⁴⁷². Der „deterministic account of statistical regularities“, der eine deterministische Perspektive auf den Einzelfall implizierte, löste sich wegen seiner internen Schwäche⁴⁷³ und wegen der Autonomisierung der Statistik⁴⁷⁴ langsam auf: die Etablierung statistischer Methoden in von einander sehr unterschiedlichen Wissenschaften im Laufe des 19. Jahrhunderts machte eine allgemeingültige Kausalerklärung des Einzelfalls unglaublich und vor allem überflüssig. Eine neue Wahrscheinlichkeitsauffassung entstand, der Frequentismus, und gleichzeitig ihre „Achillesferse“, das Problem des Einzelfalls – was im nächsten Absatz untersucht wird.

c. Chaotische Einzelne, regelmäßige Kollektive: Frequentismus und statistische Mechanik

Wir haben schon die *Théorie analytique* von Laplace als *summa* der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie in Betracht gezogen, die nicht nur die erste Entwicklung der Wahrscheinlichkeitsrechnung umfasste, sondern auch eine bestimmte Wahrscheinlichkeitsauffassung implizierte. Ich möchte nun versuchen, die Hauptzüge der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie in der reifsten Laplaceschen Standardversion systematisch zu rekapitulieren, um dann vergleichend jene Veränderung in der Wahrscheinlichkeitsauffassung zu fokussieren, die die Entwicklung der Statistik im 19. Jh. begleitete und ihre Anwendung in der Physik vorbereitete.

Laplace definiert die Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis A als das Verhältnis zwischen der Anzahl der für A günstigen und der Anzahl der gleichmöglichen Elementarereignisse. Diese

⁴⁷² Vgl. z.B. das folgende Zitat aus Knapp (1871/72, S. 243): „Die beiden Schulen unterscheiden sich also wesentlich durch die Richtung, in welcher die Erklärung fortschreitet: die Schule Buckles erklärt von aussen nach innen, sie sieht die Stätigkeit des Ganzen und beschränkt daher den Einzelnen; die deutsche Schule erklärt von innen nach aussen: sie nimmt den Einzelnen wie er ist und sucht nach Gründen für die Stätigkeit des Ganzen“. Dieses Zitat formuliert schon das immer noch aktuelle Problem des methodologischen Individualismus: eine aktuelle Darstellung dieser Frage findet man in: Steel/Guala (Hrsg. 2011), Part V.

⁴⁷³ Vgl. Krüger (1987), Kap. 5, insb. S. 77: „The deterministic explanation of statistical regularities seemed obvious to many nineteenth-century scientists and philosophers. And yet it failed. No plausible account of structural causation was discovered, and the compensation problem of accidental causes remained unsolved“.

⁴⁷⁴ Vgl. Hacking (1990), Kap. 21: „In this chapter I shall draw attention to the way in which laws of a statistical sort become ‘serviceable for explanation’ [...] One can explain something by using a statistical law only if it is in some ways autonomous, and not reducible to some set of underlying causes“ (S. 181).

Definition der Wahrscheinlichkeit bezeugt den Ursprung der Wahrscheinlichkeitstheorie aus der Mathematik der Glücksspiele: sie setzt nämlich voraus, dass man die Menge der in gleicher Weise möglichen Elementarereignisse identifizieren kann, was bei Münzwürfen oder Würfeln eine triviale Annahme ist (wenn das Spiel fair ist). In solchen Fällen ist nämlich das erwähnte Verhältnis leicht zu erkennen (beim Würfeln mit einem fairen Würfel sind die gleich möglichen Elementarereignisse offensichtlich 6 und die Anzahl der für das Ergebnis „3“ günstige Fälle ist 1, somit ist die Wahrscheinlichkeit für das Ereignis „3“ $1/6$) und man kann von diesen *a priori* Wahrscheinlichkeiten ausgehen, um Probleme der Kombinatorik zu lösen oder um direkte statistische Schlüsse zu ziehen. Wie wir aber schon gesehen haben, ergaben sich bei komplizierteren Problemen, wie z.B. jenen der damaligen „Statistik“, Schwierigkeiten: bei der Untersuchung von komplexen gesellschaftlichen Phänomenen kann man schwer die Menge der in gleicher Weise möglichen Elementarereignisse identifizieren, und jene Wahrscheinlichkeiten, die beim mathematischen Modell der Glücksspiele *a priori* gegeben waren, werden gerade die Unbekannten, die nun zu finden ist. Vor dieser Schwierigkeit versuchten Mathematiker wie Bayes und Laplace, die in gleicher Weise möglichen Elementarereignisse mit Hilfe des „Prinzips des unzureichenden Grundes“ trotzdem zu postulieren: die Tatsache, dass wir über die Elementarereignisse und ihre Wahrscheinlichkeit nichts wissen, sollte die Annahme ihrer Gleichmöglichkeit rechtfertigen. Mit anderen Worten, da wir kein *Grund* haben, zu glauben, dass ein Ereignis wahrscheinlicher ist als die anderen, sollten wir die Gleichmöglichkeit postulieren. Nebenbei bemerkt, wirkt bei dieser Anwendung des „Prinzips vom unzureichenden Grunde“ dieselbe Verflechtung zwischen epistemischer und physikalischer Ebene, die im Kap. 2 als eine wesentliche Ursache des impliziten wissenschaftlichen Determinismus identifiziert wurde: die „Übersetzung“ des Prinzips des unzureichenden Grundes in die Annahme einer tatsächlichen (physikalischen) Gleichmöglichkeit ist das Spiegelbild der „Übersetzung“ des Satzes vom zureichenden Grunde in das Kausalprinzip⁴⁷⁵.

Das neue Problem, die *a priori* unbekannten Wahrscheinlichkeiten *de facto a posteriori* finden zu müssen, war – wie wir gesehen haben – das Motiv der ersten Versuche eines indirekten statistischen Schlusses. Die Aufmerksamkeit verschiebt sich dabei auf die empirisch festgestellten Häufigkeiten, die als Ausgangspunkt dienen, um die „realen Wahrscheinlichkeiten“ berechnen zu können. Im Rahmen dieser Entwicklung befestigte Laplace die klassische Interpretation der zwei wichtigsten Ergebnisse der

⁴⁷⁵ Wie schon erwähnt, begründeten z.B. Kant und Laplace ihren Glauben an den impliziten wissenschaftlichen Determinismus u.a. durch den Satz vom zureichenden Grunde.

Wahrscheinlichkeitsrechnung im 18. Jh., d.h. des Satzes von Bernoulli und des Bayestheorems. Der erste, von Poisson als „Gesetz der großen Zahlen“ verallgemeinert und neu getauft, wird als Zeichen dafür gesehen, dass „regelmäßige Ursachen“ bei Zufallsereignissen sich asymptotisch über die „zufälligen Ursachen“ durchsetzen, wobei die Gaußsche Verteilung zeigt, dass auch diese letzte einem regelmäßigen, symmetrischen Muster folgen, indem sie sich gegenseitig abgleichen. Das Bayestheorem sollte hingegen den indirekten statistischen Schluss erlauben, und wird auch als mathematisches Modell für den Rückschluss von den „Wirkungen“ zu den „Ursachen“ angewandt. Hierin ist wieder die klassische Verflechtung zwischen epistemischer und physikalischer Ebene zu merken: Laplace interpretiert den Rückschluss von einer gewissen Häufigkeit (z. B. der weißen Kugeln beim Ziehen aus einer Urne) zum tatsächlichen Verhältnis zwischen weißen und schwarzen Kugeln in der Urne, d.h. den Rückschluss von einer gewissen *Evidenz* zu einer *Hypothese*, als Rückschluss von einer *Wirkung* zu einer *Ursache*.

Trotz des Vorhandenseins von Wahrscheinlichkeiten im physikalischen bzw. im aleatorischen Sinne ist die klassische Wahrscheinlichkeitsauffassung meistens epistemisch, d.h. sie bezieht die Wahrscheinlichkeit meistens auf Überzeugungen, und nicht auf die Welt⁴⁷⁶. Selbst das Bewusstsein eines Unterschieds zwischen dem aleatorischen und dem epistemischen⁴⁷⁷ Sinn der Wahrscheinlichkeit tauchte nur allmählich auf, und die explizite Unterscheidung zwischen aleatorischen und epistemischen Wahrscheinlichkeiten bereitete schon den Übergang von der klassischen zu der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung vor⁴⁷⁸. In der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts fingen einzelne Wissenschaftler wie Lambert und Lagrange an, die zwei Bedeutungen von Wahrscheinlichkeit durch die Anwendung verschiedener Wörter

⁴⁷⁶ Die Fälle, auf die die klassische Wahrscheinlichkeit angewendet wird, sind nämlich: die mathematischen Probleme, die die Glücksspiele betreffen, in denen die Wahrscheinlichkeit meistens als rationale Gewinnerwartung vorkommt; die frühen Formen der Entscheidungstheorie und die Einschätzung von Evidenz im prozessualen Kontext, in denen die Wahrscheinlichkeit als Überzeugungsgrad vorkommt; die ersten Formen induktiver Logik, in denen es darum geht, die Glaubwürdigkeit einer Hypothese in Lichte einer gewissen Evidenz einzuschätzen.

⁴⁷⁷ „Probability has two aspects. It is connected with the degree of belief warranted by evidence, and it is connected with the tendency, displayed by some chance devices, to produce stable relative frequencies.” (Hacking 1975, S. 1. Vgl. auch Kap. 2).

⁴⁷⁸ „It was not so much the development and the triumph of a thoroughgoing frequentist version of probability theory that marked the end of the classical interpretation, as the realization that a choice must be made between (at least) two distinct senses of probability. The range of problems to which the classical probabilists applied their theory shows that their understanding of probability embraced objective as well as subjective elements: statistical actuarial probabilities happily co-existed with epistemic probabilities of testimony in the work of Jakob Bernoulli or Laplace” (Gigerenzer *et al.*, 1989, S. 10).

zu unterscheiden⁴⁷⁹: diese Unterscheidung wird aber erst in den 1830er und frühen 1840er Jahren von Poisson und Cournot hervorgehoben und durchgesetzt⁴⁸⁰.

Dem Entstehen der bewussten Unterscheidung zwischen epistemischen und aleatorischen Wahrscheinlichkeiten folgte ab den 1840er Jahren (d.h. die Verbreitung der Statistik im modernen Sinne begleitend) eine kritische Einstellung gegenüber der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung seitens verschiedener Autoren aus verschiedenen Ländern, wie Richard Leslie Ellis, John Stuart Mill, Antoin-Augustin Cournot, Jakob Friedrich Fries und John Venn⁴⁸¹. Erstens wurde der klassische indirekte statistische Schluss von den „Wirkungen“ auf die „Ursachen“ kritisiert: die Unterscheidung zwischen epistemischen und physikalischen Wahrscheinlichkeiten suggerierte offensichtlich eine Ablehnung der schon erwähnten Verflechtung zwischen epistemischen (Schluss auf A aufgrund von B) und kausalen (A ist die Ursache von B) Verhältnissen. Zweitens verschob sich die Aufmerksamkeit dank des Vorhandenseins einer immer größeren Menge statistischer Daten auf die aleatorischen Wahrscheinlichkeiten⁴⁸². Nach der neuen, empiristischen Einstellung brauchte man zum Herausfinden der „wahren“ Wahrscheinlichkeiten weniger den klassischen (bayesianischen) indirekten Schluss (der von *a priori* Wahrscheinlichkeiten ausgeht), als die Beobachtung jener tatsächlicher Häufigkeiten, die nun ausgiebig vorhanden sind⁴⁸³.

Aus dieser Distanzierung von der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung folgte insbesondere in den Arbeiten von Ellis und Venn die erste Ausarbeitung jener

⁴⁷⁹ Lambert unterscheidet zwischen (physikalischer) „Möglichkeit“ der Ereignisse und „Zuverlässigkeit“ unserer Einschätzungen in Bezug auf ihr Vorkommen. Lagrange unterscheidet zwischen *Facilité*, d.h. der physikalischen Möglichkeit, dass ein Ereignis stattfindet, und *Probabilité*, d.h. die Glaubwürdigkeit eine Einschätzung (vgl. Hacking 1975, S. 130).

⁴⁸⁰ 1837 Poisson und 1843 Cournot benutzten das Wort *chance* in Bezug auf die physikalische Wahrscheinlichkeit und *probabilité* in Bezug auf die epistemische Wahrscheinlichkeit (vgl. Porter 1986, S. 84 und Hacking 1990, S. 96).

⁴⁸¹ Für eine Darstellung der einzelnen Positionen dieser Autoren vgl. Porter (1986, S. 77-88), Krüger (1987), S. 67-76, und Cohen (1987), S. 39.

⁴⁸² In Bezug auf den Übergang von der klassischen zu der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung schreibt Porter (1986, S. 86): „It should not be supposed that the frequency interpretation immediately – or ever – eclipsed completely the subjective interpretation of probability. Something like it did, however, become the common-sense view during the late nineteenth century. The most prominent French and German writers on the subject were not won over to the view that probability was intrinsically objective in character, but neither were they much interested in the allocation of uncertainty among possible outcomes of a trial, and none seem to have upheld the calculation of probability for causes and testimony”.

⁴⁸³ In Bezug auf den Übergang von der klassischen zu der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung schreibt Kamlah (1987, S. 113): „What were the reasons that finally caused the change? I cannot give a satisfactory answer for that question. There was no new fact that was discovered and was inconsistent with the old view. The gestalt switch was caused at least partly by external reasons. [...] the increasing investigation of probability distributions, i.e. of the ‘a posteriori probabilities’, led to the impression that the ‘a priori probabilities’ are only unimportant special cases of quantities that usually have to be determined by experience”.

Wahrscheinlichkeitsauffassung, die heute als Frequentismus bekannt ist⁴⁸⁴. Beide Autoren⁴⁸⁵ teilten die empiristische⁴⁸⁶ Überzeugung, dass jede Rede von Wahrscheinlichkeit im wissenschaftlichen Sinne auf jeden Fall auf die Beobachtung von Häufigkeiten bezogen werden muss. Der einzige legitime Anwendungsbereich des wissenschaftlichen Wahrscheinlichkeitsbegriffes bestand aus ihrer Sicht aus *Reihen* von Ereignissen bzw. aus *Mengen* von Elementen: ohne den Bezug zu solchen ‚kollektiven Gegenständen‘ (Ellis spricht von *genus*⁴⁸⁷, Venn spricht von *series*; von Mises wird 1919 den Begriff „Kollektiv“ einführen⁴⁸⁸) könne man in der Wissenschaft nicht sinnvoll von Wahrscheinlichkeiten sprechen. Die Wahrscheinlichkeit wird dann mit dem Grenzwert der relativen Häufigkeit identifiziert, mit der ein gewisses Ereignis bzw. eine gewisse Eigenschaft in einer genügend langen Versuchsreihe bzw. in einer genügend großen Menge vorkommt. Somit beruht die frequentistische Wahrscheinlichkeitsauffassung auf dem Satz von Bernoulli oder auf dem Gesetz der großen Zahlen: es muss nämlich vorausgesetzt werden, dass die relative Häufigkeit eines Ereignisses tatsächlich konvergiert und sich asymptotisch dessen Wahrscheinlichkeit annähert⁴⁸⁹. Das Einzelereignis muss jedenfalls als Element einer gewissen, genügend großen Reihe oder Menge betrachtet werden, bevor man seine Wahrscheinlichkeit einschätzen bzw. berechnen kann⁴⁹⁰. Die frequentistische Wahrscheinlichkeitsauffassung, die die Entwicklung der Statistik begleitete, führte somit eine neue Ontologie ein, und zwar eine, die *kollektive*

⁴⁸⁴ Der Frequentismus wurde in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts im Rahmen des Logischen Empirismus von Richard von Mises und Hans Reichenbach zur vollkommenen Reife gebracht: die zwei Autoren haben unabhängig voneinander zwei verschiedenen Versionen des Frequentismus entwickelt: vgl. insb. Mises (1919, 1928, 1964) und Reichenbach (1949).

⁴⁸⁵ Für eine detailliertere Darstellung der jeweiligen Arbeit von Ellis und Venn vgl. Porter (1986), S. 78-81 und S. 87-88, Krüger (1987), S. 68-71, und vor allem Galavotti (2005), §4.1 und §4.2.

⁴⁸⁶ „The frequency theory of probability was first developed in the middle of the nineteenth century by the Cambridge school of Ellis and Venn, and it can be considered as a ‘British empiricist’ reaction against the ‘Continental rationalism’ of Laplace and his followers” (Gillies 2000, S. 88).

⁴⁸⁷ So gibt Krüger (1987, S. 69) das interessante Konzept von Ellis wieder: „In order to do statistics we need ‚similar trials‘; e.g. we refer to a certain ‘genus of phenomena to which the different results are subordinated as distinct species’”.

⁴⁸⁸ Vgl. Mises (1919b), S. 54.

⁴⁸⁹ Das ist z.B. bei Ellis „das fundamentale Prinzip der Wahrscheinlichkeitstheorie“: „the fundamental principle of the theory of probabilities may be regarded as included in the following statement; - the conception of a genus implies that of numerical relations among the species subordinated to it” (zit. in Krüger 1987, S. 69). Mises (erstmalig 1919b, S. 33) wird die Konvergenz der relativen Häufigkeiten als *Forderung* (oder Axiom) der Wahrscheinlichkeitstheorie postulieren (für eine Analyse dieser umstrittenen Annahme der Frequentisten vgl. Gillies 2000, Kap. 5).

⁴⁹⁰ So stellt z.B. Porter (1986, S. 87) die Position von Venn dar: „To determine the probability of an event, he [= Venn] argued, requires that the event be placed in a series. The probability value then applies to the series, and not to the individual occurrence, for since a single event can be placed in different series, it might otherwise be assigned contradictory probabilities. Venn offered the example of the consumptive Englishman in Madeira, a species too rare to have its own life tables. An insurance company, which is concerned only with averages, can classify this man either among consumptive Englishmen or among English residents of Madeira, but no unique probability of death can be assigned to the individual”.

Gegenstände als *autonome* Forschungsobjekte vorsah, völlig unabhängig von jeder deterministischen Erklärung des Einzelfalls.

Normalerweise wird der Übergang von der klassischen zu der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung als Übergang von einer epistemischen zu einer „objektiven“⁴⁹¹ Wahrscheinlichkeitsauffassung dargestellt: Da die Wahrscheinlichkeit somit keine subjektive Ungewissheit mehr wäre, die aus einer mangelhaften Erkenntnis einer an sich deterministischen Welt stammt, sondern als Eigenschaft der Welt an sich interpretiert wäre, würde dieser Übergang dem Indeterminismus Platz machen. Das war aber nicht unbedingt der Fall: fast alle erwähnten Kritiker der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung sind noch überzeugte Deterministen und glauben noch, dass es auch bei Zufallsphänomenen in Prinzip eine kausale Erklärung für den Einzelfall gäbe – nur, sie bliebe uns verborgen⁴⁹². Man darf eine *empiristische* Wahrscheinlichkeitsauffassung nicht mit einer *realistischen* verwechseln: die empiristisch orientierte, frequentistische Auffassung der Wahrscheinlichkeit bezog diese zwar auf Häufigkeiten statt auf Überzeugungen, das heißt aber noch nicht, dass die „Urfrequentisten“ glaubten, dass die Realität sich auf die empirisch zugänglichen Häufigkeiten zufälliger Einzelereignisse reduzieren ließe. Nur Venn scheint die Möglichkeit des Indeterminismus einzuräumen:

On the theory adopted in this work we simply postulate ignorance of the details, but it is not regarded as of any importance on what sort of grounds this ignorance is based. It may be that knowledge is out of the question from the nature of the case, *the causative link, so to say, being missing*. It may be that such links are known to exist, but that either we cannot ascertain them, or should it find it troublesome to do so. It is the fact of this ignorance that makes us appeal to the theory of Probability, the grounds of it are of no importance⁴⁹³.

Diese letzte Anmerkung von Venn ist bezeichnend: die Entwicklung der Statistik und der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung führten nicht unmittelbar zum Indeterminismus, d.h. zum Glauben, dass die Einzelfälle nicht völlig vorherbestimmt wären, sondern eher zu der Idee, dass man eine detaillierte kausale Rekonstruktion der Einzelfälle entbehren kann, ohne dass damit auf jegliche Form der Gesetzmäßigkeit verzichtet werden

⁴⁹¹ Im §1.c habe ich schon darauf hingewiesen, wie doppeldeutig und irreführend das Adjektiv „objektiv“ in Bezug auf die Wahrscheinlichkeitsauffassung ist.

⁴⁹² Ellis glaubte immer noch an das Zusammenspiel zwischen „beständigen“ und „zufälligen“ Ursachen, die in jedem Einzelfall am Werk sind (vgl. Krüger 1987, S. 69). Cournot entwickelte sogar eine komplexe Kausalerklärung der Zufallsphänomene (vgl. Krüger 1987, S. 72-74). Der Kantianer Fries interpretierte statistische Regelmäßigkeiten nur als Hinweis auf „echte“ unterliegende deterministische Gesetze (vgl. Porter 1986, S. 85-86).

⁴⁹³ Venn, *The Logic of Chance* (1866), zit. in Krüger (1987), S. 70; meine Hervorhebung.

muss. Der Verzicht auf die deterministische kausale Gesetzmäßigkeit der Einzelfälle wird durch den Gewinn der statistischen Gesetzmäßigkeit „kompensiert“, die die kollektiven Gegenstände zeigen. Dass man nicht versuchen will, diese weiter zu analysieren, um unbedingt zu deterministischen Kausalerklärungen zu kommen, d.h. die Anerkennung der *Autonomie* dieser „Kollektive“ als Forschungsobjekte, bedeutet nicht unbedingt den Verzicht auf das wissenschaftliche Determinismus als unentbehrliches Ideal wissenschaftlicher Theorien, aber sicherlich eine Schwächung der „Festigkeit“ (vgl. oben, §1.b) des determinierenden Verhältnisses im deterministischen Idealbilde (WD^e oder WD^z).

Diese Schwächung wird parallel zur Entwicklung der Thermodynamik und der statistischen Mechanik von einem anderen Vertreter einer frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung des 19. Jahrhunderts zugespitzt, dem Physiker und Physiologen Gustav Theodor Fechner (1801-87), der anders als die bisher betrachteten Frequentisten sehr wohl dazu kam, einen realen Grad an Unbestimmtheit bzw. Indeterminiertheit einzuräumen (vgl. unten, §6.a). Seine frequentistische Auffassung der statistischen Gesetzmäßigkeit entwickelte Fechner ab den 1850er Jahren: diese mündete in ein Buch, das erst 1897 mit dem Titel *Kollektivmaßlehre* posthum vollendet und herausgegeben wurde⁴⁹⁴. Fechner anerkennt die Gesetzmäßigkeit der statistischen Gesetze und teilt die für den Frequentismus typische Überzeugung, dass niemals Einzelne, sondern nur „Kollektivgegenstände“ dieser Gesetzmäßigkeit gehorchen. Somit bleibt der Einzelfall, der einem Kollektivgegenstand gehört, gewissermaßen unbestimmt: Fechner schreibt aber den Einzelnen, die zu einem Kollektivgegenstand gehören, explizit einen *realen* zufälligen Charakter zu, und kommt somit zu einer *ontologischen* Formulierung der typisch frequentistischen und paradoxen Idee, dass der zufällige Charakter des Einzelnen sogar Möglichkeitsbedingung der statistischen Gesetzmäßigkeit (d.h. der Gesetzmäßigkeit des Kollektivgegenstands) ist⁴⁹⁵.

Denn für die Frequentisten ist nicht nur so, dass die statistische Gesetzmäßigkeit dem Zufall Platz einräumt; es ist viel mehr so, dass statistische Gesetze den „Zufall“ *voraussetzen*. Damit

⁴⁹⁴ Fechner (1897). Die Rezeption des Buchs widerspiegelt sich in den Titeln von zwei klassischen Lehrbüchern des frühen 19. Jahrhunderts: *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Kollektivmaßlehre* (1906), des deutschen Astronomen Heinrich Bruns, und *Die Kollektivmaßlehre* (1908), des österreichischen Mathematikers Emanuel Czuber. Richard von Mises, der den Frequentismus zur Reife brachte (vgl. unten, §7.c), war Schüler dieses letzteren, so dass man einen indirekten Einfluss von Fechner auf Mises behaupten kann: vgl. Heidelberger (1987), §6 und Heidelberger (1993), §7.5.

⁴⁹⁵ Zu Fechners *Kollektivmaßlehre* und seiner Rezeption vgl. Heidelberger (1993), §7.4 und 7.5. Ich werde unten (§6.a) wieder auf Fechner zurückkommen.

die statistische Gesetzmäßigkeit ans Licht kommt, *müssen* die Einzelfälle durch eine Gesetzlosigkeit charakterisiert werden⁴⁹⁶.

Dieses Bild einer statistischen Gesetzmäßigkeit, die auf dem Zufall beruht, interessiert uns in diesem Absatz vor allem insofern, als es langsam auch in der Physik einen Platz fand, und zwar im Rahmen der Versuche, die Thermodynamik auf die Mechanik zu reduzieren.

Schon ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und auch infolge der industriellen Revolution war eine wachsende Aufmerksamkeit für physikalische Phänomene entstanden, die durch „neue“ (im Vergleich zu der Mechanik) physikalische Größen beschrieben wurden: Temperatur, Arbeit, Druck, Volumen. Die Untersuchung physikalischer Systeme mit Bezug auf diese Parameter entwickelte sich rasch dank der Arbeit v.a. von Robert Boyle, Joseph Black, Joseph Louis Gay-Lussac, Sadi Carnot, Joseph Fourier und James Prescott Joule (alle Wissenschaftler, die im Bereich der sogenannten *baconian sciences* tätig waren), bis die zwei Hauptsätze der Thermodynamik um die Mitte des 19. Jahrhunderts formuliert wurden:

Die Energie der Welt ist konstant.

Die Entropie der Welt strebt einem Maximum zu.

- nach der berühmten Zusammenfassung von Rudolf Clausius im Jahre 1865⁴⁹⁷.

Die Entwicklung der Thermodynamik bedeutete die Entstehung eines Gebiets der Physik, das zwar durch den Begriff der Energie mit der Mechanik verbunden war, das sich aber von dieser in manchen Hinsichten stark unterschied. Schon 1822 hatte Fourier diese Heterogenität bemerkt:

[...] trotz ihrer großen Erklärungskraft können mechanische Theorien nicht angewendet werden, um die Auswirkungen der Wärme zu erklären. Diese gehören zu einer speziellen Art von Phänomenen, die man durch die Prinzipien der Bewegung und des Gleichgewichts nicht erklären kann. [...] Dieses Gebiet der Naturphilosophie kann man nicht mit den dynamischen Theorien in Zusammenhang bringen. Es hat nämlich eigene Prinzipien [...] ⁴⁹⁸.

⁴⁹⁶ Diese Idee des Zufalls als Bedingung der Gesetzmäßigkeit, die im Frequentismus des 19. Jahrhunderts noch nicht ganz explizit ist, wird von von Mises (1919b, S. 57) betont, indem er in seiner frequentistischen Wahrscheinlichkeitstheorie neben dem schon erwähnten Axiom der Konvergenz der relativen Häufigkeiten auch den zufälligen Charakter der Einzelereignisse als „Forderung“ postuliert (auch diese Annahme des Frequentismus ist nicht unproblematisch: vgl. Galavotti 2007, S. 125). Die Annahme einer Zufälligkeit der Einzelereignisse ist eine Eigenschaft des Frequentismus im Allgemeinen: vgl. Gillies (2001), Kap. 5. Zur Entwicklung des Frequentismus vgl. unten, § 7.c.

⁴⁹⁷ Vgl. Bellone (1998), S. 234. Einen philosophisch wertvollen Abriss der historischen Entwicklung von Thermodynamik, kinetische Wärmetheorie und statistische Mechanik liefert Sklar (1993). Kap. 2.

⁴⁹⁸ Aus: Fourier, *Théorie Analytique de la Chaleur* (1822), zit. in: Ceriani-Sangiorgio (1995), meine Übersetzung.

Thermodynamische Größen, z.B. Temperatur und Druck, sind voneinander abhängig, während es die klassischen Variablen der Hamiltonschen Mechanik nicht sind. Thermodynamische Prozesse können die Materie und ihre Eigenschaften verändern, was in Bezug auf die idealen Körper der klassischen Mechanik nicht vorgesehen ist. Fourier dachte aber vor allem an die *zeitliche Asymmetrie* thermodynamischer Phänomene: er selber hatte die Verbreitung der Wärme untersucht, die beim Kontakt zwischen zwei Körpern vom Wärmeren zum Kälteren gerichtet war, und er hatte somit jene zeitliche Asymmetrie bemerkt, die der klassischen Mechanik fremd war, und die im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik Ausdruck findet⁴⁹⁹.

Trotzdem hatte sich das mechanistische Paradigma im Laufe des 19. Jahrhunderts dank der erfolgreichen Zurückführung „andersartiger“ physikalischer Phänomene (z.B. Elektrizität und Magnetismus) auf die Mechanik verstärkt, und dieses Paradigma forderte den Versuch einer Zurückführung auch thermodynamischer Phänomene auf eine mechanische Erklärung. Die Etablierung der kinetischen Wärmetheorie⁵⁰⁰ und die Entwicklung der Chemie im Laufe des 19. Jahrhunderts förderten eine mechanistische bzw. kinetische Auffassung der Wärme und der thermodynamischen Phänomene sowie eine molekulare bzw. atomistische⁵⁰¹ Auffassung der Materie. Ein besonders geeignetes Forschungsobjekt für die Vertreter der molekularen Theorie war die Materie im gasförmigen Zustand: bei der Untersuchung thermodynamischer Eigenschaften unterschiedlicher Gase konnte man versuchen, diese Eigenschaften, sowie Phänomene wie die Diffusion und die Wärmeübertragung, auf die Bewegung der hypothetischen⁵⁰² Teilchen zurückzuführen, die beim gasförmigen Zustand den geeigneten Spielraum für eine solche Bewegung haben⁵⁰³.

⁴⁹⁹ Vgl. Brush (1976b), S. 606-608. Über die zeitliche Asymmetrie und die Formulierungen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik aus rein thermodynamischem Standpunkt (d.h. noch ohne Bezug auf die statistische Mechanik) vgl. Sklar (1993), S. 18-22.

⁵⁰⁰ Vgl. Brush (1976b), S. 610.

⁵⁰¹ „An atom is a body which cannot be cut in two. A molecule is the smallest possible portion of a particular substance: No one has ever seen or handled a single molecule“; „Since [...] every molecule is not an atom, but every atom is a molecule, I shall use the word molecule as the more general term“ (Maxwell (1890 [1873c]), S. 361, und S. 363). In seinen historischen Rekonstruktionen der Entstehung der „molecular theory of matter“ (vgl. Maxwell (1867a), S. 50-51, (1902 [1871]), S. 312-14; (1890 [1873c]), S.361-362) geht Maxwell bis auf die atomistischen Theorien von Demokritus, Epikur und Lukrez zurück. Über seinen Begriff von Molekül vgl. Maxwell (1967a), S. 54 und (1903 [1871]), S. 312.

⁵⁰² Der Mangels einer direkten empirischen Evidenz für diese Teilchen dauerte bis dem frühen 20. Jh., und zwar bis der einsteinschen Auffassung der brownischen Bewegung.

⁵⁰³ Gute Einblicke in die Entwicklung der molekularen Theorie der Materie sowie insbesondere der Gase zwischen Ende der 1860er und Anfang der 1870er Jahre gibt Maxwell: (1995 [1866]), S. 279; (1867a), S. 49-50, (1903 [1871]), S. VI und S. 321ff.; (1995 [1873a]), S. 818.

Aufbauend auf der Arbeit von Rudolf Clausius (1822-1888) fing Maxwell in den 1860er Jahren an, thermodynamische Eigenschaften und thermodynamische Verhaltensweisen von Gasen *mechanisch* zu erklären, und führte dabei die statistische Methode von Laplace und Buckle bewusst in die Physik ein⁵⁰⁴.

1860 modelliert er in seinem Artikel „Illustrations of the Dynamical Theory of Gases“⁵⁰⁵ das Verhalten eines Gases als Bewegung von miteinander kollidierenden Kügelchen und er rechtfertigt die Anwendung eines statistischen Ansatzes auf das Verhalten des Gases durch den Hinweis auf die chaotische Bewegung und die zahlreichen, zufälligen Zusammenstöße der Moleküle: gerade diese Unordnung würde das Auftauchen statistischer Regelmäßigkeiten garantieren⁵⁰⁶.

If a great many equal spherical particles were in motion in a perfectly elastic vessel, collision would take place among the particles, and their velocities would be altered at every collision; so that after a certain time the *vis viva* will be divided among the particles according to some *regular law*, the *average* number of particles whose velocity lies between certain limits being ascertainable, though the velocity of each particle changes at every collision.⁵⁰⁷

Folglich formuliert er sein berühmtes Gesetz der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Größe der Geschwindigkeiten der Moleküle, wobei diese Verteilung (die sogenannte maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung) beim Gleichgewichtszustand des Gases der Gaußschen Kurve der Fehlertheorie entspricht: „It appears [...] that the velocities are distributed among the particles

⁵⁰⁴ August Krönig und Rudolf Clausius hatten Ende der 1850er Jahre kinetische Modelle von Gasen vorgeschlagen, die auf der Stabilität von Mittelwerten (Energie und Geschwindigkeit von Molekülen) beruhten (vgl. Porter 1986, S. 114-116), und in dieser Hinsicht schon eine erste, noch nicht sehr entwickelte statistische Betrachtungsweise implizierten. Maxwell war aber der erste, der z.B. die Gaußsche Wahrscheinlichkeitsverteilung zur Darstellung thermodynamischer Prozesse in die Physik einführte: „To Maxwell belongs the credit for first introducing the explicit consideration of probability distributions into physics. Indeed, he was arguably the first to use distribution formulas in a significant and productive way in any science“ (Porter 1986, S. 125). Vgl. auch Sklar (1993), S. 30: “In this paper [d.h. Maxwell 1860] we find the first language of a sort that could be interpreted in a probabilistic or statistical vein. Here for the first time the nature of possible collisions between molecules is studied, and the notion of the probability of outcomes treated”.

⁵⁰⁵ Der Artikel stammt aus einem Vortrag, der Maxwell 1859 bei einem Meeting der British Association at Aberdeen hielt. Expliziter Zweck von Maxwell war: „to lay the foundatzion of such [= thermodynamische] investigations on strict mechanical principles“ (Maxwell 1890 [1860], S. 377).

⁵⁰⁶ Er setzt z.B. voraus, dass, wenn zwei Teilchen zusammenstoßen, jede Geschwindigkeitsrichtung nach dem Abprall gleich wahrscheinlich sei (Maxwell 1890 [1860], S. 379). (Vgl. auch Sklar 1993, S. 31: “Making a number of ‘randomness’ assumptions, Maxwell derives an expression for viscosity”). Die Annahme eines chaotischen Verhaltens der einzelnen Mikro-Teile als Voraussetzung für das Entstehen der Regelmäßigkeit auf der Makro-Ebene ist ein wichtiges Merkmal der statistischen Betrachtungsweise von Maxwell und Boltzmann und verbindet diese mit der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung.

⁵⁰⁷ Maxwell (1890 [1860]), S. 380; meine Hervorhebungen.

according to the same law as the errors are distributed among the observations in the theory of the “method of least squares”⁵⁰⁸.

Obwohl Maxwell 1860 noch Vorbehalte gegenüber dem kinetischen Modell thermodynamischer Prozesse hatte⁵⁰⁹, entschied er sich 1867, eine verbesserte Version seines Modells zu veröffentlichen⁵¹⁰. In seinem neuen Aufsatz „On the Dynamical Theory of Gases“ (Maxwell 1867a) liefert er eine neue probabilistische Rechtfertigung der maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung: Erstens korrigiert er die in seinem vorigen Aufsatz formulierte falsche Annahme einer statistischen Unabhängigkeit der Molekülgeschwindigkeiten nach den drei Geschwindigkeitsrichtungen x, y, z ⁵¹¹. Zweitens gründet er seine Untersuchungen auf der neuen Annahme, dass die Anzahl der Zusammenstöße der Moleküle, bei denen zwei Moleküle mit ursprünglichen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 die neuen Geschwindigkeiten v_1' und v_2' annehmen, durchschnittlich und in jeder Zeiteinheit der Anzahl der Zusammenstöße der Moleküle entspricht, bei denen zwei Moleküle mit ursprünglichen Geschwindigkeiten v_1' und v_2' die neuen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 nehmen⁵¹². Diese Art Symmetrie, sowie die großen Zahlen (der Moleküle) und der stochastische Charakter des Systems führen – der klassischen Rechtfertigung statistischer Regelmäßigkeiten entsprechend – zur Gaußschen Verteilung als Verteilung, in diesem Fall, der Molekulargeschwindigkeiten des Gases im

⁵⁰⁸ Um genau zu sein, muss man anmerken, dass die zwei Verteilungen – die Gaußsche Kurve in der Fehlertheorie und die maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle – nicht ganz identisch sind: während die erste Kurve genau symmetrisch ist, weil Überschätzungen und Unterschätzungen des realen Wertes als positive und negative Fehler symmetrisch um den Mittelwert verteilt sind, ist die maxwellsche Verteilung nicht genau symmetrisch, weil die Beträge der Geschwindigkeiten der Moleküle als Werte eine untere Grenze (gleich Null) aber keine obere Grenze haben.

⁵⁰⁹ Am Ende seines Artikels und in Bezug auf eine von ihm abgeleitete Gleichung bezüglich des Reibungskoeffizienten des Gases schreibt Maxwell: „Such a consequence of a mathematical theory is very startling, and the only experiment I have met with on the subject does not seem to confirm it. We must next compare our theory with what is known of the diffusion of gases, and the conduction of heat through a gas“ (Maxwell (1890 [1860]), S. 391. In Bezug auf diesen Aufsatz von Maxwell schreibt Porter (1986, S. 117-118): „Evidently Maxwell took up work on the kinetic theory not because he thought it was true, but because he had taken an interest in working out its mathematical implications. He told Stokes that although he had been unable to determine whether the theory was valid, yet ‘as I found myself able and willing to deduce the laws of motion of systems of particles acting on each other by impact, I have done so as an exercise in mechanics’. He also remarked: ‘I have been rather diffuse on gases but I have taken to the subject for mathematical work lately and I am getting fond of it and require to be snubbed a little by experiments’. In short, Maxwell took up the kinetic theory as an exercise in rational mechanics“. Diese Zitate und Bemerkungen erinnern hier an den eher mathematischen als physikalischen Charakter der Mechanik, sowie an das Anwendungsproblem.

⁵¹⁰ Maxwell (1867). Ein *abstract* von dem Aufsatz, der 1866 von Maxwell vorgetragen wurde, befindet sich in Harmann (ed. 1995), S. 279-284.

⁵¹¹ Vgl. Maxwell (1967a), S. 62. Diese falsche Annahme ist laut Porter (1986, S. 118-123) einer der Beweise dafür, dass Maxwell bei der Einführung der statistischen Methode in die Physik sich von Laplace, Quetelet und Buckle „inspirieren“ lassen hat: die falsche Annahme entspricht nämlich einer ähnlichen Annahme, die Herschel in einem Review Essay über das Hauptwerk von Quetelet zur Begründung des Fehlergesetzes gemacht hatte.

⁵¹² Maxwell (1867), S. 62-65, insb.: „When the number of pairs of molecules which change their velocities from OA, OB to OA' OB' is equal to the number which change from OA', OB' to OA, OB, then the final distribution of velocity will be obtained, which will not be altered by subsequent exchanges“ (S. 63).

Gleichgewichtszustand⁵¹³. In diesem Aufsatz, der sich diesmal auch teilweise auf (indirekte) empirische Evidenz stützt⁵¹⁴, beschäftigt sich Maxwell aber nicht mehr nur mit dem Gleichgewichtszustand, sondern mit der *Entwicklung* eines Systems, in dem physikalische Größen wie eben die Molekulargeschwindigkeit „transportiert“ werden: Anhand seiner *transfer equations* möchte Maxwell u.a. zeigen, dass ein thermodynamisches System, dessen mikroskopische Anfangsbedingungen unbekannt sind und bloß als chaotisch dargestellt werden können⁵¹⁵, zu einem Gleichgewichtszustand tendiert, der der maxwellschen Geschwindigkeitsverteilung entspricht⁵¹⁶. Somit hätte eine mechanische Auffassung thermodynamischer Phänomene auch über den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik Rechenschaft geben sollen⁵¹⁷.

Auch Ludwig Boltzmann hatte 1866 einen ersten Versuch gemacht, thermodynamische Begriffe (von dem der Temperatur ausgehend) und Prozesse auf die Mechanik zurückzuführen⁵¹⁸ – jedoch ohne Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie. Es war vermutlich nach einer tieferen Beschäftigung mit der Arbeit Maxwells, dass Boltzmann merkte, dass er ohne Wahrscheinlichkeitstheorie nicht an sein Ziel kommen konnte⁵¹⁹.

In seinem berühmten Aufsatz „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“ (Boltzmann 2001 [1872]) führt Boltzmann jene kinetische Gleichung (später „Boltzmann-Gleichung“ genannt) ein, die die Entwicklung der Funktion der

⁵¹³ „This final distribution of velocity is attained only when the molecules have had a great number of encounters, but the great rapidity with which the encounters succeed each other is such that in all motions and changes of the gaseous system except the most violent, the form of the distribution of velocity is only slightly changed” (Maxwell 1867a, S. 64).

⁵¹⁴ Vgl. Maxwell (1995 [1866]), S. 280: “In the present paper the action between the molecules is supposed to be that of bodies repelling each other at distance, rather than of hard elastic bodies acting by impact; and the law of force is deduced from experiments on the viscosity of gases to be that of the inverse fifth power of the distance, any other law of force being at variance with the observed fact that the viscosity is proportional to the absolute temperature”.

⁵¹⁵ Auch in diesem Fall spielt die Annahme eines molekularen Chaos eine zentrale Rolle: „An improved theory of transport was presented by Maxwell in an 1866 paper. Here he offered a general theory of transport, a theory that once again relied upon ‘randomness’ assumptions regarding the initial conditions of the interaction of molecules on one another” (Sklar 1993, S. 31).

⁵¹⁶ Vgl. Maxwell (1995 [1866]), S. 280-281.

⁵¹⁷ Dass eine mechanische Erklärung thermodynamischer Prozesse das Ziel von Maxwell war, ist schon in den ersten Seiten seines Artikels ersichtlich (vgl. Maxwell 1867a, S. 49-50). Die privilegierte Rolle der Mechanik innerhalb der Physik kommt sehr klar aus einem „Manuscript on the Classification of the Physical Sciences“ (Maxwell 1995 [1872-73]) hervor, in dem er die Zurückführung aller physikalischen Phänomene auf die Dynamik als Ideal darstellt.

⁵¹⁸ Boltzmann (2001 [1866]): „Es soll nun der Zweck dieser Abhandlung sein, einen rein analytischen, vollkommen allgemeinen Beweis des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie zu liefern, sowie den ihm entsprechenden Satz der Mechanik aufzufinden“ (S. 9). Vgl. dazu Klein (1973), S. 57-60.

⁵¹⁹ “In his first paper (1866), Boltzmann set himself the problem of deriving the full second law from mechanics. The notion of probability does not appear in this paper. The following papers, from 1868 and 1871, were written after Boltzmann had read Maxwell's work of 1860 and 1867. Following Maxwell's example, they deal with the characterization of a gas in thermal equilibrium, in terms of a probability distribution.” (Uffink 2008, §1.4). Vgl. auch Daub (1969), S. 320 und Klein (1973), S. 61.

Wahrscheinlichkeitsverteilung der Molekularenergien⁵²⁰ hin zu der maxwellschen Verteilung regelt⁵²¹. Auch in diesem Fall beruht das Ergebnis auf probabilistischen Annahmen bezüglich des stochastischen Charakters der Mikro-Phänomene, und zwar (1) auf der Annahme, „daß schon zu Anfang jede Geschwindigkeitsrichtung gleich wahrscheinlich“ sei; (2) auf der Annahme, dass „schon zu Anfang der Zeit die Geschwindigkeitsverteilung eine gleichförmige war“; (3) auf dem (später) sogenannten „Stoßzahlansatz“: Boltzmann setzt voraus, dass die Zusammenstöße zwischen den Gasmolekülen in dem Sinne zufällig sind, dass keine Korrelation zwischen Molekülen mit gewissen Geschwindigkeiten vorhanden ist⁵²².

In diesem Zusammenhang schlägt Boltzmann auch eine neue Auffassung jener noch „geheimnisvollen“ mathematischen Größe vor, die Rudolf Clausius 1855 identifiziert und 1865 „Entropie“ getauft hatte⁵²³. Es handelte sich um eine mathematische Größe (S), die das Verhältnis zwischen der abgegebenen oder aufgenommenen Wärme und der absoluten Temperatur eines Körpers darstellte, und für die galt, dass sie bei reversiblen Prozessen gleich Null ist ($dS = dQ/T = 0$), während bei irreversiblen Prozessen größer oder gleich Null ist ($dS = dQ/T \geq 0$). Die physikalische Bedeutung dieser Größe war immer noch nicht klar, als Boltzmann in den erwähnten „Studien“ anhand seiner kinetischen Gleichung die „Spiegelgröße“ von S fand, und zwar E (später H umbenannt). Durch die Anwendung der Boltzmann-Gleichung auf die Theorie mehratomiger Gasmoleküle ließe sich laut Boltzmann

von einer gewissen Größe E beweisen, daß dieselbe infolge der Molekularbewegung nur abnehmen oder im Grenzfalle konstant bleiben kann. [...] Es ist also hiermit ein analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes auf einem ganz anderen Weg angebahnt, als derselbe bisher versucht wurde. Bisher suchte man nämlich immer zu beweisen, daß $\int (dQ/T) = 0$ ist für den umkehrbaren Kreisprozeß, womit noch immer nicht analytisch bewiesen ist, daß es für den nicht umkehrbaren Kreisprozeß, der doch allein in der Natur vorkommt, immer negativ ist,

⁵²⁰ Boltzmann (2001 [1872], S. 321) schlägt vor, „statt der Geschwindigkeit die lebendige Kraft eine Moleküls einzuführen“. Die „lebendige Kraft“ oder *vis viva* ($= mv^2/2$) entspricht der modernen kinetischen Energie.

⁵²¹ Boltzmann (2001 [1872]) zieht zuerst den Fall einatomiger Gasmoleküle in Betracht, um dann seine Ergebnisse allmählich zu verallgemeinern und auf Systeme mehratomiger Gasmoleküle zu erweitern. In Bezug auf die Arbeit von Maxwell schreibt Boltzmann: „Für den Fall einatomiger Moleküle [...] fand bereits Maxwell [...] daß [...] die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Geschwindigkeiten durch eine ähnliche Formel gegeben wird, wie die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen Beobachtungsfehler in der Theorie der Methode der kleinsten Quadrate. [...] [Er gab] zwar einen sehr eleganten Beweis dafür, daß, wenn man die obige [= die maxwellsche] Geschwindigkeitsverteilung einmal unter den Gasmolekülen hergestellt hat, dieselbe in der Tat durch die Zusammenstöße nicht weiter verändert wird. Er sucht auch zu beweisen, daß es die einzige Geschwindigkeitsverteilung von der betrachteten Eigenschaft ist. Allein der letztere Beweis scheint mir [...] Fehlschlüsse zu enthalten. Es ist somit noch nicht bewiesen, daß, wie immer der Zustand des Gases zu Anfang gewesen sein mag, er sich immer dieser von Maxwell gefundenen Grenze nähern muss“ (S. 320): dies will Boltzmann (2001 [1872], vgl. insb. S. 345) bewiesen haben.

⁵²² Boltzmann (2001 [1872]), S. 321-324. Vgl. dazu Bellone (1998), S. 237-239, Sklar (1993), S. 33 und Cercignani (1997), S. 68.

⁵²³ Vgl. Brush (1976b), S. 610.

während der umkehrbare Kreisprozeß bloß ein Ideal ist, dem man sich mehr oder weniger nähern, es aber nicht vollkommen erreichen kann. Hier dagegen gelangen wir direkt zum Satze, daß (dQ/T) im allgemeinen negativ und nur für den Grenzfall gleich Null ist, der natürlich der umkehrbare Kreisprozess ist ⁵²⁴

Die Größe, die Boltzmann hier einführt, entspricht also der Entropie mit umgekehrtem Vorzeichen. Da nun aber E nicht mehr mit Bezug auf die (makroskopischen) thermodynamischen Größen dQ und T definiert wird, sondern sich auf die Breite der Geschwindigkeitsverteilung der Moleküle bezieht, kann Boltzmann (wieder) behaupten, dass er in seinem Aufsatz einen neuen, analytischen bzw. mechanischen Beweis des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik geliefert hätte⁵²⁵.

Allerdings mussten sich Maxwell und Boltzmann (sowie natürlich andere ihrer Fachkollegen) mit dem Problem der Irreversibilität konfrontieren. Einerseits bekräftigt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik die empirisch feststellbare zeitliche Asymmetrie thermodynamischer Prozesse: die Wärme fließt z.B. bei spontanen Prozessen immer vom wärmeren zum kühleren Körper, und der Hauptsatz verbietet die Umkehrung dieses Prozesses. Andererseits würde die Reduktion der Thermodynamik auf die Mechanik eine zeitliche Symmetrie – also eine Umkehrbarkeit thermodynamischer Prozesse – implizieren.

Maxwell beschäftigte sich mit diesem Problem im Zusammenhang mit seinem berühmten – von William Thomson so genannten – „Dämon“⁵²⁶. Die erste Version des Gedankenexperiments, das mit dem maxwellschen „Dämon“ zusammenhängt, befindet sich in einem Brief an Tait, der Maxwell schon 1867 geschrieben hatte:

⁵²⁴ Boltzmann (2001 [1872]), S. 345-346. Man merke wie Boltzmann hier hervorhebt, dass die für die klassische, deterministische Mechanik typischen reversiblen Prozesse nur ein Ideal darstellen, während nur irreversible Prozesse würden in der Natur tatsächlich vorkommen.

⁵²⁵ Inwiefern Boltzmann seinen eigenen Anspruch wirklich erfüllte, bleibt sogar in der neueren Literatur Kontrovers: Während Klein (1973, S. 65) behauptet, „in this memoir [d.h. Boltzmann (2001 [1872])] Boltzmann also gave the first derivation of the irreversible increase of entropy on the joint basis of the laws of mechanics and the laws of probability“, schwächt Uffink (2008, §3.2) die Verwandtschaft zwischen dem Beweis Boltzmanns und dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik in der klassischen Formulierung von Clausius: „Both the Boltzmann equation and the H-theorem refer to a body of gas in a fixed container that evolves in complete isolation from its environment. There is no question of heat being exchanged by the gas during a process, let alone in an irreversible cyclic process. His comparison with Clausius’ integral [...] is therefore really completely out of place. [...] The relationship with the second law is, therefore, indirect”.

⁵²⁶ Thomson benutzte 1874 zum ersten Mal das Wort „demon“ in seinem Aufsatz „The kinetic theory of dissipation of energy“ und schrieb diese Anwendung Maxwell zu (vgl. Harman ed. 1995, Fußnote (12) zu einem Brief Maxwells an Tait, Bd. 2, S. 332). Maxwell hatte eigentlich von einem „finite being“ gesprochen (Maxwell 1995 [1867b], S. 332) und war anscheinend mit dem Begriff des „Dämons“ nicht wirklich zufrieden: in seinem Buch *Theory of Heat*, wo das entsprechende Gedankenexperiment vorkommt, spricht er ebenso von „a being“ (Maxwell 1902 [1871], S. 338-39), und in einem Brief an Tait aus dem Jahre 1875ca. sagt er explizit, dass das Konzept des Dämons eigentlich von Thomson stammt und schlägt vor: „Call him no more a demon but a valve“ (Maxwell 2002 [1875ca]), S. 185-186.

[...] let A & B be two vessels divided by a diaphragm and let them contain elastic molecules in a state of agitation which strike each other and the sides.

Let the number of particles be equal in A & B but let those in A have the greatest energy of motion. Then even if all the molecules in A have equal velocities, if oblique collisions occur between them their velocities will become unequal & I have shown that there will be velocities of all magnitudes in A and the same in B only the sum of the squares of the velocities is greater in A than in B. [...]

Now conceive a finite being who knows the paths and velocities of all the molecules by simple inspection but who can do no work, except to open and close a hole in the diaphragm, by means of a slide without mass.

Let him first observe the molecules in A and when he sees one coming the square of whose velocity is less than the mean sq. vel. of the molecules in B let him open the hole & let it go into B. Next let him watch for a molecule in B the square of whose velocity is greater than the mean sq. vel. in A and when it comes to the hole let him draw the slide & let it go into A, keeping the slide shut for all other molecules.

Then the number of molecules in A & B are the same as at first but the energy in A is increased and that in B diminished that is the hot system has got hotter and the cold colder & yet no work has been done, only the intelligence of a very observant and neat fingered being has been employed.⁵²⁷

Dieses Experiment suggeriert die Vermutung, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, anders als die Gesetze der klassischen Mechanik, nicht mehr mit Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit gilt. Einzelne Moleküle des kühleren Behälters B können nämlich einen Geschwindigkeitswert haben, der höher ist als der durchschnittliche Geschwindigkeitswert der Moleküle in A (auch wenn die Moleküle in A *insgesamt* ein höheres Geschwindigkeitsquadrat haben, weshalb das Behälter A wärmer ist), und, wenn sie gezielt (oder zufällig, wobei dieser Zufall extrem unwahrscheinlich wäre) in den Behälter A reinkämen, würden sie sehr wohl ihre Wärme vom kühleren zum wärmeren Behälter übertragen. Somit wäre der zweite Hauptsatz der Thermodynamik verletzt und die Reversibilität thermodynamischer Prozesse wenigstens denkbar. Dieses Verhältnis zwischen dem Dämon-Experiment und der Reversibilitätsfrage geht aus einer Notiz von Thomson am Rande dieser Stelle des Briefes (den ihm Tait weitergeleitet hatte) hervor: „Very good. Another way is to reverse the motion of every particle of the universe and preside over the unstable motion thus produced”⁵²⁸. Aus der Korrespondenz Maxwells⁵²⁹ und aus einem Artikel von Thomson aus dem Jahr 1874⁵³⁰ geht außerdem hervor, dass das Gedankenexperiment des Dämons und das Problem der Irreversibilität im Kreis von Maxwell

⁵²⁷ Maxwell (1995 [1867b]), S. 331-332. Das Gedankenexperiment wird auch in Maxwell (1902 [1871], S. 338-339) dargestellt.

⁵²⁸ Maxwell (1995 [1867b]), S. 331.

⁵²⁹ Vgl. Maxwell (1995 [1867b]), S. 331-332, Maxwell (2002 [1875ca]), S. 185-186 und die sehr informativen Fußnoten von Harman dazu.

⁵³⁰ Es handelt sich um den schon erwähnten Aufsatz, „The kinetic theory of the dissipation of energy”.

und Kollegen weiter diskutiert wurden. Maxwell formuliert schließlich 1875 ganz explizit, worauf er mit dem Gedankenexperiment hinaus wollte: „What was their [= der Dämonen] chief end? To show that the 2nd law of Thermodynamics has only a statistical certainty”⁵³¹.

Erstens meinte Maxwell damit genau das, was in einem anderen Kontext auch Quetelet immer wieder hervorgehoben hatte (vgl. oben, §4.b): statistische Gesetze gelten für Kollektive, und ihre Gültigkeit kann nicht auf Einzelne übertragen werden⁵³². Zweitens meinte Maxwell aber auch, dass der zweite Hauptsatz der Thermodynamik keine absolute, sondern bloß eine „moralische“ Gewissheit besitzt, d.h., dass er im Prinzip Ausnahmen zulässt. Das behauptet er auch am Ende seines 1873 Aufsatzes über Moleküle⁵³³, in dem er die spätere Reaktion Boltzmanns auf den 1876 von Loschmidt formulierten „Umkehrwand“ teilweise vorwegnimmt.

Loschmidt wies 1876 Boltzmann darauf hin, dass die Annahme des mechanischen Charakters thermodynamischer Prozesse die Möglichkeit ihrer Reversibilität implizieren würde (z. B. könnte man bei Diffusionsprozessen alle Molekulargeschwindigkeiten umkehren), was aber dem vom zweiten Hauptsatz der Thermodynamik behaupteten Entropiewachstum widersprechen würde⁵³⁴.

Boltzmann wird ab diesem Zeitpunkt – wie es schon Maxwell getan hatte – immer wieder auf die „bloß“ statistische Natur des zweiten Hauptsatzes hinweisen, und behaupten, dass dieser aufgrund seiner bloß probabilistischen Fundierung Ausnahmen zulässt⁵³⁵. Darüber hinaus reagierte aber Boltzmann auf den Umkehrwand auch mit der Formulierung seiner

⁵³¹ Maxwell (2002 [1875ca]), S. 186.

⁵³² Vgl. z.B. Maxwell (1902 [1871]), S. 339: “This is only one of the instances in which conclusions which we have drawn from our experience of bodies consisting of an immense number of molecules may be found not to be applicable to the more delicate observations and experiments which we may suppose made by one who can perceive and handle the individual molecules which we deal with only in large masses”. Ich werde auf die maxwellsche Auffassung der statistischen Betrachtungsweise im Gegensatz zu der „streng kinetischen“ oder „dynamischen“ oder „historischen“ zurückkommen. Im Bezug auf das maxwellsche Dämon-Gedankenexperiment kommentiert Harmann (ed. 1995, Fußnote (12) bezüglich eines Briefs Maxwells an Tait, Bd. 2, S. 332): „[Maxwell] aimed to show that the second law of thermodynamics is an irreducibly statistical law which applies to systems of molecules, not to the spontaneous fluctuations of individual molecules”.

⁵³³ Maxwell (1890 [1873c]), S. 374: „The data of the statistical method as applied to molecular science are the sums of large numbers of molecular quantities. In studying the relations between quantities of this kind, we meet with a new kind of regularity, the regularity of averages, which we can depend upon quite sufficiently for all practical purposes, but which can make no claim to that character of absolute precision which belongs to the laws of abstract dynamics”. Vgl. auch die Seiten 932-933 des „Drafts“, den er zur Vorbereitung des entsprechenden Vortrags schrieb: Maxwell (1995 [1873b]).

⁵³⁴ Über diese Debatte zwischen Boltzmann und seinem ehemaligen Professoren Loschmidt vgl. Klein (1973), S. 70-74. Über die Arbeit Loschmidts zur Molekulartheorie und sein Verhältnis mit der Familie Exner (über Exner vgl. unten, § 7.a) in Wien vgl. Coen (2007), S. 73-77.

⁵³⁵ Allerdings scheint Boltzmann in seinem schon besprochenen Aufsatz „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“ (Boltzmann 2001 [1872]) keine Ausnahme zu seinem Theorem vorgesehen zu haben (außer vielleicht in einem kleinen Hinweis auf S. 357-358). Diese Umstände werden in der Sekundärliteratur unterschiedlich interpretiert: Uffink (2008), §3.1 verweist auf die Diskussion.

berühmten probabilistischen Auffassung der Entropie. Diese lieferte er in seinem Aufsatz "Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze und der Wahrscheinlichkeitsrechnung, respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht" (2001 [1877]). Hier führt er einen ganz neuen Ansatz zu dieser Frage ein, denn er bezieht die Wahrscheinlichkeit weder auf die *Anzahl* der Moleküle, die eine gewisse Geschwindigkeit bzw. kinetische Energie haben, noch auf die *Zeit*, in der ein Molekül eine gewisse Geschwindigkeit bzw. eine gewisse kinetische Energie hat⁵³⁶, sondern auf ganze Zustände des in Betracht gezogenen Systems (es handelt sich immer hauptsächlich um ein Gas), die durch eine gewisse „Zustandsverteilung“ (d.h. „die Verteilung der lebendigen Kraft unter den Molekülen“⁵³⁷) definiert sind⁵³⁸. Seine allgemeine Idee ist,

daß man den Zustand des Wärmegleichgewichtes dadurch berechnen kann, daß man die Wahrscheinlichkeit der verschiedenen möglichen Zustände des Systems aufsucht. Der Anfangszustand wird in den meisten Fällen ein sehr unwahrscheinlicher sein, von ihm wird das System immer wahrscheinlicheren Zuständen zueilen, bis es endlich den wahrscheinlichsten, d.h. den des Wärmegleichgewichtes, erreicht hat. Wenden wir dies auf den zweiten Hauptsatz an, so können wir diejenige Größe, welche man gewöhnlich als die Entropie zu bezeichnen pflegt, mit der Wahrscheinlichkeit des betreffenden Zustandes identifizieren.⁵³⁹

Die Gültigkeit dieser seiner Behauptung beweist Boltzmann, in dem er zuerst die lebendige Kraft „quantisiert“⁵⁴⁰, dann die gesamten Moleküle als über diese „Quanten“ an lebendiger

⁵³⁶ Dass Boltzmann diese Ambiguität oder Schwankung zwischen Wahrscheinlichkeiten, die sich auf die Anzahl der Moleküle beziehen, und Wahrscheinlichkeiten, die sich auf die Dauer eines molekularen Zustandes beziehen, wird in Uffink (2008) mehrmals hervorgehoben: er schreibt z.B. in Bezug auf den letzten hier besprochenen Aufsatz von Boltzmann (Boltzmann 2001 [1877]): „For most of the paper the intended meaning of probability is always the relative number of molecules with a particular molecular state. Only at the final stages of his paper does the time-average interpretation of probability (suddenly) recur“ (§3.1).

⁵³⁷ Boltzmann (2001 [1877]), S. 168.

⁵³⁸ Diese neue Betrachtungsweise (vgl. auch Klein 1973, S. 84), die die Wahrscheinlichkeiten nicht mehr auf Zustände der Moleküle sondern auf Zustände des ganzen in Betracht gezogenen Systems bezieht, bedeutet eine klare Wende von der kinetischen Gastheorie zur statistischen Mechanik im engen Sinne – wenn wir der interessanten Unterscheidung von Uffink (2008, §1.3) folgen: „[The kinetic theory of gases] aims to explain the properties of gases by assuming that they consist of a very large number of molecules in rapid motion. [...] During the 1860s probability considerations were imported into this theory. The aim then became to characterize the properties of gases, in particular in thermal equilibrium, in terms of probabilities of various molecular states. [...] These probabilities themselves are conceived of as mechanical properties of the state of the total gas system, Either they represent the relative *number* of molecules with a particular state, or the relative *time* during which a molecule has that state. [In the statistical mechanics] probabilities are not attached to the state of a molecule but of the entire gas system. Thus, the state of the gas, instead of determining the probability distribution, now itself becomes a stochastic variable“.

⁵³⁹ Boltzmann (2001 [1877]), S. 165.

⁵⁴⁰ D.h. er nimmt an, dass jedes Molekül nur in einem Zustand sei, eine endliche Anzahl verschiedener lebendiger Kräfte anzunehmen, z.B. 0, ϵ , 2 ϵ , 3 ϵ usw. Dieser mathematischen „Strategie“, die darin besteht, zuerst mit diskreten Werten zu berechnen, um dann den Übergang zum Kontinuum durchzuführen, hat sich Boltzmann gerne bedient. In seiner Selbstbiographie wird Plank darauf hinweisen, dass seine Idee, das Quantum einzuführen, von der Arbeit Boltzmanns inspiriert wurde (vgl. Planck 1990 [1948], S. 16-17).

Kraft in seinem Gedankenexperiment verteilt: eine solche Verteilung nennt er „Zustandsverteilung“⁵⁴¹. Er bedient sich dann der Kombinatorik, um die Anzahl der Kombinationen zu berechnen, die einer selben Zustandsverteilung entsprechen: dieser Zahl bestimmt die Wahrscheinlichkeit der in Betracht gezogenen Zustandsverteilung. Er zeigt endlich, dass die Zustandsverteilungen, die den Zuständen um den Wärmegleichgewicht entsprechen, auch diejenigen sind, die durch den größten Anzahl an Permutationen realisiert werden können, und daher die wahrscheinlichsten sind. Somit erklärt Boltzmann die Entropie und den zweiten Hauptsatz mittels jener klassischen Wahrscheinlichkeitsrechnung, die wir früher in diesem Kapitel schon erwähnt haben: er bedient sich übrigens immer wieder der Beispiele von nummerierten Zetteln oder von Kugeln, die aus einer Urne gezogen werden⁵⁴². Dabei muss er wieder probabilistische Annahmen machen, die keine mechanische Rechtfertigung haben⁵⁴³. Erstens nimmt er an, wie wir gesehen haben, dass „der Anfangszustand [...] in den meisten Fällen ein sehr unwahrscheinlicher sein [wird]“ (vgl. das letzte Zitat). Zweitens wendet er jene *a priori* Gleichwahrscheinlichkeit an, die – wie wir schon gesehen haben – eine umstrittene Voraussetzung der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie war⁵⁴⁴.

Das Entropiewachstum wäre nun als Entwicklung des Systems von weniger wahrscheinlichen zu wahrscheinlicheren Zuständen aufzufassen, was in der berühmten Formel:

$$S = k \log W$$

als Verhältnis zwischen Entropie (S) und Wahrscheinlichkeit (W) ausgedrückt wird⁵⁴⁵. Der Gleichgewichtszustand wird nun nicht mehr als der einzige stationäre Zustand aufgefasst, sondern als der Zustand, der durch die höchste Anzahl von Permutationen realisiert werden kann⁵⁴⁶.

Was den Umkehrreinwand betrifft, bedeutet nun dieses Ergebnis Boltzmanns, dass die mechanischen Prozesse, in die die thermodynamischen im Rahmen der statistischen Mechanik

⁵⁴¹ „Die Anzahl der Moleküle in unserem Gefäße sei n . Wenn wir wissen, wie viele von diesen n Molekülen die lebendige Kraft Null, wie viele die lebendige Kraft ϵ usw. besitzen, so sagen wir: die Verteilung der lebendigen Kraft unter den Molekülen, oder die Zustandsverteilung ist uns gegeben.“ (Boltzmann 2001 [1877], S. 168).

⁵⁴² Vgl. Boltzmann (2001 [1877]), S. 165, S. 193, S. 211.

⁵⁴³ „The new method was to be a direct counting of the number of distinct ways in which the distribution could be realized, a combinatorial approach *that completely bypassed all questions of kinetics or collision mechanisms*“ (Klein 1973, S. 78; meine Hervorhebung).

⁵⁴⁴ Vgl. z.B.: „Bei Aufsuchung der wahrscheinlichsten Zustandsverteilung nehme ich an, daß die lebendige Kraft jedes einzelnen Moleküls gewissermaßen durch das Los bestimmt wird, welches vollkommen unparteiisch aus einer Menge von Losen gezogen wird, die alle überhaupt vorkommenden lebendigen Kräfte in vollkommen gleicher Zahl enthalten“ (Boltzmann 2001 [1877], S. 178).

⁵⁴⁵ Die Formel wurde in den Grabstein von Boltzmann eingraviert, obwohl er selber sie nie so geschrieben hatte (vgl. Uffink 2008).

⁵⁴⁶ Vgl. Uffink (2008), Ende des § 4.1.

„übersetzt“ werden, den Gesetzen der Mechanik entsprechend *prinzipiell*⁵⁴⁷ umkehrbar wären, während der zweite Hauptsatz der Thermodynamik behaupten würde, dass eine solche Umkehrung bei thermodynamischen Prozessen extrem unwahrscheinlich (aber nicht unmöglich) ist. Ob diese Auffassung den Determinismus der klassischen Mechanik auf der Mikroebene wenigstens *im Prinzip* „retten“ würde, sei dahingestellt: einerseits behauptete Boltzmann, dass die Thermodynamik auf die (deterministische) klassische Mechanik reduziert gewesen wäre; andererseits aber verlangte diese Reduktion immer wieder – wie wir sowohl bei Maxwell als auch bei Boltzmann bemerkt haben – die Annahme einer molekularen Unordnung, als Voraussetzung für das Auftauchen statistischer Gesetze. Auf jeden Fall erscheint nun der zweite Hauptsatz der Thermodynamik als *eine neue Art physikalischen Gesetzes, und zwar als ein probabilistisches Gesetz* – ein Gesetz, das die Notwendigkeit und Allgemeingültigkeit der klassischen Gesetze der Mechanik verloren hat.

Diese probabilistische Auffassung des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik wird von Boltzmann später noch deutlicher hervorgehoben. Im Rahmen einer erneut entstandenen, in der Zeitschrift *Nature* ausgeführten Debatte⁵⁴⁸ über die Irreversibilität, behauptet Boltzmann sehr explizit:

[...] my Minimum Theorem, as well as the so-called Second Law of Thermodynamics, are only theorems of probability. The Second Law can never be proved mathematically by means of the equations of dynamics alone.

[...]

[...] It can never be proved from the equations of motion alone, that the minimum function H must always decrease. It can only be deduced from the laws of probability, that if the initial state is not specially arranged for a certain purpose, but *haphazard governs freely*, the probability that H decreases is always greater than that it increases.⁵⁴⁹

⁵⁴⁷ Man könnte statt „prinzipiell“ eigentlich auch sagen: „idealerweise“ oder „bloß rein theoretisch“, denn Boltzmann hatte 1872 – es sei hier wieder in Erinnerung gerufen – geschrieben: „Es ist also hiermit ein analytischer Beweis des zweiten Hauptsatzes auf einen ganz anderen Wege angebahnt, als derselbe bisher versucht wurde. Bisher suchte man nämlich immer zu beweisen, daß $\int (dQ/T) = 0$ ist für den umkehrbaren Kreisprozeß, womit noch immer nicht analytisch bewiesen ist, daß es für den *nicht umkehrbaren Kreisprozeß, der doch allein in der Natur vorkommt*, immer negativ ist, während der umkehrbare Kreisprozeß bloß ein Ideal ist, dem man sich mehr oder weniger nähern, es aber nicht vollkommen erreichen kann“ (Boltzmann 2001 [1872], S. 345; meine Hervorhebungen).

⁵⁴⁸ Die Debatte war die Folge einer Diskussion, die bei einer Tagung der *British Association for the Advancement of Science*, stattgefunden hatte (vgl. Klein 1973, S. 86-87). Die Tagung hätte klären sollen, inwieweit die Fragen der Thermodynamik gelöst waren. Dass man trotz der Arbeit Boltzmanns noch weit entfernt von einer Lösung war, bezeugt die Tatsache, dass ein gewisser Culverwell nach der Tagung die Debatte in *Nature* mit der Frage – „Will anyone say exactly what the H-theorem proves?“ – eröffnete, und er sich nach einem Jahr darüber amüsieren konnte, dass die Antworten auf diese Frage, die inzwischen eingetroffen waren, von einander sehr unterschiedlich waren (vgl. Uffink 2008, §5.3).

⁵⁴⁹ Boltzmann (2001 [1895]), S. 539-40; meine Hervorhebung.

Nicht nur macht dieses Zitat klar, dass die (deterministische) klassische Mechanik nicht mehr genügt, um alle Phänomene zu erklären: Aus diesem Zitat gehen zwei Aspekte der statistischen Mechanik hervor, die sehr wohl schon als *indeterministische Wende* in der Physik aufgefasst werden können, und zwar:

- 1) der zweite Hauptsatz der Thermodynamik ist ein bloß probabilistisches Gesetz⁵⁵⁰;
- 2) er gilt – was typisch für statistische Gesetze ist – unter der Voraussetzung des stochastischen oder chaotischen Charakters der Mikrophenomene⁵⁵¹.

In dem letztgenannten Beitrag entwickelt Boltzmann seine Argumentationslinie weiter: es geht nicht nur darum, dass Zustände mit niedrigerer Entropie als die vorhergehenden extrem unwahrscheinlich wären, sondern die ganze Entwicklung eines (isolierten) idealen Systems wird in Betracht gezogen, und Boltzmann behauptet, dass außergewöhnliche Zustände, in denen H wächst, vorkommen könnten, ihnen aber dann wieder das „normale“ Wachstum der Entropie folgen würde: das System würde also die meiste Zeit im Bereich des Gleichgewichtszustandes verbringen (d.h. in einem Zustand, in dem H einen sehr niedrigen bzw. den niedrigsten Wert hat), während Fluktuationen möglich aber extrem unwahrscheinlich wären⁵⁵². Bemerkenswert ist, dass die Wahrscheinlichkeit sich hier wieder auf etwas Neues bezieht: sie wird von Boltzmann mit dem Bruchteil der Zeit identifiziert, den das System in einem gewissen Zustand (gekennzeichnet von einer gewissen Molekularverteilung) verbringt⁵⁵³.

⁵⁵⁰ Wie Brush (1976b, S. 627) betont, ist die Bedeutung dieser Feststellung nicht zu unterschätzen: „If the Second Law of Thermodynamics – regarded by many physicists as one of the most important laws of nature to have been discovered since the time of Newton – is ‘only’ statistical, how could one be certain that all other laws are absolutely valid?“

⁵⁵¹ Aus Brush (1976b, S. 615) geht hervor, dass auch Maxwell diese Voraussetzungen teilte: „By 1975 Maxwell was asserting that molecular motion is ‚perfectly irregular; that is to say, that the direction and magnitude of the velocity of a molecule at a given time cannot be expressed as depending on the present position of the molecule and the time‘ [Maxwell, „On the Dynamical Evidence of the Molecular Constitution of Bodies“, *Nature*, 11 (1875), 357-59, 374-77]. His article ‘Atom’ in the *Britannica*, also published in 1875, indicated that this irregularity must be present in order for the system to behave irreversibly“. Vgl. auch Brush (1976b, S. 617-618): „S.H. Burbury in London [...] pointed out, in 1894, that the proof of the H -theorem depends on the Maxwell-Boltzmann assumption that the velocities of colliding molecules are uncorrelated. While this would seem a plausible assumption about the velocities *before* the collision, the proof involves balancing the effects of direct and inverse collisions and therefore is valid only if there is no correlation *after* the collision. If two molecules have just collided, one supposes that certain combinations of velocities [...] have a different probability than one would expect by assuming these velocities are independent random variables. The postulate that they are still independent random variables after the collision would therefore seem to imply some kind of *continual* randomization of molecular states [...] Boltzmann [...] accepted Burbury’s hypothesis, which thereafter became known as ‘Boltzmann’s hypothesis of molecular disorder“. Der schon erwähnte Frequentist Mises wird später den zufälligen Charakter der einzelnen Elemente eines Kollektivs als notwendige Bedingung bezwischen, damit das Kollektiv insgesamt einer statistischen Gesetzmäßigkeit gehört (Vgl. Mises 1919b, S. 57, „Forderung II. Regellosigkeit der Zuordnung“).

⁵⁵² Boltzmann (2001 [1895]), S. 540-41.

⁵⁵³ Vgl. z.B. Boltzmann (2001 [1895]), S. 541.

Interessant ist auch, dass jene „Fluktuationen“, die in diesem Beitrag Boltzmanns hauptsächlich als Fluktuationen des Systems in der Zeit vorkommen, in einem von ihm zwei Jahre später erschienenen Aufsatz (Boltzmann 2001 [1897]) als Fluktuationen innerhalb der *räumlichen* Dimension aufgefasst werden⁵⁵⁴. Es handelt sich um einen Aufsatz, in dem Boltzmann versucht, seine mechanistische Auffassung der Thermodynamik gegen einen weiteren Einwand zu verteidigen, den sogenannten „Wiederkehreinwand“. Er wurde von einem Assistenten von Max Planck, Ernst Zermelo, 1896 vorgebracht, der sich wiederum auf den 1890 von Poincaré formulierten „Wiederkehrrsatz“ bezog: aus diesem Satz würde laut Zermelo folgen, dass isolierte molekulare Systeme nach genügend langer Zeit zurück zum Anfangszustand kehren müssen, was dem boltzmannsche H-Theorem bezüglich der notwendigen monotonen Entwicklung zum Gleichgewichtszustand widersprechen würde⁵⁵⁵. Um diesen Einwand zurückzuweisen, wiederholte Boltzmann zuerst (2001 [1896]⁵⁵⁶) die Behauptung, dass Ausnahmen zu der vom zweiten Hauptsatz vorgesehenen Entwicklung möglich (wenn auch sehr unwahrscheinlich) sind⁵⁵⁷, und er wies auch darauf hin – was die „Wiederkehr“ betrifft –, dass eine solche Wiederkehr jedenfalls nach einer fast unvorstellbar langen Zeit vorkommen würde⁵⁵⁸. Dann (Boltzmann 2001 [1897]) eröffnete er quasi eine kosmische Perspektive auf diese Frage, indem er vorsichtig⁵⁵⁹ die Hypothese wagte, dass das Universum insgesamt ein ewiges, sich im Gleichgewichtszustand befindendliches System wäre, während die Entfernung vom Gleichgewicht, die wir als Irreversibilität und Zeit-Asymmetrie erfahren, bloß eine „Fluktuation“ wäre, die eine kleine Region des Systems (unsere) betreffen würde. Desweiteren wäre die Zeit-Asymmetrie keine „echte“: dem mechanistischen Weltbild entsprechend wären im gesamten Universum die Zeitrichtungen an

⁵⁵⁴ Dieses Konzept kommt eigentlich schon in dem allerletzten Teil von Boltzmann (2001 [1895]) als eine Idee seines ehemaligen Assistenten Dr. Schuetz vor (vgl. S. 543-544).

⁵⁵⁵ Über den Einwand von Zermelo vgl. Klein (1973), S. 90 und Sklar (1993), S. 36-37.

⁵⁵⁶ In diesem Aufsatz weist Boltzmann explizit auf die Analogie zwischen den Gesetzen der Gastheorie, der Fehlertheorie und des Würfelspiels hin (vgl. Boltzmann 2001 [1896], S. 570).

⁵⁵⁷ „Schon Clausius, Maxwell u.a. haben wiederholt darauf hingewiesen, daß die Lehrsätze der Gastheorie den Charakter statistischer Wahrheiten haben. Ich habe besonders oft und so deutlich als mir möglich war betont, daß das Maxwellsche Gesetz der Geschwindigkeitsverteilung unter Gasmolekülen keineswegs wie ein Lehrsatz der gewöhnlichen Mechanik aus den Bewegungsgleichungen allein bewiesen werden kann, daß man vielmehr nur beweisen kann, daß dasselbe weitaus die größte Wahrscheinlichkeit hat un bei einer großen Anzahl von Molekülen alle übrige Zustände damit verglichen so unwahrscheinlich sind, daß sie praktisch nicht in Betracht kommen. An derselben Stelle habe ich auch betont, daß der zweite Hauptsatz vom molekulartheoretischen Standpunkte ein bloßer Wahrscheinlichkeitssatz ist“ (Boltzmann 2001 [1896], S. 567).

⁵⁵⁸ Vgl. Boltzmann (2001 [1896]), S. 571 und Anhang.

⁵⁵⁹ „Ich habe selbst wiederholt gewarnt, einer Ausdehnung unserer Gedankenbilder über die Erfahrung hinaus zu sehr zu vertrauen und erinnert, daß man darauf gefaßt sein muss, dass sich die Bilder der heutigen Mechanik und besonders die Auffassung der kleinsten Teilchen der Körper als materielle Punkte, als provisorisch herausstellen werden. Unter allen diesen Reserven aber kann derjenige, welcher dazu Lust hat, dem drange nachgeben, sich spezielle Vorstellungen über das Universum zu machen“ (Boltzmann 2001 [1897], S. 583).

sich ununterscheidbar, während die Lebewesen einer Art Konvention folgen würden, nach der die Entwicklung gegen die unwahrscheinlichen Zustände für Vergangenheit, jene gegen die wahrscheinlicheren Zustände für Zukunft gehalten werden würde⁵⁶⁰. Mit „solchen Spekulationen“ würde man das mechanische Weltbild vielleicht retten können – nur: „Ob man sich in solchen Spekulationen begeben will, ist natürlich Geschmacksache“, so Boltzmann⁵⁶¹. Als Alternative sieht er die von ihm in diesem Aufsatz so genannte „Annahme A“: die *unbeweisbare*⁵⁶² Annahme, dass das gesamte Universum sich gegenwärtig in einem unwahrscheinlichen Zustand befindet, und daher auch jedes System, das man vor der übrigen Welt absondert und beobachtet.

So oder so war Boltzmann offensichtlich immer zu *probabilistischen, mechanisch nicht erklärbaren und unbeweisbaren* Annahmen gezwungen⁵⁶³: Annahmen, die u.a. erklären hätten sollen, warum wir in einer Welt leben, wo überall und immer wieder thermodynamische Prozesse stattfinden, obwohl der Gleichgewichtszustand und die „benachbarten“ Zustände eigentlich am wahrscheinlichsten wären.

Die Notwendigkeit probabilistischer Annahmen bzw. die Unentbehrlichkeit von *a priori* (man könnte auch sagen *ad hoc*) vorausgesetzten Wahrscheinlichkeitsverteilungen wird die darauffolgende Entwicklung der statistischen Mechanik – die wir hier nicht weiter verfolgen werden – stets begleiten, so dass z.B. Lawrence Sklar, die Frage der möglichen Reduktion der Thermodynamik auf die Mechanik aus der heutigen Perspektive betrachtend, zum folgenden Schluss kommt:

[The] hope for the elimination of thermodynamic principles as autonomous elements in our picture of the world has [...] been continuously thwarted by the seeming necessity, at ever deeper levels, of invoking some hypotheses that remain underivable from the fundamental laws of kinematics or dynamics. These are now taken to be of a probabilistic or statistical nature.⁵⁶⁴

⁵⁶⁰ Vgl. Boltzmann (2001 [1897]), S. 583.

⁵⁶¹ Boltzmann (2001 [1897]), S. 584.

⁵⁶² Vgl. Boltzmann (2001 [1897]), S. 579.

⁵⁶³ Sklar (1993), S. 417: „the problem of irreversibility is just a sub-problem of the problem of picking the initial probability distribution“.

⁵⁶⁴ Sklar (1993), S. 5 (vgl. auch S. 419). Sklar schreibt auch: „one of the most crucial problems in the foundations of statistical mechanics is the justification or rationalization or explanation of why the probabilities interjected into the theory are the correct probabilities to use“, und er weist darauf hin, dass die Antworten auf diese Frage in den verschiedenen Bereichen der statistischen Mechanik immer noch unbefriedigend sind (Sklar 1993, S. 414). Die Frage nach der Möglichkeit einer Reduktion der Thermodynamik auf die statistische Mechanik behandelt Sklar (1993) im Kap. 9, in dem er auch die wissenschaftstheoretisch nicht triviale Frage nach dem Begriff der Reduktion eingeht.

In diesem Sinne beruht die statistische Mechanik *wesentlich* auf Wahrscheinlichkeiten, und man kann die Kontinuität der Thermodynamik mit der klassischen Mechanik sehr wohl hinterfragen bzw. die Frage stellen, ob die Thermodynamik nicht schon vor der Quantentheorie und vor der Quantenmechanik einen Bruch mit der klassischen Mechanik und mit dem dahintersteckenden Determinismus darstellt:

It is widely believed that only the second theory [d.h. quantum mechanics] made probability irreducible and uneliminable in principle, so that classical determinism was finally overthrown. This view implies that irreversibility can be accommodated in the classical framework, and that, in this context, probability can be shown once again to admit an epistemic interpretation [...]. The overall goal of this line of thought is to demonstrate that a quasi-stable equilibrium state for systems that fall under the entropy law (hence virtually all real systems) is obtained from the time-reversible laws of classical theory. This reductionistic aim involves in particular the reduction of thermodynamics to mechanics. The reduction, if successful, would render thermodynamics an integral part of classical physics [...]. Yet the 'if' is a big one, and later developments have strongly supported an independent position for thermodynamics [...]⁵⁶⁵

Stephen Brush, in Anlehnung an andere Forscher und mit Bezug auf primäre Quellen, argumentiert dafür, dass die Wende vom Determinismus zum Indeterminismus wenigstens teilweise schon mit der statistischen Mechanik und nicht erst mit der Quantenmechanik, vollgezogen wurde⁵⁶⁶.

Dennoch sollten wir nun die historische Perspektive nicht verlieren, und im nächsten und letzten Absatz danach fragen, wie das Problem des wissenschaftlichen Determinismus nach der massiven Einführung der Wahrscheinlichkeit und der Statistik in das Bollwerk des klassischen deterministischen Wissenschaftsideals (d.h. in die Physik) aus damaliger Sicht aussah.

⁵⁶⁵ Gigerenzer *et al.* (1989), S. 175-76. Im Rahmen dieser Argumentationslinie wird es auch darauf hingewiesen, dass einige wichtige Wissenschaftler wie Einstein, Borel, von Mises, von Smoluchowski, Reichenbach und Bohr schon im frühen 20. Jh. die Thermodynamik als Bruch mit der klassischen Mechanik und als Ausgangspunkt der „neuen“ Physik aufgefasst haben.

⁵⁶⁶ Brush (1976b), vgl. insb. S. 603-4 und 612. Stephen Brush hat zur Thermodynamik und zur kinetischen Gastheorie ausführlich geforscht: Vgl. z.B. seine Standardwerke: Brush (1965 und 1966) und Brush (1976a), sowie den Quellenband *The Kinetic Theory of Gases: An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary* (Brush 2003).

d. Die Wahrscheinlichkeit in der Physik und die Determinismusfrage im späten 19. Jh.

Rekapitulieren wir kurz jene Aspekte der im vorigen Absatz dargestellten Entwicklung der Physik, die für die Determinismusfrage besonders folgenswer sind:

(1) Teils infolge jener empiristischen Einstellung der Wissenschaftler im 19. Jh., auf die am Anfang dieses Kapitels hingewiesen wurde, teils infolge der neuen Forschung um thermodynamische Prozesse (inklusive der Formulierung des Zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik) rückt eine Eigenschaft der Naturphänomene in den Vordergrund, die die klassische Mechanik ignoriert hatte: die Irreversibilität. Das bleibt im Bezug auf den Determinismus nicht ohne Folgen: wie schon bemerkt (vgl. insb. oben, Kap. 2), beruhte der klassische, implizite Determinismus auf einer Verflechtung zwischen logischem Deduktionsmuster (Grund / Folge) und physikalischem Kausalitätsmuster (Ursache / Wirkung), und diese Verflechtung war wiederum von dem „zeitlosen“ Charakter der in der klassischen Mechanik dargestellten Phänomene unterstützt. Die neue Aufmerksamkeit für die Irreversibilität musste also die Unterscheidungsfähigkeit zwischen logisch-mathematischer (deterministischer) Ebene und physikalischer Realität fördern. Reversible Prozesse – bemerkte Boltzmann (vgl. den vorigen Absatz) – sind nur ein Ideal (man könnte auch sagen, ein idealisiertes Modell), während nur irreversible, zeitorientierte Prozesse tatsächlich vorkommen. Mit Bezug auf die physikalische Welt geht somit jene Verflechtung zwischen (WD^z) und $(WD^e)^{567}$ verloren, die typisch für die klassische Mechanik war (die, wie im 2. Kap. dargestellt wurde, eigentlich ein Teil der Mathematik war).

(2) Der Versuch, anhand eines mechanistischen Paradigma die Thermodynamik auf die Mechanik zu reduzieren, gelang (und gelingt) nur teilweise: die Gesetze der Thermodynamik können nicht ausschließlich aus jenen der Dynamik (oder der klassischen Mechanik) abgeleitet werden, vielmehr werden dazu die Wahrscheinlichkeitsrechnung und v.a. probabilistische, mechanisch nicht erklärbare Annahmen benötigt. Somit wird die Wahrscheinlichkeit, die zumindest einen gewissen Grad an Undeterminiertheit und Unvorhersagbarkeit zulässt, ein unentbehrlicher Teil der wissenschaftlichen Theorie, und sie ist nicht mehr ein bloßes Hilfsmittel, um die wissenschaftliche Praxis zu verbessern (wie im Rahmen der Fehlertheorie).

⁵⁶⁷ Vgl. oben, § 1.a.

(3) Unter den in der statistischen Mechanik benötigten probabilistischen Annahmen ist jene der „molekularen Unordnung“ (die der Annahme der Zufälligkeit der Einzelereignisse bei der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung entspricht) besonders bemerkenswert. Die Entwicklung der Statistik suggerierte und befestigte die Unterscheidung zwischen einer Mikro-Ebene der „Einzelnen“ und einer Makro-Ebene des „Kollektivs“. Nachdem statistische Gesetze auf der Makro-Ebene gefunden worden waren, förderte die Reaktion auf den statistischen Determinismus, samt der Debatte um Statistik und freien Willen, die Idee, dass diese Gesetzmäßigkeit der Makro-Ebene keine Gesetzmäßigkeit in Bezug auf den Einzelfall implizieren durfte. Die Entwicklung der statistischen Mechanik und des Frequentismus bedeutete noch einen Schritt weiter: nun scheint es sogar notwendig, eine „Unordnung“ auf der Mikro-Ebene vorauszusetzen, um überhaupt eine Gesetzmäßigkeit auf der Makro-Ebene identifizieren zu können. Mit einer paradoxen Behauptung könnte man sagen, dass die (statistische) Gesetzmäßigkeit auf dem Zufall beruht.

(4) Nicht nur gelang der am Mechanismus orientierte Versuch, die Thermodynamik auf die Mechanik zu reduzieren, nur teilweise: er führte auch dazu, wie wir gesehen haben, ein fundamentales Gesetz der Physik (den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik) als probabilistisches Gesetz zu erklären⁵⁶⁸. Um die Reversibilität der Phänomene (d.h. ihre Zugehörigkeit zur klassischen Mechanik) zu „retten“, d.h. um wenigstens die Möglichkeit ihrer Denkbareit einzuräumen, musste man zugeben, dass der zweiten Hauptsatz der Thermodynamik nur mit einer (sehr hohen) Wahrscheinlichkeit gilt und im Prinzip Ausnahmen zulässt. Das widerspricht jener Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit der Prinzipien und Gesetze der Mechanik, auf der der implizite wissenschaftliche Determinismus beruhte (vgl. oben, Kap. 2).

Maxwell und Boltzmann (sowie die anderen, in diesem Kapitel erwähnten „Helden“ der Statistik) haben also durch ihre wissenschaftliche Praxis den wissenschaftlichen Determinismus in vielen Hinsichten geschwächt. Dass die Arbeiten von Maxwell und Boltzmann und die Thermodynamik bzw. die statistische Mechanik die berühmte

⁵⁶⁸ Dies präsentiert Brush (1974b, S. 627) als der sichtbarste Aspekt der statistischen Ausarbeitung der Thermodynamik in Bezug auf die Überwindung des Determinismus in der Zeit um 1913: „[...] the problem of molecular randomness was to some extent separate from the problem of the statistical nature of the Second Law (irreversibility principle). For those physicists who had not studied in detail the writings of Burbury, Boltzmann, Planck, and Ehrenfest on molecular disorder, the more important point was that the Second Law is not absolutely true [...] If the Second Law of Thermodynamics – regarded by many physicists as one of the most important laws of nature to have been discovered since the time of Newton – is ‘only’ statistical, how could one be certain that all other laws are absolutely valid?”.

„indeterministische Wende“ der Quantenmechanik teilweise vorweggenommen haben, wurde später von anderen wichtigen Wissenschaftlern (inklusive Quantenphysikern) anerkannt⁵⁶⁹. Es soll aber noch auf die Frage eingegangen werden, inwiefern z. B. Maxwell und Boltzmann selbst gemerkt haben, dass ihre Arbeit eine Infragestellung des klassischen deterministischen Paradigma implizierte.

Obwohl Brush mit Recht die Ambiguität der Äußerungen von Maxwell und Boltzmann in dieser Hinsicht hervorgehoben hat⁵⁷⁰, möchte ich nun behaupten, dass Maxwell und Boltzmann sehr wohl eine bewusste Distanz vom klassischen Determinismus genommen haben.

Maxwell bemerkt 1873, dass die „Molekularwissenschaft“ nicht bloß zu neuen Entdeckungen, sondern auch zu einer neuen wissenschaftlichen Arbeitsweise und zu neuen „views of nature“ geführt hat⁵⁷¹. In einem anderen Aufsatz aus dem selben Jahr, schreibt er:

the most important effect of molecular science on our way of thinking will be that it forces on our attention the distinction between two kinds of knowledge, which we may call for convenience the Dynamical and Statistical.

The statistical method of investigating social questions has Laplace for its most scientific and Buckle for its most popular expounder. Persons are grouped according to some characteristic, and the number of persons forming the group is set down under that characteristic. This is the raw material from which the statist endeavours to deduce general theorems in sociology. [...]

Now, *if the molecular theory of the constitution of bodies is true, all our knowledge of matter is of the statistical kind.* [...]

The smallest portion of a body which we can discern consists of a vast number of such molecules, and all that we can learn about this group of molecules is statistical information. [...] Hence those uniformities which we observe in our experiments with quantities of matter containing millions of millions of molecules are

⁵⁶⁹ Vgl. Gigerenzer *et al.* (1989), S. 177-178, wo Emile Borel, Richard von Mises, Marian von Smoluchowski, Hans Reichenbach, Niels Bohr und Ilya Prigogine in dieser Hinsicht erwähnt werden. Vgl. auch Brush (1976), S. 619-630

⁵⁷⁰ Brush (1974b), S. 604 und S. 612. Brush behauptet, dass erst Paul und Tatiana Ehrenfest in ihrem 1911 publizierten Aufsatz, „Begriffliche Grundlagen der statistischen Auffassung in der Mechanik“, die indeterministischen Implikationen der statistischen Mechanik endgültig klar machten: „They conclude a tone point that the ‚postulate of determinism‘ seems to hold only for ‚visible‘ states; as soon as one includes a microscope among the instruments available to the observer, one encounters phenomena such as Brownian movement for which determinacy no longer holds“ (Brush 1974b, S. 622). Über die Bedeutung der Brownschen Bewegung für die Determinismusfrage vgl. unten, §7.a.

⁵⁷¹ Maxwell (1995 [1873c]), S. 372: „Thus far we have been considering molecular science as an inquiry into natural phenomena. But though the professed aim of all scientific work is to unravel the secrets of nature, it has another effect, not less valuable, on the mind of the worker. It leaves him in possession of methods which nothing but scientific work could have led him to invent; and it places him in a position from which many regions of nature, besides that which he has been studying, appear under a new aspect. The study of molecules has developed a method of its own, and it has also opened up new views of nature.“

uniformities of the same kind as those explained by Laplace and wondered at by Buckle, arising from the slumping together of multitudes of cases, each of which is by no means uniform with others.⁵⁷²

Die *statistische* Sichtweise, die in der statistischen Mechanik benötigt wird, unterscheidet sich wesentlich von der klassischen deterministischen Sichtweise. Die Entwicklung der klassischen Mechanik basierte auf einem *analytischen* Ansatz: ihre Gesetze wurden in Bezug auf sehr einfache Systeme gedacht, in denen nur wenige Körper (meistens zwei oder drei) miteinander interagieren, und die Ergebnisse dieser Betrachtung hat man dann versucht, für größere und komplexere Systeme zu verallgemeinern. Dieser Versuch, die auf diese „Bausteine“ bezogenen Ergebnisse auf komplexere Systeme zu erweitern hat sich übrigens teilweise als problematisch erwiesen: wie schon erwähnt (vgl. Kap. 2), entstehen die größten Schwierigkeiten der Mechanik gerade dann, wenn die Anzahl der in Betracht gezogenen Körper steigt (mehr dazu unten, §6.b). Im Gegensatz dazu „braucht“ der statistische Ansatz gerade die „großen Zahlen“, die eine notwendige Bedingung für das Entstehen der statistischen Gesetzmäßigkeit sind. Dementsprechend ist die statistische Mechanik *synthetisch*: sie zieht sehr komplexe Systeme in Betracht, die aus einer extrem großen Anzahl von Einheiten (Teilchen) bestehen, die nicht einzeln und nach mechanisch-deterministischem Ideal verfolgt werden können. Es ist eher ihre Gesamtheit, die das autonome Forschungsobjekt der statistischen Mechanik ausmacht. Der Einzelfall bleibt im Dunkel. Man kann natürlich weiterhin annehmen, dass er dennoch einer streng deterministischen Gesetzmäßigkeit gehorcht, und Maxwell selbst scheint es manchmal, anzunehmen⁵⁷³.

Gleichzeitig stellte Maxwell aber in einem Essay den Determinismus explizit in Frage. Der „Essay for the Eranus Club on Science and Free Will“ endet mit den Worten:

⁵⁷² Maxwell (1995 [1873a]), S. 818-819; meine Hervorhebung. Vgl. auch Maxwell (1995 [1873c]), S. 372-74. Was die Hinweise von Maxwell auf Laplace und Buckle betrifft: Porter (1986) hat die These bekannt gemacht, laut der „a close and significant relationship between social statistics and the origin of probabilism in physics is apparent“ (mit „probabilism“ ist hier jene Position gemeint, die die statistischen Gesetze als fundamental betrachtet. Die These Porters wurde von Schafer (1990, S. 207-8) kritisiert. Sie beruht aber auf älteren, soliden historischen Arbeiten (z.B. Gillispie 1963; Garber 1972), sie wird von Porter durch ausreichend primäre Quellen belegt (vgl. Porter 1986, S. 110-128), und sie wird von anderen Autoren akzeptiert und geteilt (z.B. Wise 1987 und Brush 2006).

⁵⁷³ Vgl. z.B. Maxwell (1995 [1873c]), S. 374: “[...] when we pass from the contemplation of our experiments to that of the molecules themselves, we leave the world of chance and change, and enter a region where everything is certain and immutable”.

[...] the promotion of natural knowledge may tend to remove that prejudice in favour of determinism which seems to arise from assuming that the physical science of the future is a mere magnified image of that of the past.⁵⁷⁴

Darüber hinaus scheint Maxwell jene Auffassung wissenschaftlicher Theorien als Bilder oder als Modelle geteilt zu haben, deren Entstehung wir als Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus im vorigen Kapitel besprochen haben:

The first process [...] in the effectual study of the science must be one of simplification and reduction of the results of previous investigations to a form in which the mind can grasp them. The result of this simplification may take the form of a purely mathematical formula or of a physical hypothesis. In the first case we entirely lose sight of the phenomena to be explained; and though we may trace out the consequences of given laws, we can never obtain more extended views of the connections of the subject. If, on the other hand, we adopt a physical hypothesis, we see the phenomena only through a medium, and are liable to that blindness and rashness in assumption which a partial explanation encourages.⁵⁷⁵

Einen dritten Weg, um Phänomene adäquat darzustellen, sieht Maxwell in der Anwendung von Analogien aus anderen Wissenschaften⁵⁷⁶: in keinem dieser Fälle liefert die Wissenschaft die einzig mögliche und vollkommene Darstellung bzw. Erklärung der Phänomene. Der Maxwellsche Versuch, thermodynamische Phänomene auf eine mechanische Erklärung zurückzuführen, kann daher nicht als Glaube an den klassischen ontologischen Determinismus gedeutet werden, sondern höchstens als Versuch, ein weniger befriedigendes durch ein befriedigenderes Modell zu ersetzen.

Noch ausführlicher hat sich Boltzmann mit den radikalen Neuerungen beschäftigt, die die Arbeit an der Thermodynamik bzw. an der statistischen Mechanik mit sich brachte. Boltzmann wurde nämlich allmählich gezwungen, seine physikalische Arbeit philosophisch zu reflektieren: zuerst im Zusammenhang mit den schon besprochenen Einwänden von

⁵⁷⁴ Maxwell (1995 [1873a]), S. 823. Maxwell bezieht sich in diesem Aufsatz ausführlich auf die Ergebnisse der „molecular science“ und auf die Eigenartigkeit der statistischen Methode (vgl. das letzte lange Zitat oben, das genau aus diesem Aufsatz entnommen wurde): trotzdem hängen dann seine Argumente gegen den Determinismus komischerweise nicht direkt damit zusammen. Aus diesem Grund, und auch weil Maxwell hier das „außerwissenschaftliche“ Problem des freien Willen in Betracht zieht, habe ich entschieden, die ausführliche Diskussion seiner antideterministischen Argumente auf das § 6.b zu verschieben.

⁵⁷⁵ Maxwell (1890 [1853]), S. 155-56. In seinem für die *Encyclopaedia Britannica* aufgefassten Aufsatz „Model“ wird Boltzmann 1902 Maxwell unter den Vertretern der Modeltheorie der Wissenschaft rechnen: „Maxwell propounded certain physical theories which were purely mechanical so far as they proceeded from a conception of purely mechanical processes. But he explicitly stated that he did not believe in the existence in nature of mechanical agents so constituted, and that he regarded them merely as means by which phenomena could be reproduced, bearing certain similarity to those actually existing [...]“ (Boltzmann 1974 [1902], S. 218.

⁵⁷⁶ Über die Maxwellsche Auffassung von Analogien in der Wissenschaft vgl. Krüger (1987), § 6.1., der das Thema in Zusammenhang mit der Determinismusfrage bringt und Lambert (2011), der auch bibliographische Hinweise über die entsprechende Forschung bis 2011 enthält.

Loschmidt und Zermelo; dann, als die kinetische Theorie und die Existenz der Atome vor allem von den Vertretern der Energetik in Frage gestellt wurden⁵⁷⁷; schließlich als er 1903-1906 Machs Lehrstuhl für „Philosophie der Natur und Methodologie der Naturwissenschaften“ innehatte⁵⁷⁸.

Erstens war die neue Rolle der Wahrscheinlichkeit als wesentlicher Bestandteil der Theorie eine unübersehbare Wende. Der schon erwähnte, fundamentale Aufsatz von Boltzmann aus dem Jahre 1872 beginnt mit einigen Seiten über die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die Natur der statistischen Gesetze (Boltzmann 2001 [1972], S. 316-318). Hier muss Boltzmann anerkennen, dass die Wahrscheinlichkeitsrechnung für die „mechanische Wärmetheorie“ unentbehrlich ist, und er fühlt sich offensichtlich verpflichtet, dem Leser zu versichern, dass der wissenschaftliche *status* der Theorie dadurch nicht bedroht wird:

Lediglich dem Umstande, daß selbst die regellosesten Vorgänge [...] doch jedesmal dieselben Durchschnittswerte liefern, ist es zuzuschreiben, daß wir auch im Verhalten warmer Körper ganz bestimmte Gesetze wahrnehmen [...] Die Bestimmung von Durchschnittswerten ist Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. *Die Probleme der mechanischen Wärmetheorie sind daher Probleme der Wahrscheinlichkeitsrechnung.* Es wäre aber ein Irrtum, zu glauben, daß der Wärmetheorie deshalb eine Unsicherheit anhefte, weil daselbst die Lehrsätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung in Anwendung kommen. Man verwechsle nicht einen unvollständig bewiesenen Satz, dessen Richtigkeit infolgedessen problematisch ist, mit einem vollständig erwiesenen Satze der Wahrscheinlichkeitsrechnung; letzterer stellt, wie das Resultat jedes anderen Kalküls, *eine notwendige Konsequenz gewisser Prämissen* dar, und bestätigt sich, sobald diese richtig sind, ebenso in der Erfahrung, wenn nur genügend viele Fälle der Beobachtung unterzogen werden, was bei der enormen Anzahl der Körpermoleküle in der Wärmetheorie immer der Fall ist.⁵⁷⁹

Wie wir aber im vorigen Absatz schon bemerkt haben, war die Bestimmung der „Prämissen“ nicht unproblematisch: die Charakterisierung des „Anfangszustandes“ des Systems

⁵⁷⁷ Vgl. Brush (2006), S. 78: “In Germany, the ‘energetics’ doctrines of Wilhelm Ostwald and Georg Helm challenged the kinetic theory and the value of atomic theories; in France, Pierre Duhem advocated a positivist thermodynamic approach. In Austria, Ernst Mach [...] rejected all attempts to ascribe reality to unobservable concepts [...]”. Die Diskussion über die “Energetik” und über die Existenz der Atome erreichte einen Höhepunkt 1895 bei der Naturforscherversammlung in Lübeck: vgl. insb. Deltete (1999) und Tutor (2004).

⁵⁷⁸ Die Hauptquellen zu den erkenntnistheoretischen und philosophischen Reflexionen Boltzmanns sind folgende: sein Aufsatz „Model“ für die *Encyclopedia Britannica* (Boltzmann 1902); die *Populären Schriften* (1905), die die „meist für eine breitere Öffentlichkeit bestimmten Folgerungen Boltzmanns aus seinen wissenschaftlichen Erkenntnissen und seine Stellungnahmen zu weiteren aktuellen Problemen“ enthalten (S. 1); die Notizen, die er für seine Vorlesungen über die „Philosophie der Natur und Methodologie der Naturwissenschaften“ sich gemacht hatte (Boltzmann 1990 [1903-06]); einige wichtige Notizen wurden ins Englische übersetzt und ergänzt in: Boltzmann 1999); die „Notizen aus den letzten Lebensjahren“, die seine Enkelin transkribiert hat (Fasol-Boltzmann – Fasol (Hrsg. 2006); und seine Korrespondenz (Höflechner Hrsg. 1994).

⁵⁷⁹ Boltzmann (2001 [1972]), S. 317; meine Hervorhebungen.

insbesondere durch die geeignete Wahrscheinlichkeitsverteilung konnte nicht aus mechanischen Prinzipien abgeleitet werden. Sie war in dieser Hinsicht *ad hoc*, und hing von unbeweisbaren Annahmen (wie jener des molekularen Chaos oder jener der Unwahrscheinlichkeit des Anfangszustandes) ab. Zweitens entsprach die Notwendigkeit der „Konsequenzen“ beim „Kalkül“ keiner Notwendigkeit in der physikalischen Entwicklung des Systems, denn diese bzw. die zukünftigen Zustände des Systems konnten nun nur mit (einer sehr hohen) Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden – nicht aber mit der (vermutlichen) Gewissheit der dynamischen Gesetze.

Leider hat Boltzmann keine konsequente und klare Wahrscheinlichkeitsauffassung entwickelt⁵⁸⁰, die uns erlauben würde, zu verstehen, wie er die „probabilistische Revolution“ in der Physik genau einschätzte. Einerseits hätte seine frühe realistische bzw. empiristische Tendenz zu einer realistischen bzw. empirischen Wahrscheinlichkeitsauffassung sehr gut gepasst – er kannte den Frequentismus aber nicht⁵⁸¹. Andererseits scheint Boltzmann manchmal eine epistemische Wahrscheinlichkeitsauffassung zu bevorzugen, die die Ungewissheit auf unsere Unwissenheit reduziert: Seine expliziten Hinweise auf die (logische) Wahrscheinlichkeitsauffassung von von Kries⁵⁸² und seine Bereitschaft, gleich wahrscheinliche Fälle *a priori* zu postulieren⁵⁸³, würden nämlich suggerieren, dass Boltzmann die Wahrscheinlichkeit epistemisch aufgefasst hat. Das wird m.E. auch durch seine physikalische Arbeit bestätigt, insofern er die Wahrscheinlichkeit tendenziell operationalistisch anwandte: ich beziehe mich darauf, dass er Wahrscheinlichkeitsverteilungen oder Randomisierungen (z.B. den Stosszahlansatz) postulierte, deren Rechtfertigung nicht aus den mechanischen Eigenschaften der jeweiligen

⁵⁸⁰ In der Literatur wurde es mehrmals bemerkt, dass Boltzmann selbst bei der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung in der statistischen Mechanik nicht immer konsequent gewesen ist: vgl. z.B. Sklar (1993), S. 40-41, Cercignani (2001), S. 31 und Uffink (2008), § 1.4.

⁵⁸¹ Vgl. Stöltzner (2003), S. 97-98.

⁵⁸² Vgl. Stöltzner (2003), S. 96.

⁵⁸³ „[Die Wahrscheinlichkeitsrechnung] ist zwar ebenso exakt, wie jede andere Mathematik, sobald der Begriff der gleichen Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Aber dieser kann als Fundamentalbegriff nicht wieder abgeleitet werden, sondern ist als gegeben zu betrachten“ (Boltzmann 1905 [1904], S. 361). Boltzmann behauptet auch im erst vor kurzem erschienen Text eines „verschollenen“ Vortrags aus dem Jahr 1905 (Blackmore (1995, S. 184-86) versucht, den damals unbekannten Text zu rekonstruieren): „Wenn wir genau definieren, welche Fälle wir als möglich oder als gleich wahrscheinlich betrachten wollen, [ist] dann in der Wahrscheinlichkeitsrechnung nichts Zufälliges enthalten. [...] Freilich, dieser Begriff der Gleichberechtigung, der muss nach meiner Ansicht vorausgeschickt werden“ (Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 147). Die Notwendigkeit einer *a priori* Feststellung gleichwahrscheinlicher Fälle war ein Hauptproblem bei der klassischen (Laplaceschen) epistemischen Wahrscheinlichkeitsauffassung – ein Problem, dass die logische Wahrscheinlichkeitsauffassung teilweise geerbt hat (Vgl. Salmon 1967, S. 66-67 und Gillies 2000, S. 37-49).

Systeme abgeleitet werden konnte, sondern auf Übereinstimmung mit experimentellen Befunden abzielte⁵⁸⁴.

Aus seiner epistemischen bzw. nicht-realistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung kann man aber nicht auf einen Glauben an den Determinismus schließen. Die klassische Kombination von epistemischer Wahrscheinlichkeitsauffassung und ontologischem Determinismus kann zur Zeit Boltzmanns nicht mehr ohne weiteres gelten, weil deterministische Gesetze, Kausalität und Mechanismus durch die Bild- oder Modelltheorie der Wissenschaft *selbst* einer de-ontologisierenden Veränderung ausgesetzt werden (vgl. oben, Kap. 3). Die physikalische Arbeit Boltzmanns war sicherlich am Mechanismus und an einem *normativen und heuristischen* (vgl. oben, §1.c.) Determinismus orientiert, und eine solche Einstellung drückt Boltzmann auch noch im Jahr 1899 aus:

Vorbedingung jeder wissenschaftlichen Erkenntnis ist das Prinzip der eindeutigen Bestimmtheit der Naturvorgänge, auf die Mechanik angewandt, der eindeutigen Bestimmtheit aller Bewegungen. Dasselbe sagt aus, daß die Bewegungen der Körper nicht rein zufällig bald so, bald anders vor sich gehen, sondern daß sie durch die Umstände, unter denen sich der Körper befindet, eindeutig bestimmt ist. Wenn jeder Körper sich wie er wollte, bewegte, wenn unter gleichen Umständen bald diese, bald jene Bewegung je nach Zufall erfolgte, so könnten wir dem Verlaufe der Erscheinungen nur neugierig zusehen, nicht ihn erforschen⁵⁸⁵.

Zu dieser Zeit hatte Boltzmann allerdings schon angefangen, jene positivistische bzw. konventionalistische Position einzunehmen, die in seinen relativistischen Aussagen⁵⁸⁶, in seinen pragmatistischen Argumenten⁵⁸⁷, in seiner Bild- oder Modelltheorie der Wissenschaft⁵⁸⁸ und in seiner ‚vor-wittgensteinschen Sprachphilosophie‘⁵⁸⁹ zu finden sind.

⁵⁸⁴ Vgl. Sklar (1993), S. 32-34 und Cercignani (1997), S. 68-69.

⁵⁸⁵ Boltzmann (1905), S. 276-77; meine Hervorhebung.

⁵⁸⁶ Z. B.: „Daraus folgt, dass es nicht unsere Aufgabe sein kann, eine absolut richtige Theorie, sondern vielmehr ein möglichst einfaches, die Erscheinungen möglichst gut darstellendes Abbild zu finden. Es ist sogar die Möglichkeit zweier verschiedener Theorien denkbar, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut übereinstimmen, die also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind“ (Boltzmann zit. nach Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 104)

⁵⁸⁷ Z. B.: „Was heißt es nun, einen Mechanismus vollkommen richtig verstehen? Jedermann weiß, daß das praktische Kriterium dafür darin besteht, daß man ihn richtig zu behandeln weiß. Allein gehe ich weiter und behaupte, daß dies auch die einzig haltbare Definition des Verständnisses eines Mechanismus ist. [...] Wie wir die Begriffe bilden sollen, kann nicht definiert werden, ist auch in der Tat vollkommen gleichgültig, wenn sie nur stets zur richtigen Handlungsweise führen“ (Boltzmann 1905 [1902], S. 335-36. „Wir bezeichnen Handlungen, auf welche Gewünschtes erfolgt, und Vorstellungen, durch welche geleitet wir in solcher Weise handeln, als richtig. Wir müssen trachten, daß unsere Vorstellungen richtig und dabei ökonomisch sind, d.h. daß wir daraus mit dem geringsten Aufwande von Zeit und Mühe jedesmal die richtige Handlungsweise finden können“ (Boltzmann 1905, S. 164). Vgl. auch Blackmore (1995), S. 78-82.

⁵⁸⁸ Vgl. „Über die Grundprinzipien und Grundgleichungen der Mechanik“ (z. B. auf S. 260: „Wenn wir nun die Überzeugung haben, daß die Wissenschaft bloß ein inneres Bild, eine gedankliche Konstruktion ist...“), in dem Boltzmann auch die Bildtheorien von Kirchhoff und von Hertz behandelt (Boltzmann 1905 [1899]). Vgl. aber vor

Solche Schwankungen erwecken den Eindruck, dass die Schwierigkeiten, die allmählich bei der von Boltzmann entwickelten statistischen Mechanik auftauchten, auch die mechanistisch-realistische Anfangseinstellung von Boltzmann in Frage gestellt haben, und das in einer Zeit, in der Boltzmann – sei es wegen der Debatten mit seinen Opponenten, sei es wegen der immer häufigeren Auftritte in der Öffentlichkeit, sei es später wegen seines Lehrauftrags für Naturphilosophie – die Fragen über die Interpretation physikalischer Theorien nicht vermeiden konnte. Auch im Lichte seiner schwierigen und widersprüchlichen Beziehung zur Philosophie⁵⁹⁰ könnte man behaupten, dass Boltzmann philosophisch überfordert war:

He gradually felt forced to deny the priority of understanding truth, causes, and reality in realist terms, as if absence of correspondence with reality, absence of force-based explanation, and absence of a clear concept of reality were strengths and not weaknesses of theoretical physics.⁵⁹¹

Dabei muss man auch bedenken, dass Boltzmann eine Übergangsphase der Physik in bedeutsamem Ausmaß ausgelöst und erlebt hat⁵⁹² und dass einige Grundprobleme der statistischen Mechanik, die er anpacken musste, teilweise immer noch nicht gelöst sind – ganz zu schweigen von den philosophischen.

allem den Aufsatz „Model“, das Boltzmann später für die *Encyclopedia Britannica* schrieb (Boltzmann 1974 [1902]).

⁵⁸⁹ Z. B.: „Da wir so komplizierte Verhältnisse nur durch Worte, geschriebene, gesprochene, oder stillgedachte klar auszudrücken vermögen, so kann man auch sagen, wir haben die Worte so zusammenzustellen, daß sie dem Gegebenen überall den passendsten Ausdruck verliehen, daß die von uns zwischen den Worten hergestellten Zusammenhänge überall den Zusammenhängen des Wirklichen möglichst adäquat sind“ (Boltzmann 1905 [1904], S. 354). Vgl. auch Blackmore (1995, v. a. Kap. 4), der sich u. a. wünscht (S. 301), dass die Beziehung Boltzmann-Wittgenstein weiter untersucht wird, da „the similarities between Boltzmann’s linguistic phase and Wittgenstein’s early opposition to non-linguistic philosophy are far too close to have been just accidental“ (S. 112). Ein Versuch in diese Richtung ist Visser (1999).

⁵⁹⁰ Das findet einen schlagkräftigen Ausdruck in Boltzmanns Aussage: „Ich ehre die Philosophie, ich hasse die Philosophen“ (zit. nach Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 110. Vgl. auch die Aphorismen in Boltzmann (1990 [1903-06], S. 294-95) und „Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie“ (in: Boltzmann 1905, S. 338 ff.) Eigentlich ist eine sehr angespannte Beziehung Boltzmanns zur Philosophie fast überall in seinen Notizen für die philosophischen Vorlesungen zu spüren, vgl. z. B. S. 82 (Boltzmann 1990 [1903-06]).

⁵⁹¹ Blackmore (1995), S. 217. In diesem Buch argumentiert Blackmore dafür, dass Boltzmann dann in seinen letzten Jahren (zwischen 1903 und 1906) und durch den Einfluss von Brentano „endlich“ auf einem „kritischen Realismus“ landete (der, wie man aus dem Zitat schon verstehen kann, die Position von Blackmore selbst ist). Trotzdem scheint es mir nicht, dass Blackmore ein klares und konsequentes Bild ‚einer‘ Philosophie von Boltzmann schafft: Zweifeln darüber hat auch Stöltzner (2003, S. 82). In den Notizen, die Boltzmann sich für seine Philosophie-Vorlesungen zwischen 1903 und 1905 gemacht hatte, sind jedenfalls Stellen zu lesen, wie die folgende: „Wenn man fragt, ob die Materie existiert, ob das Kausalgesetz notwendig, was die Zahl ist, ob die übrigen Menschen sich bewußt sind; so schießt immer eine Denkgewohnheit über das Ziel hinaus“ (zit. nach Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 77). „Es fragt sich nicht, ob das eine oder andere das Richtige, sondern was ist zweckmäßig“ (zit. nach Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 80). Vgl. auch Stöltzner (2003), S. 98f.

⁵⁹² Vgl. Fasol-Boltzmann – Fasol (2006), S. IX: „Gleichsam am Übergang von der klassischen Physik, in gewisser Hinsicht Exponent ihrer Vollendung, steht er [Boltzmann] doch am Beginn neuer Wege und Erkenntnisse, die er erahnt hat, aber noch nicht klar erkennen konnte“. Vgl. auch Blackmore (1995), S. 198 und Renn (2006), S. 17-33.

Auch in Bezug auf den Kausalitätsbegriff und auf die Determinismusfrage im Allgemeinen lässt sich m.E. letztlich kein konsequentes Bild bzw. keine konsequente Entwicklung der Positionen Boltzmanns rekonstruieren⁵⁹³. Was die Kausalität betrifft, scheint in den ‚nicht-fachlichen‘ Schriften Boltzmanns insgesamt eine nicht-realistische, skeptische Einstellung zu überwiegen, die Boltzmann näher zu Mach bringt⁵⁹⁴. Es könnte sich aber auch um einen ‚manierierten‘ Positivismus handeln, den Boltzmann – vor allem bei seiner physikalischen Arbeit – leicht vergaß⁵⁹⁵.

Philipp Frank, der bei Boltzmann im Wiener Physikalischen Institut Physik studierte und der seine Dissertation unter dessen Betreuung begann (Boltzmann starb kurz bevor Frank seinen Dokortitel erlangte), wird im Jahr 1949 schreiben:

Scientists who have been teaching the philosophy of science have mostly offered a kind of incoherent digest of philosophic opinions. The choice has been mostly determined by the chance acquaintances of the teacher. [...] I remember the lectures of a great physicist, Boltzmann, on the philosophy of physics, which I attended as a student. Despite the personal greatness of the lecturer, the effect of the course was slight, because of a lack of coherent approach⁵⁹⁶.

Es ist also kein Wunder, dass keine unumstrittene Rekonstruktion „der“ Philosophie Boltzmanns bis dato vorhanden ist. An der Frage, beispielsweise, inwiefern Boltzmann ein Vertreter des Mechanismus gewesen sei, scheiden sich immer noch die Geister⁵⁹⁷.

Wenngleich Boltzmann offensichtlich eine Vorliebe für mechanistische Erklärungen hatte, möchte ich behaupten, dass er am Ende des 19. Jahrhunderts kein klassischer Determinist

⁵⁹³ Bezüglich der Determinismusfrage scheint mir der Versuch Blackmores (1995, S. 163-65), anhand von wenigen Fragmenten Boltzmanns (die sich außerdem eher auf das Problem des freien Willen beziehen) seine Position festzustellen, ein hoffnungsloses Unternehmen zu sein.

⁵⁹⁴ Um ein Beispiel zu erwähnen: „In der Tat zerbrach man sich den Kopf, ob Ursache und Wirkung ein nothwendiges Band, oder bloß eine zufällige Aufeinanderfolge darstellen, während es doch nur einen Sinn hat zu fragen, ob eine specielle Erscheinung immer mit einer bestimmten Gruppe anderer verbunden, deren nothwendige Folge ist, oder ob sie unter Umständen auch fehlt“ (Boltzmann 1990 [1903-06], S. 287). Vgl. auch Stöltzner (2003, S. 95-96). Im Allgemeinen sind die ‚non-fachlichen‘ Schriften Boltzmanns voll mit Erwähnungen des Problems der Kausalität, aber es scheint mir insgesamt unmöglich, eine konsequente Position zu rekonstruieren, während man eben behaupten kann, dass Boltzmann den Kausalitätsbegriff eher nicht-realistisch und skeptisch aufgefasst hat.

⁵⁹⁵ Vgl. z.B. seine späte Aussage „Der Zufall ist in den exakten Wissenschaften kein mögliches Ziel“ (zit. nach: Fasol-Boltzmann – Fasol 2006, S. 146). G. Fasol, in seiner Einführung zu Boltzmann (1990), schreibt Boltzmann eine Art ‚strategischen Positivismus‘ zu, indem er behauptet, dass Boltzmann an die Atome im *realistischen* Sinn glaubte, und diese Überzeugung durch positivistische Aussagen verkleidet habe. Brush (2006, S. 78) bezeichnet die Meinung, nach der Boltzmann den Mechanismus zugunsten einer pragmatischen Einstellung verließ, als ‚revisionist view‘. Blackmore (1995), wie schon erwähnt, argumentiert für einen ‚realistischen Boltzmann‘.

⁵⁹⁶ Frank (1949), S. 250. Trotz dem Mangel an Kohärenz wurden die Vorlesungen Boltzmann von einem extrem großen Publikum besucht: vgl. z.B. Flamm (1973), S. 14.

⁵⁹⁷ Vgl. z.B. die Beiträge in Gallavotti – Reiter – Yngvason (Hrsg. 2008), und insb. die „Introduction“ von Gallavotti (2008) und den Aufsatz von Jürgen Renn, „Boltzmann and the End of the Mechanistic Worldview“ (Renn 2008). Vgl. auch Stöltzner (2003), S. 101-102.

sein konnte⁵⁹⁸. Die Entwicklung der Statistik und die Einführung der Wahrscheinlichkeit in die Physik als wesentlicher Bestandteil der Theorie hatten den klassischen Determinismus in allen Hinsichten⁵⁹⁹ geschwächt: Erstens und vor allem in Bezug auf seine „Festigkeit“, indem statistische Gesetze das streng kausale determinierende Verhältnis zwischen Zuständen des Systems durch ein probabilistisches ersetzen. Zweitens indem eine neue, empiristische Einstellung eine Bestätigung des klassischen Determinismus (d.h. einen wissenschaftlichen Determinismus im feststellenden Sinne) kaum erlauben konnte. Drittens hatte die Entwicklung der statistischen Mechanik gezeigt, dass die Annahme des Determinismus auf alle Ebenen (d.h. der Determinismus im normativen Sinne) keine für die Wissenschaft notwendige Annahme darstellte: im Gegenteil hatte es sich als notwendig erwiesen, auf der Mikro-Ebene Unordnung anzunehmen, wenn auf der Makro-Ebene statistische Gesetzmäßigkeiten feststellbar sein sollten. Somit wurde auch fragwürdig, wozu man annehmen sollte, dass ein strenger Determinismus auf einer fundamentalen, eigentlich bloß hypothetischen Ebene herrschen sollte (wissenschaftlicher Determinismus im pragmatischen Sinne⁶⁰⁰). Die Frage nach dem ontologischen Determinismus war inzwischen – auch anhand der Entwicklung, die im vorigen Kapitel dargestellt wurde – fast überflüssig geworden, weil deterministische und indeterministische Darstellungen der Phänomene ohnehin „bloß“ als Modelle der Realität aufgefasst wurden, die keinen Anspruch hatten, sie genau widerzuspiegeln. Somit wurde auch die „Breite“ des Determinismus eingeschränkt: deterministische Gesetze scheinen sich nun nur auf einige ausgewählte Eigenschaften der Phänomene zu beziehen und können außerdem nicht alle physikalischen Phänomene abdecken (für die Erklärung thermodynamischer Prozesse reichen sie nicht – wie wir gesehen haben).

Trotz all dem entstand gerade in den letzten drei Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts der Streit um Determinismus und Indeterminismus als Weltbilder und Weltanschauungen – was die Determinismusfrage zu ihrer maximalen „Breite“ erweitert. Es gilt im nächsten Teil zu verstehen, warum.

⁵⁹⁸ Damit möchte ich nochmals (wie oben, im Kap. 2) für eine Unterscheidung zwischen Determinismus und Mechanismus plädieren.

⁵⁹⁹ Vgl. die Kriterien, die ich im Kap. 1 definiert habe.

⁶⁰⁰ Die Formen des feststellenden, normativen und pragmatischen wissenschaftlichen Determinismus unterscheide ich im § 1.c., wo es um die „Tiefe“ des wissenschaftlichen Determinismus geht.

C. DIE *BREITE* DER DETERMINISMUSFRAGE: DIE ENTSTEHUNG DES WISSENSCHAFTLICHEN DETERMINISMUSBEGRIFFS IM WELTANSCHAULICHEN KONTEXT (ca. 1860-1920)

The problem of necessity lurks at the bottom of all problems, and according as we accept or reject the idea of necessity we shall be led to two entirely different world-conceptions.

The conception of indeterminism generally offers itself first to the doubting mind; and it is apparently a pleasant idea. It promises freedom, it leaves room for the imagination, it makes the world and its possibilities wide, much wider than it could be on the plan of determinism. Determinism is at first sight an oppressive notion and we naturally shrink from it. It seems to destroy the freedom of the will and all moral responsibility. From infinite possibilities it narrows the world down to one single actuality; and thus seems to destroy all charms of life.

[...]

In brief; the God of him who accept the former view, will be Chance, while the God of him who accepts the latter view will be Law.

The choice between the two views seems to remind us of the choice left to the heroes of our fairy tales.

(*Incipit* von: Paul Carus 1892a, S. 560)

It is of great consequence in practical life whether God is what the name Jahveh intends to convey, eternal and unalterable being, immutable sameness in the perpetual flux, irrefragable law in the changes of evolution, or whether it is the Τυχή of the pagans, i.e. indeterminable and absolute chance, unaccountable, irregular, capricious, and uncertain.

The God-idea is the basis of ethics. It matters little whether we use or avoid the name God, for the atheist has also a God-idea in his conception of that existence in which he lives and moves and has his being. This God-idea is always the ground from which we derive our rules of conduct; and whenever we change, not our terminology but our idea of God, we shall as a matter of consistency have to change our views of ethics also.

(*Conclusio* von: Paul Carus 1892a, S. 582)

5. „Verweltanschaulichung“ der Wissenschaft, „Verwissenschaftlichung“ der Weltanschauung: Wissenschaftler zwischen Naturphilosophie, Populärwissenschaft und Politik

Hackings (1983; 1990, Kap. 18) ausführliche Untersuchungen über den Ursprung des Determinismusbegriffes *im wissenschaftlichen Sinne* haben gezeigt, dass dieser sich in den europäischen Sprachen ungefähr zwischen 1854 und 1872 durchsetzte⁶⁰¹. Bemerkenswert bei dieser Entstehung, so wie Hacking sie rekonstruiert, ist, dass der „wissenschaftliche Determinismus“ eigentlich oft zwischen der wissenschaftlichen und der ethischen Auffassung schwankt und fast immer im Zusammenhang mit dem Problem des freien Willens diskutiert wird. Das Wort „Determinismus“ existierte schon Ende des 18. Jahrhunderts und seine ursprüngliche Bedeutung war die ethische – d.h. „Determinismus“ als Verneinung des freien Willens. Der Determinismusbegriff im wissenschaftlichen Sinne entsteht laut Hacking hauptsächlich in Zusammenhang mit den öffentlichen Stellungnahmen von Physiologen wie Claude Bernard in Frankreich und Du Bois-Reymond in Deutschland, indem sie gegen den Vitalismus argumentierten⁶⁰². Der wissenschaftliche Determinismus könnte in diesem Sinne als später Zweig oder sogar als Variante des ethischen Determinismus betrachtet werden.

Die wichtigsten Bezugspunkte Hackings für seine Rekonstruktion sind folgende: der französische Arzt Claude Bernard verbreitet den Begriff des *déterminisme*, oder sogar *déterminisme scientifique*, um gegen den Vitalismus die These zu vertreten, dass alle physiologischen Prozesse (die für ihn auch die mentalen umfassen) eine materielle Ursache haben. Sein Hauptwerk, die *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, wurde im Jahr 1865 veröffentlicht⁶⁰³. Schon seit dem Jahr 1854, und ebenso in Frankreich, wurde der Begriff *déterminisme* auch vom Philosophen Charles Renouvier immer wieder gebraucht: dieser lässt den Begriff noch zwischen wissenschaftlichem (Renouvier zitiert Laplace) und ethischem Sinn schwanken⁶⁰⁴. Der Vortrag von Du Bois-Reymond, „Über die Grenzen des

⁶⁰¹ „Somewhere, let us say between 1854 and 1872, the concept of determinism acquired its modern sense in all European languages” (Hacking 1983, S. 460). 1854 ist das Erscheinungsjahr der ersten Nummer der *Essaies critiques générales* von Renouvier, der in seinen Werken oft von Determinismus redet, nicht aber immer im Sinne von Laplace, sondern oft auch im ethischen Sinne (als Verneinung des freien Willens). 1872 hielt Du Bois-Reymond jene wichtige Rede („Über die Grenzen der Naturerkenntnis“), die Cassirer (2004 [1937], S.10) als das *erste* ernste und explizite Beispiel des laplaceschen Determinismus betrachtet hat.

⁶⁰² „[...] the word ‚determinism‘ attached itself to causal necessity between the late 1850s and the early 1870s. Secondly, it did so in a particular connection. Bernard in France and Du Bois-Reymond in Germany were physiologists. They denied vitalism, and held that all living processes are subject to the workings of chemistry and electricity (or the like)” (Hacking 1990, S. 154).

⁶⁰³ Vgl. Hacking (1983), S. 459 und Hacking (1990), S. 152-153. Mehr über Bernard unten, § 6.a.

⁶⁰⁴ Vgl. Hacking (1983), S. 460 und Hacking (1990), S. 153. Mehr über Renouvier unten, § 6.c.

Naturerkenntnis“ (1872) ist für Hacking, so wie für Cassirer, ein wichtiger Bezugspunkt⁶⁰⁵ für die Fixierung des wissenschaftlichen Determinismusbegriffes. Auch der Vortrag Maxwells, den ich schon im vorigen Kapitel erwähnt habe und auf den ich im Folgenden (§6.b.) zurückkommen werde, wird von Hacking (sehr kurz) in Betracht gezogen: jener Vortrag, der sich mit der Frage beschäftigt: „Does the progress of Physical Science tend to give any advantage to the opinion of Necessity (or Determinism) over that of the Contingency of Events and the Freedom of the Will?“ (1873). Hacking erwähnt auch William James, der mit Renouvier in Kontakt war und der 1884 einen Vortrag über „The Dilemma of Determinism“ hielt. Schließlich widmet er Charles Sanders Pierce, der Anfang der 1890er Jahre einen Streit gegen die „Necessitarians“ im *Monist* führte, das letzte Kapitel seines Buchs *The Taming of Chance*⁶⁰⁶.

Dies sind laut der Rekonstruktion Hacking die wichtigsten Etappen einer Geschichte, die einen paradoxen Charakter hat – wie ich im Kap. 2 schon erwähnt habe: der wissenschaftliche Determinismus wird ein expliziter Begriff genau in der Zeit, in der er hinterfragt und geleugnet wird⁶⁰⁷. Wie ich aber ebenso im Kap. 2 schon behauptet habe, sind das Explizit-Werden und das Hinterfragt-Werden des wissenschaftlichen Determinismus wahrscheinlich als zwei Seiten derselben Medaille zu betrachten: wenn eine Position hinterfragt wird, entsteht das Bedürfnis, sie zu benennen und zu fixieren; aber auch umgekehrt, wenn eine Position einen Namen und ein bestimmtes Profil hat, kann man sie leichter hinterfragen, was schwieriger ist, solange sie implizit bleibt (wie im Fall des in den vorigen Kapiteln dargestellten *impliziten* wissenschaftlichen Determinismus).

Um diesen „Doppelprozess“ des Explizit-Werdens und des Hinterfragt-Werdens genauer zu verstehen, müssen wir nun nicht nur die Rekonstruktion Hacking ergänzen, sondern dabei auch den wissenschaftlichen Determinismus hinsichtlich der „Breite“ betrachten. Es scheint mir nämlich für die Entwicklung des wissenschaftlichen Determinismus im 19. Jh. entscheidend zu sein, dass er genau in dieser Zeit oft den Charakter eines *Weltbilds* oder einer *Weltanschauung* annimmt. Das heißt, er wird nicht bloß – mehr oder weniger implizit – im Zusammenhang mit der Mechanik oder jedenfalls mit physikalischen Theorien gedacht,

⁶⁰⁵ Vgl. Cassirer (2004 [1937], S. 10), und Hacking (1983), S. 456-57. Die Inhalte und den Kontext dieses Vortrags bespreche ich ausführlicher unten, im § 6.a.

⁶⁰⁶ Hacking (1990) widmet Pierce ein ganzes Kapitel (Kap. 23). Mehr über James und Peirce unten, § 6.c.

⁶⁰⁷ Dieses Paradox wird auch von Hacking hervorgehoben: „I propose to treat Cassirer quite seriously, as holding that a fundamental transition occurred in 1872. Just when I say determinism was rapidly being eroded, he says that it is being invented or at least universalized and made literal for the first time“ (Hacking 1983, S. 457). Dass der (implizite) wissenschaftliche Determinismus ins 19. Jahrhundert in vielen Hinsichten schon geschwächt kommt, habe ich in den vorigen zwei Kapiteln versucht, zu zeigen.

sondern er wird explizit mit dem Anspruch auf „maximale Breite“ (vgl. meine Klassifizierung oben, § 1.d) vertreten. Er erstreckt seinen Geltungsanspruch über die Physik hinaus: auf den Bereich der lebendigen Wesen, auf den ethischen Bereich der Handlungen der Menschen, sowie auf die sozialen Phänomene⁶⁰⁸. Dieser Anspruch auf Allgemeingültigkeit, oder maximale Breite, des wissenschaftlichen Determinismus als Weltbild oder Weltanschauung erweckt im 19. Jahrhundert oft einen heftigen und emotional beladenen Widerstand - wie im schon erwähnten (vgl. oben, § 4.b) Fall des statistischen Determinismus (oder Queteletismus). Wie und warum nimmt aber der wissenschaftliche Determinismus im 19. Jahrhundert solche weltanschauliche Züge an? Bei den erwähnten wichtigsten Autoren und Werken, auf die Hacking sich bezieht, fällt auf, dass es sich hauptsächlich um öffentliche Vorträge oder Texte für ein breites Publikum handelt. Meine Behauptung, die ich in diesem Kapitel untermauern möchte, ist, dass die weltanschauliche Dimension, die die Determinismusfrage im 19. Jh. annimmt, weithin die Folge eines wichtigen Phänomens ist, das sich genau in diesem Zeitraum entwickelt: die Naturwissenschaftler (oder jedenfalls einige von ihnen) sind im 19. Jh. als „Weltbilderlieferanten“ und als *public men* tätig. Bevor ich also in den nächsten Absätzen einige wichtige Formulierungen der Determinismusfrage als Weltbild oder Weltanschauung in Betracht ziehe, möchte ich nun dieses Phänomen kurz beleuchten und den Rahmen rekonstruieren, innerhalb dessen der Naturwissenschaft, und insbesondere der Physik, ein weltanschaulicher Charakter zukam⁶⁰⁹.

Im vorigen Kapitel haben wir gesehen, wie die klassische Mechanik im Laufe des 19. Jahrhunderts auf einen Teilbereich – wenn auch einen wegweisenden – der Physik reduziert worden war: im 19. Jh. ergab sich aus dem Wachstum wissenschaftlicher Kenntnisse nicht nur eine Ablösung der Einzelwissenschaften von der Philosophie, sondern auch eine wachsende Spezialisierung innerhalb der Einzelwissenschaften selbst. Man könnte also vermuten, dass jener wissenschaftliche Determinismus, der in der Mechanik implizit war, nun bloß als Eigenschaft eines beschränkten Bereiches der Physik erscheinen würde. Das ist aber nicht der

⁶⁰⁸ Wie wir schon im Fall des sogenannten „statistischen Determinismus“ des 19. Jahrhunderts (vgl. oben, §4.b) gesehen haben.

⁶⁰⁹ Der Verlag Meiner hat neulich eine kleine Reihe (in drei Bänden) unter dem Titel „Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert“ herausgegeben: wie im dritten Band (Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007), S. 9) zu lesen ist, beruht ein solches Projekt auf der Feststellung von „starken Programmen der Ausweitung des naturwissenschaftlichen Denkstils auf die Weltanschauung insgesamt“ im 19. Jh. Über die „weltbildprägende Kraft“ und die „weltbildschaffende Funktion“ der Physik (Pulte 2007, S. 41 und 42) vgl. auch Schieman (1997), Kap. A.IV.2: „Weltbildcharakter von Naturauffassungen“; Daum (2002) Kap.: IV: „Naturwissenschaftliche Bildung als organisierte Weltanschauung“ und Heidelberger (2002): „Weltbildveränderungen in der modernen Physik vor dem Ersten Weltkrieg“. Bezüglich der „großen Weltanschauungswirkungen der Naturwissenschaft“ im 19. Jh. hat Troeltsch schon 1913 gemerkt, wie „Naturkausalität“ und „Determinismus naturalistischer Art“ einer „naturwissenschaftlichen Weltanschauung“ wesentlich gehören (Troeltsch 1981 [1925], S. 626). Vgl. auch Weiszäcker (1944).

Fall: auch wenn der wissenschaftliche Determinismus im 19. Jh. hinsichtlich seiner „Tiefe“ und „Festigkeit“ schon geschwächt war, wie wir in den vorigen zwei Kapiteln gesehen haben, wurde er im 19. Jh. mit maximaler „Breite“ formuliert – wie im Folgenden klar werden soll. Der Grund dafür ist nicht nur, dass die Mechanik innerhalb der Physik bis zum Ende des 19. Jahrhunderts immer noch eine Vorbildfunktion hatte – wie im vorigen Kapitel aus dem Beispiel der statistischen Mechanik klar hervorgeht. Auch die Ablösung der Physik von der *philosophia naturalis* fand institutionell nur sehr langsam im Laufe des 19. Jahrhunderts statt: die Physik wird erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts als spezifische, naturwissenschaftliche Disziplin erkennbar⁶¹⁰. Und tatsächlich äußern sich wichtige Physiker im 19. Jh. auch als Natur- und Wissenschaftsphilosophen: sie melden sich öffentlich und wirkungsvoll zu naturphilosophischen und erkenntnistheoretischen Themen zu Wort, und einige von ihnen bekommen um 1900 sogar philosophische Lehrstühle – was übrigens ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Institutionalisierung der Wissenschaftsphilosophie war⁶¹¹. Die Aufwertung von Figuren (wie Wilhelm Wundt), die philosophische und einzelwissenschaftliche Kompetenz verbinden konnten, war – wie Ziche (2008) ausführlich darstellt – ein wesentliches Merkmal der akademischen Welt des 19. Jahrhunderts. Bei der Bezeichnung der Naturwissenschaftler, und hier insbesondere der Physiker, als „Naturphilosophen“ muss man natürlich präzisieren, dass es hier nicht um die idealistische Naturphilosophie z. B. von Schelling oder von Hegel geht – die im Gegenteil von vielen Physikern verachtet wurde⁶¹². Physiker wie Ostwald und Boltzmann haben Vorlesungen über „Naturphilosophie“ gehalten: hier wies das Wort „Naturphilosophie“ auf ein „reiches Gebiet“ hin, „das sich zwischen den [...] Feldern der einzelnen Wissenschaften und dem [...] der Philosophie hinzieht“⁶¹³. Als „Naturphilosophen“ in *diesem* Sinne versuchten angesehene Naturwissenschaftler, und darunter Physiker, im 19. Jh. eine *wissenschaftliche Weltanschauung* zu vertreten und in der Öffentlichkeit zu etablieren: man versuchte

⁶¹⁰ Die erste von der philosophischen Fakultät unabhängige naturwissenschaftliche Fakultät im deutschsprachigen Raum wurde erst 1863 (in Tübingen) eingerichtet (vgl. Ziche 2008, S. 44-45).

⁶¹¹ Vgl. Ziche (2008), S. 62ff. Als wichtiger Teil des institutionellen Ursprungs der Wissenschaftsphilosophie kann man die in Zürich 1870 eingerichtete „Professur für induktive Philosophie“ und die in Wien 1895 eingerichtete Professur für „Philosophie, insbesondere Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften“ betrachten. Diese letzte Professur hatten Mach und Boltzmann inne. Zu dem Ursprung der Wissenschaftsphilosophie vgl. auch Reichenbach (1951, S. 123): „Just as the new philosophy originated as a by-product of scientific research, the men who made it were hardly philosophers in the professional sense. They were mathematicians, physicists, biologists, or psychologists“.

⁶¹² Vgl. z. B. Ostwald (1902), S. 1ff., Boltzmanns „Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie“ (in: Boltzmann (1905), S. 338ff.) und die Zitate in Scheibe (2006), S. 23ff. Vgl. auch Daum (2002), S. 2.

⁶¹³ Ostwald (1902), zit. in Ziche (2008), S. 12. In Boltzmanns „Ein Antrittsvortrag zur Naturphilosophie“ (in: Boltzmann (1905)) wird der Naturphilosophen etwa als ein Naturforscher dargestellt, der sich „unwiderstehlich“ erkenntnistheoretische Fragen und Fragen nach der Existenz der Außenwelt stellt.

Weltanschauung [...] in das Wissenschaftssystem hineinzuholen, also Weltanschauung in Form einer ‚wissenschaftlichen‘ Weltanschauung zu fordern [...] Eine Weltanschauung müsste eine umfassende, intellektuelle und emotionale Bedürfnisse einer Zeit zugleich erfüllende Orientierungsleistung liefern⁶¹⁴.

Ein schönes Beispiel dafür, worin eine wissenschaftliche Weltanschauung bestehen könnte, liefert Mach in einer seiner *Populär-wissenschaftlichen Vorlesungen*:

Die Anschauung ist noch sehr verbreitet, daß alle „höhere ideale Bildung“, alle Erweiterung der Weltanschauung durch philologische und etwa noch durch historische Studien gewonnen werde, daß dagegen die Mathematik und die Naturwissenschaften wegen ihres *Nutzens* nicht zu vernachlässigen seien. Ich kann dieser Ansicht *durchaus nicht* zustimmen. [...] Wenn wir den Menschen nicht als Mittelpunkt der Welt ansehen, wenn uns die Erde als ein um die Sonne geschwungener Kreisel erscheint, der mit dieser in unendliche Ferne fliegt, wenn wir in Fixsternweiten dieselben Stoffe antreffen wie auf der Erde, überall in der Natur denselben Vorgängen begegnen, von welchen das Leben des Menschen nur ein verschwindender gleichartiger Teil ist, so liegt hierin *auch* eine Erweiterung der Weltanschauung, auch eine Erhebung, auch eine Poesie!⁶¹⁵

Nicht nur waren Naturwissenschaften und Philosophie im 19. Jh. institutionell noch nicht scharf getrennt, sondern „Wissenschaften und Philosophie arbeite[te]n gemeinsam an einer *umfassenden Gesamtsicht*“, wie Ziche (2008) erklärt⁶¹⁶. Die theoretische, inhaltliche Kehrseite des erwähnten institutionellen Geflechtes zwischen Philosophie und Naturwissenschaften kann man also mit einer Suche nach Einheitlichkeit identifizieren. Was die Natur- und Wissenschaftsphilosophie betrifft, erklärt Ziche (2008) ausführlich, wie ein sowohl wissenschaftliches als auch allgemein kulturelles *Einheitsbedürfnis* im 19. Jh. der zunehmenden Spezialisierung und Vereinzelung der Disziplinen entgegentrat⁶¹⁷. Ziches Buch ist voll mit Beispielen von philosophierenden Naturwissenschaftlern und Wissenschaftsphilosophen, die als eigene Aufgabe die Darstellung einer Einheit bzw. eines Systems der Wissenschaften betrachtet haben⁶¹⁸. In diesem Rahmen

werden wissenschaftliche Aussagen mit einem neuen Allgemeinheitsgrad möglich, es geht nicht mehr um einzelne Ereignisse, sondern um Austauschbeziehungen, um Umwandlungsprozesse und um allgemeine Grundstrukturen komplexer Prozesse, die gesetzmäßig erfassbar werden. Zugleich sind gerade diese

⁶¹⁴ Ziche (2008), S. 177.

⁶¹⁵ Mach (1987 [1923]), S. 326-327 („Der relative Bildungswert der wissenschaftlichen Unterrichtsfächer“).

⁶¹⁶ Ziche (2008), S. 61; meine Hervorhebung.

⁶¹⁷ Vgl. Ziche (2008), S. 45ff und insbesondere den Abschnitt II.3. Vgl. auch Krajewski (2006).

⁶¹⁸ Nur einige Beispiele: Hartmann, Wundt, Windelband, Stumpf, und, später, Cassirer.

wissenschaftlichen Sachverhalte in besonderer Weise zur Popularisierung und zur Herausbildung von Weltanschauungen geeignet.⁶¹⁹

Wie dieses Zitat suggeriert, waren die Naturwissenschaftler nicht nur als „Naturphilosophen“, sondern auch als *Wissenschaftspopularisierer* tätig. Die Popularisierung der Naturwissenschaften entwickelte sich rasch ab der Mitte des 19. Jahrhunderts⁶²⁰ und prägte diese Zeit sehr stark: In den 1860er Jahren stellt z.B. Jacob Burckhardt ein „Vorwiegen“ der Naturwissenschaften und deren „Popularisierung“ fest, und er fragt sich, „worauf es hinauswühle, und wie es sich mit dem Schicksal unserer Zeit verflechte“⁶²¹. Medien dieser Popularisierung waren vor allem öffentliche Vorträge, Bücher (z.B. populärwissenschaftliche Aufsätze von Wissenschaftlern), Zeitschriften und Zeitungen, aber auch das zunehmende Gewicht der naturwissenschaftlichen Ausbildung in den Schulen und in der Erwachsenenbildung ist in Betracht zu ziehen⁶²². Die Popularisierung erreichte ein breites und interessiertes Publikum: Zur Zeit des Durchbruchs der Massengesellschaft ähnelte die popularisierte Wissenschaft einem der neu entstehenden Massenprodukte⁶²³ und die Popularisierung der Naturwissenschaft war wie ein Marktplatz, in dem Angebot und Nachfrage sich gegenseitig förderten⁶²⁴. Im „Jahrhundert der Naturwissenschaften“ bzw. im „naturwissenschaftlichen Zeitalter“⁶²⁵ erfreuten sich die Naturwissenschaftler eines beträchtlichen Ansehens: die Naturwissenschaft nahm nicht zuletzt anhand der erfolgreichen und maßgeblichen Etablierung ihrer technischen Anwendungen eine zentrale Rolle im gesellschaftlichen Leben an⁶²⁶. Während Religion und Philosophie als „Weltbildlieferantinnen“ an Bedeutung verloren, wurde den Naturwissenschaftlern *qua* Naturwissenschaftlern eine spezielle Kompetenz auch in Bezug auf philosophische und weltanschauliche Fragen zuerkannt⁶²⁷.

⁶¹⁹ Ziche (2008), S. 55-56.

⁶²⁰ Über die Wissenschaftspopularisierung vgl. Daum (2002) in Bezug auf Deutschland, Felt (1996 und 2002) in Bezug auf Österreich, und Raichvarg – Jaques (1991) in Bezug auf Frankreich.

⁶²¹ Zit. in Daum (2002), S. 8.

⁶²² Vgl. Daum (2002), Kap. II und Coen (2007), S. 53ff.

⁶²³ Vgl. Felt (1996), S. 46 und 50.

⁶²⁴ Vgl. Ratzer (2002), S. 145.

⁶²⁵ Vgl. Daum (2002), S. 3 und Ziche (2008), S. 9 und 50.

⁶²⁶ Neben der schon erwähnten Literatur zur Wissenschaftspopularisierung vgl. den kurzen Abriss über „Die Geschichte der Popularisierung“ der Wissenschaft von Dragosits (2000, §6.1), die behauptet: „Ende des 19. Jahrhunderts führte das Wissen um die Macht der immer weiter expandierenden Wissenschaft und Technologie und der weitverbreitete Glaube, dass sozialer Wohlstand mit wissenschaftlich-technischem Fortschritt eng gekoppelt sei, zu regelmäßiger Berichterstattung in Printmedien und zu anderen Formen der Diffusion dieses Wissens wie z.B. populärwissenschaftlichen Vorträgen“ (S. 114). Und: „Bis weit ins 20. Jahrhundert waren es überwiegend die Wissenschaftlern selbst, die die Berichterstattung über Wissenschaft dominierten“ (S. 115).

⁶²⁷ In Bezug auf Deutschland behauptet Schiemann (1997, S. 150) anhand entsprechender historischer Quellen: „Der Niedergang der Hegelschen Philosophie, die noch einmal versucht hatte, den mit dem Verfall der religiösen

Die Tätigkeit der Physiker als Natur- bzw. Wissenschaftsphilosophen und jene als Wissenschaftspopularisierer sind interessanterweise nicht immer klar zu trennen: einerseits haben sich Physiker in ihren populärwissenschaftlichen Aufsätzen und Vorträgen mit Fragen der Natur- und Wissenschaftsphilosophie beschäftigt, andererseits haben sie umgekehrt typische Themen der populärwissenschaftlichen Diskurse und Debatten auch in Beiträgen für philosophische Zeitschriften behandelt⁶²⁸.

Naturphilosophie und Wissenschaftspopularisierung waren beide von der Tendenz charakterisiert, die Tragweite naturwissenschaftlicher Theorien über ihre spezifischen und fachlichen Kontexte hinaus zu erweitern – bis zur Produktion von Weltbildern oder Weltanschauungen. Dieselbe Suche nach Einheitlichkeit, die hinter den philosophischen Bemühungen der Naturwissenschaftler stand, prägte auch Ihre Tätigkeit als Wissenschaftspopularisierer. Felt (1996, S. 49ff.) und Daum (2002, S. 1-2) stellen bei der Wissenschaftspopularisierung dieselbe Funktion fest, die Ziche der naturphilosophischen Reflexion der Naturwissenschaftler im 19. Jh. zuschreibt: jene des „Gegengewichts“ gegen die zunehmende Spezialisierung der Wissenschaften.

In der Wissenschaftspopularisierung ist das Streben nach einem einheitlichen Weltbild bzw. nach einer einheitlichen Weltanschauung in mehreren Hinsichten erkennbar. Erstens, wie Felt (1996, S. 57) bemerkt hat: „Popularisierung bedeutet [...] Diskursivierung von Wissen“. Im Fall der Naturwissenschaften – und insbesondere der Physik – mussten bei der Popularisierung mathematische Formeln und Fachtermini durch eine Erzählung darüber ersetzt werden, „wie die Welt geschaffen sei“. Darin liegt schon eine gewisse Tendenz zur Verallgemeinerung wissenschaftlicher Ergebnisse: Eigenschaften wie z.B. Determiniertheit, Undeterminiertheit, Gesetzmäßigkeit, Unvorhersagbarkeit, Zufälligkeit usw. beziehen sich dadurch nicht mehr auf spezifische Systeme bzw. Theorien, sondern auf die (ganze) Welt. Damit verbunden ist, zweitens, die Tatsache, dass die Popularisierer der Naturwissenschaft

Traditionen entstandenen Identitätsverlust zu überwinden, führte in der zunehmend durch die Wissenschaften geprägten Kultur des 19. Jahrhunderts zum Bemühen, das Sinn- und Orientierungsvakuum durch einen Rückgriff auf die verallgemeinerungsfähigen Ergebnisse der Wissenschaft zu kompensieren“.

⁶²⁸ Man wundert sich eigentlich, wie der Zusammenhang zwischen den Popularisierungsbemühungen der Physiker und ihren naturphilosophischen und wissenschaftsphilosophischen Gesinnungen in der Literatur (z.B. bei Forman 1971 und bei Scheibe 2006) übersehen wird. In seinem Buch, das die gegenseitige Positionierung von Wissenschaft und Wissenschaftsphilosophie ausführlich behandelt, benutzt Ziche (2008) bewusst populärwissenschaftliche Aufsätze von Wissenschaftlern als überwiegenden Teil seiner Quellen: trotzdem wird die Beziehung Wissenschaftsphilosophie – Wissenschaftspopularisierung an sich nicht thematisiert. Auch Schiemann (1997) stützt sich hauptsächlich auf populärwissenschaftliche Texte, um die Entwicklung der natur- und wissenschaftsphilosophischen Ansichten von Helmholtz zu rekonstruieren: „Für die vorliegende Untersuchung sollen nun die öffentlichen Reden die hauptsächliche Materialbasis darstellen. Wie kaum in einem anderen Teil seines Werkes hat sich Helmholtz in seinen Reden explizit zu wissenschafts- und naturtheoretischen Fragen geäußert“ (Schiemann 1997, S. 174).

naturwissenschaftliche Theorien normalerweise in einen viel breiteren Zusammenhang einbetteten:

Wissenschaft zu popularisieren meinte bis 1914, einen Beitrag zur Integration der Naturwissenschaften in das bestehende kulturelle Gefüge, nicht zur Separierung der beiden Sphären zu leisten. [...] Die ‚Praxis einer kulturellen Selbstinszenierung der Naturwissenschaften‘ verstand sich als Beitrag zur kulturellen Einheit von positivem Wissen, Metaphysik und Kunst⁶²⁹.

Anhand dieses Grads an Verallgemeinerung und Durchsetzung naturwissenschaftlicher Ergebnisse wundert es nicht, dass in den folgenden Kapiteln auch Beispiele vorkommen werden, bei denen die Determinismusfrage mit einem klaren Bezug zu Gesellschaft und Politik behandelt wird. Daher möchte ich hier schließlich auch noch auf die politische Seite dieser „Weltbild- bzw. Weltanschauungsproduktion“ seitens der Naturwissenschaftler hinweisen.

Wenn man nach den Gründen und den Zwecken der Wissenschaftspopularisierung fragt⁶³⁰, wird man auf zwei miteinander eng verbundene Aspekte aufmerksam: (1) die soziale und politische Bedeutung (und Brauchbarkeit) naturwissenschaftlicher Weltbilder als „Diskurse über die Welt“, die das spezielle Ansehen der Wissenschaftlichkeit besitzen und (2) die Untrennbarkeit der Wissenschaftspopularisierung vom politischen und institutionellen Leben. Die Popularisierung der Naturwissenschaften war schon seit ihrem Ursprung mit bestimmten Vorstellungen und Idealen der Bildung der Bürger verbunden – was sie vom Anfang an in den Bereich der Politik fallen ließ. Darüber hinaus hat Felt (2002, S. 51 ff.) drei Modi der politischen Bedeutung der Wissenschaftspopularisierung unterschieden, die sie zwar im Speziellen auf die Wissenschaftspopularisierung in Österreich Anfang des 20. Jahrhunderts bezieht, die aber meines Erachtens als allgemeine, mögliche Aspekte des Verhältnisses zwischen Wissenschaftspopularisierung und Politik gelten können:

- i. „Wissenschaft als Basis für Politik und politisches Handeln“: Damit ist hauptsächlich der Verweis auf die Wissenschaft und auf die wissenschaftliche Denkweise seitens

⁶²⁹ Daum (2002), S. 12. Diese Tendenz scheint auch nach 1914 noch zu gelten, wenn Ratzer (2002, S. 139) in Bezug auf die Popularisierung der Quantenphysik im Zeitraum 1925-38 bemerkt: „Welche neuen oder anderen Einsichten können nun prinzipiell durch populärwissenschaftliches Material gewonnen werden? Die wichtigste Qualität des Materials liegt darin, dass die handelnden Akteure ihre Theorien selbst in ein weiteres Umfeld einbetten“. Bei der Popularisierung naturwissenschaftlicher Theorien, meint Ratzer, „können wir den Mechanismus der Veränderung von ‚objektiven Naturtatsachen‘ hin zu in unterschiedliche Kontexte hineinreichenden *Welterklärungen* sehen. (...) Die Wissenschaftler stimmen dabei sowohl die von außen an sie herangetragenen Vorstellungen als auch ihre persönlichen *Weltbilder* und Vorannahmen als auch den innerwissenschaftlichen Diskurs aufeinander ab“ (Ratzer 2002, S. 139 – meine Hervorhebungen).

⁶³⁰ Vgl. Raichvarg – Jaques (1991, Première Partie) Daum (2002), Kap. 2, Felt (1996 und 2002), Ratzer (2002), Kap. 5.2.3. und Coen (2007), insbesondere die Kap. 1-2-3.

unterschiedlicher politischen Kräfte gemeint, um bestimmte Werte, bestimmte gesellschaftliche Ordnungen und bestimmte politische Zwecke zu begründen⁶³¹.

- ii. „Politik des Wissens“: Bei der Wissenschaftspopularisierung geht es oft auch darum, die Wissenschaft von anderen Formen des Wissens abzugrenzen, wobei eine Verherrlichung der ersten und eine Abwertung der letzten implizit ist.
- iii. „Wissenschaftspolitik im Sinne einer Politik *für* Wissenschaft“: Die Wissenschaftspopularisierung trägt zu einem Vertrauensverhältnis zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit bei, das wiederum eine Achtung der letzten vor der ersten herstellt, und u.a. zur Bereitschaft der Gesellschaft führt, wissenschaftliche Institutionen zu unterstützen und zu finanzieren.

Ein zusätzlicher, wichtiger Aspekt, den man bei einer Reflexion über den Austausch zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit bedenken soll, betrifft die Technik: Das öffentliche Interesse an der Wissenschaft ab dem 19. Jh. erwuchs auch aus den massiven Auswirkungen der *angewandten* Wissenschaft und der Technik auf Gesellschaft und auf Wirtschaft. Auch von daher lässt sich die zunehmende Bedeutung der Wissenschaft für die Politik verstehen⁶³².

Alle diese Aspekte lauerten sicherlich hinter der öffentlichen Diskussion um den wissenschaftlichen Determinismus. Was mich aber im Folgenden speziell interessiert, ist die kognitive und ideologische Dimension jenes Austausches zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit, der den größeren Rahmen der Kontroversen um die Determinismusfrage darstellt. Einerseits die „*Verweltanschaulichung* von Ergebnissen der Wissenschaft“, andererseits fallweise die „*Verwissenschaftlichung* von ethisch, politisch oder neureligiös emergenten Weltanschauungen“⁶³³ bot im 19. Jahrhundert den Raum, in dem der wissenschaftliche Determinismus explizit wurde. Zugleich wurde er oft vor einem bestimmten gesellschaftlichen und (im weitesten Sinne) politischen Hintergrund heftig abgelehnt, und zwar im Rahmen der unterschiedlichen Angriffe auf die Naturwissenschaft, die sich ab den 1880er Jahren bis zur Jahrhundertwende in ganz Europa vermehrten (vgl. MacLeod 1982). Hinter diesen Angriffen steckten die unterschiedlichsten Motive: eine romantische Reaktion auf die Industrialisierung, eine Verteidigung der traditionellen Werte, die Vertretung einer religiösen Weltanschauung, die Angst vor der Verbreitung des Sozialismus, aber auch ein

⁶³¹ Interessanterweise rubriziert Felt (2002, S. 52-54) in diese Kategorie sowohl die Popularisierungsbemühungen der Sozialdemokraten im Roten Wien als auch das Zurückführen politischer Stellungnahmen auf die Rassenkunde, Abstammungs- und Vererbungslehre nach dem Ersten Weltkrieg.

⁶³² Vgl. Felt (1996), S. 62ff.

⁶³³ Drehsen, V. – Sparn, W. (1996), S. 17.

argumentierter Skeptizismus gegenüber den öffentlich propagierten wissenschaftlichen Weltanschauungen⁶³⁴. Der historische Ursprung dieser wissenschaftsfeindlichen Strömungen geht wahrscheinlich auf den in den 1870er Jahren geleisteten theologischen und philosophischen Widerstand gegen den Darwinismus zurück; gleich darauf vermehrten sich aber die Angriffe auf die Wissenschaft bis zur Behauptung ihres vermeintlichen „Bankrotts“ und wurden zu einem öffentlichen Anti-Intellektualismus⁶³⁵ um die Jahrhundertwende.

Vor diesem Hintergrund müssen die Kontroversen um die Determinismusfrage reflektiert werden, denen das nächste Kapitel gewidmet ist: der wissenschaftliche Determinismus wurde oft als Stellvertreter für andere gesellschaftliche und politische Fragen befürwortet oder abgelehnt - Fragen, die weit über die Mechanik und die Naturwissenschaft hinaus zu ethischen, ideologischen und religiösen Vorstellungen und Überzeugungen reichten.

Exkurs - Von Weltbildern zu Ideologien: Das Kontinuum der „Diskurse über die Welt“ im 19. Jh. und bis dem Ersten Weltkrieg

Hat jedes Zeitalter der Geschichte sein Weltbild und zwar in der Weise, daß es sich jeweils um sein Weltbild bemüht? Oder ist es schon und nur die neuzeitliche Art des Vorstellens, nach dem Weltbild zu fragen?⁶³⁶

Was sagen Sie übrigens zu diesem Gerede von Weltanschauung?⁶³⁷

Wenn wir über die von den Physikern gelieferten „wissenschaftlichen Weltanschauungen“ hinaus unseren Fokus erweitern, finden wir leicht heraus, dass die „Diskurse-über-die-Welt“ seitens der Physiker in eine allgemeine, breitere Tendenz eingebettet werden müssen, die

⁶³⁴ „Those who apotheosized science, who basked in the intellectual luminosity of Littré and Taine, or who subscribed to the literary rationalism of Zola, held in common the fundamental dogma (or ‘creed’) that, through ‘scientific method’, reason could understand and know everything. Everything true could be discerned by reason and catalogued by science. From the 1860s, an elite – in France, Paul Bert, Marcelin Berthelot, and Paul Painlevé; in England, John Tyndall, Herbert Spencer, W.K. Clifford, and T.H. Huxley; in Germany, Rudolf Virchow and Ernst Haeckel – had led the vanguard of the scientific movement, eclipsing the ‘romantic naturalism’ of the 1830s, and producing a new agnostic ideology, a ‘scientific naturalism’ [...]” (MacLeod 1982, S. 3). Von der Überwindung der romantisch-idealistischen Naturauffassung wird unten, im § 6.a, noch mal die Rede sein; auch einige von MacLeod erwähnten Namen werden unten, im Kap. 6, wieder auftauchen.

⁶³⁵ Vgl. nicht nur MacLeod (1982), sondern auch die Erinnerungen an die Zeit nach der Jahrhundertwende um 1900 seitens Philipp Franks in Frank (1949, S. 2-4): „We recognized the gradual decline in the belief that mechanistic science would eventually embrace all our observations. This belief had been closely connected with the belief in the progress of science and in the scientific conception of the world. Therefore, this decline brought about a noticeable uneasiness. Many people lost their faith in the scientific method and looked for some other method which might yield a real understanding of the world.” *Ibidem*, S. 3).

⁶³⁶ Heidegger (1938), S. 88. Vgl. Schieman (1997), S. 138: „Die heutige Bedeutung des Weltbegriffes verdeckt zumeist, dass die (nicht auf die Naturphilosophie beschränkte) Idee des Weltbildes ein erst im 19. Jahrhundert aufkommendes Phänomen ist, das auf eigene Weise durch die kulturhistorischen Umstände dieser Zeit gekennzeichnet ist.“

⁶³⁷ Schnitzler (2000 [1908]), S. 300.

ihren Höhepunkt wahrscheinlich um 1900 erreicht, deren Ursprung aber noch einmal auf das 19. Jh. zurückgeführt werden kann. In seinem Buch über „Weltprojekte um 1900“ weist Krajewski (2006) darauf hin, dass das Präfix „Welt-“ um 1900 einer „inflationären Verwendung“ ausgesetzt wird⁶³⁸. „Die Serie von Weltprojekten“ – die er in seinem Buch rekonstruiert (und die z.B. eine Welt-Zeit, eine Welt-Hilfssprache, ein Welt-Format für Maßeinheiten betreffen) -

bildet [...] in gewisser Weise eine nüchterne, an der Praxis orientierte und vornehmlich den technischen Entwicklungen verpflichtete Gegenbewegung zu den Diskursen um „Weltbilder“ und „Weltanschauung“, welche die Philosophie des 19. Jahrhunderts maßgeblich prägen.⁶³⁹

Die Rolle, die die Philosophie und andere kulturelle Teilbereiche bei der Verbreitung der „Diskurse-über-die-Welt“ gespielt haben, lässt sich anhand der Ideengeschichte um die Begriffe „Weltbild“ / „Weltanschauung“ rekonstruieren und eben auf das 19. Jh. zurückführen. Dadurch kommen auch die theoretisch-begrifflichen Aspekte des Genres der Weltvorstellungen aus historischer Perspektive ans Licht. Darüber hinaus erweist sich die Politisierung bzw. Ideologisierung der wissenschaftlich-philosophischen Diskurse über die Welt als relevantes Phänomen. Semantische Hinweise darauf sind die Konvergenz der Begriffe „Weltbild“ und „Weltanschauung“ ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und der Zutritt von beiden in das Bedeutungsfeld von „Ideologie“ im Zeitalter der Entstehung der Massenparteien (um 1900). Um dieses Thema zu beleuchten, ist es zuerst angebracht, die Begriffe „Weltbild“ und „Weltanschauung“ stärker zu fokussieren.

In meiner Klassifizierung der verschiedenen Formen des Determinismus hinsichtlich der „Breite“ (vgl. oben, §1.d) habe ich mich auf einen ungefähren Begriff von „Weltbild“ bezogen, nach dem ein Weltbild eine synthetische und systematische Vorstellung von der ganzen Welt sei, die durch eine radikale Verallgemeinerung gewisser naturwissenschaftlicher Kenntnisse geschaffen wird. Hingegen hatte ich die „Weltanschauung“ so charakterisiert, dass sie sich vom „Weltbild“ durch ethische bzw. politische Implikationen unterscheidet. Solch eine Unterscheidung ist auf keinen Fall unhistorisch und hat die Geschichte der zwei Begriffe schon ab dem 19. Jh. wesentlich geprägt. Diese Geschichte ist aber vielschichtig und weist

⁶³⁸ Vgl. Krajewski (2006), S. 12.

⁶³⁹ Vgl. Krajewski (2006), S. 15.

auch auf eine gewisse Konvergenz der zwei Begriffe hin, die vor allem ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zunehmend wird⁶⁴⁰.

Die Prägung des Begriffs „Weltanschauung“ und die Verbreitung des vorher seltenen Wortes „Weltbild“ geschehen im deutschsprachigen Raum gleichzeitig zwischen dem Ende des 18. Jahrhunderts und den ersten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts und sind beide dem deutschen kritischen Idealismus bzw. dem deutschen Idealismus zu verdanken. Bei diesem gemeinsamen Ursprung zeigen beide Begriffe ähnliche Merkmale, die (1) eben gemeinsam sind und daher eine spätere begriffliche Konvergenz „vorbereiten“; (2) ein breites Spektrum von Problematiken eröffnen, das die Geschichte der zwei Begriffe sowohl philosophisch als auch ideen- bzw. kulturgeschichtlich bis in das 20. Jh. charakterisieren werden; (3) in Zusammenhang mit der Determinismusfrage gebracht werden können. Ich werde zuerst versuchen, diese Merkmale zu identifizieren, bevor meine Analyse um den Begriff der „Ideologie“ erweitert wird:

Welt Weltbilder und Weltanschauungen bedeuten eine Vorstellung oder eine Auffassung der Welt als Ganze. Solch eine Vorstellung geht weit über die aktuelle (begrenzte) Erkenntnis bzw. Erfahrung hinaus und transzendiert sie durch eine Art allerletzte Synthese. Metaphysik und Philosophie, aber auch Dichtung und Kunst, kamen dabei schon im 19. Jh. als Disziplinen ins Spiel, die es erlauben sollten, einzelne Ergebnisse der Wissenschaft bzw. der Erfahrung zu transzendieren, um ein einheitliches und tiefsinniges Bild der „Welt“ zu schaffen⁶⁴¹. Freilich war der Begriff „Weltbild“ im Vergleich zu „Weltanschauung“ ursprünglich weniger anspruchsvoll in Bezug auf die Möglichkeit, eine Totalität zu erfassen⁶⁴²: es waren oft Einzelwissenschaften, die (spezifische) Weltbilder produzierten. Ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts aber bedeutete das Zusammenspiel verschiedener Faktoren eine

⁶⁴⁰ Die folgende, in großen Umrissen gezeichnete Geschichte der Begriffe „Weltbild“, „Weltanschauung“ und „Ideologie“ basiert hauptsächlich auf den folgenden Quellen (wenn keine andere spezifische bibliographische Angaben gegeben werden): (1) Nachschlagwerke: *Deutsches Wörterbuch von Jacob und Wilhelm Grimm*, bearbeitet von A. Götze, Leipzig (1955); *Historisches Wörterbuch der Philosophie* (1971-2007); *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie* (1980-2008), (Stichwörter: „Weltbild“, „Weltanschauung“ und „Ideologie“). (2) Monographien: Meier (1967): „Weltanschauung“. *Studien zu einer Geschichte und Theorie des Begriffs*; Dux (1982): *Die Logik der Weltbilder. Sinnstrukturen im Wandel der Geschichte*; Drehsen – Sparn (1996): *Vom Weltbildwandel zur Weltanschauungsanalyse*. (3) Artikel: Orth (1989), „Ideologie und Weltanschauung. Zur Pathologie zweier Begriffe“.

⁶⁴¹ Vgl. auch Ziche (2008), S. 130: „Da das Begriffssystem, das die Wissenschaften zu entwickeln haben, aufgrund der nie abgeschlossenen Arbeit der Einzelwissenschaften lückenhaft sein müsse, bleibe allerdings jede Systematisierung der Wissenschaften oder ihrer Resultate unvollständig. Wenn man dennoch am Ziel eines umfassenden Systems festhalten wolle, müsse man – wieder ähnlich wie bei Wundt – ‚diese Lücken in und zwischen den einzelnen wissenschaftlichen Theorien *hypothetisch* [...] *ergänzen*‘. Hiermit findet Erdmann einen Ort auch für Metaphysik“.

⁶⁴² Vgl. Schiemann (1997), S. 151.

Kontamination des Begriffes „Weltbild“ mit dem der „Weltanschauung“. Einerseits verlor der Begriff vom „Weltbild“ dadurch seine „Bescheidenheit“, dass naturwissenschaftliche Weltbilder infolge der zunehmenden Bedeutung der Wissenschaft für die Gesellschaft verabsolutiert wurden – bis sich eine „*Verweltanschaulichung* von Ergebnissen der Wissenschaft“ in der Moderne vollzog⁶⁴³. Andererseits verlor der Begriff der „Weltanschauung“ insofern seine Allgemeinheit, als er wachsend auf „wissenschaftliche“ Grundlagen zurückgeführt wurde – wobei eine ganze „Weltanschauungsliteratur“ entstand, in der die Autoren wissenschaftliche Ergebnisse „mit waghalsigen Hypothesen, metaphysischen Theoriefragmenten, autobiographischen Mitteilungen, ethischen Handlungsanweisungen, zeitpolitischen Diagnosen und sozialen Zielprojektionen“ verbanden⁶⁴⁴. Um kurz auf die Determinismusfrage hinzuweisen: wie schon oben (vgl. § 3.b) in Zusammenhang mit Kant (und insbesondere mit der Kantischen Dialektik) bemerkt, hat jede Art Skeptizismus gegenüber dem Anspruch, ein Gesamtbild der Welt irgendwie zu fassen, eine direkte Bedeutung für eine Einstellung zur Determinismusfrage, falls diese auf der Ebene der Weltbilder und Weltanschauungen gestellt wird.

Bild/Anschauung So sehr sich ein „Bild“ von einer „Anschauung“ unterscheiden lässt⁶⁴⁵, suggerieren beide Begriffe eine Darstellung bzw. Vorstellung (der Welt) *visueller* Natur. Beide Begriffe („Weltbild“ und „Weltanschauung“) spielten tatsächlich im 19. Jh. im Rahmen der bildenden Kunst und der Literatur eine Rolle. Interessanterweise fand eine Entfernung vom „naiven“ Realismus bezüglich der Naturtreue der visuellen Vorstellung früher im Bereich der Physik als in dem der Kunst statt: Von Helmholtz, über Hertz, bis Boltzmann verbreitete sich im deutschsprachigen Raum schon ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Auffassung physikalischer Theorien als bloßer „Bilder“ (oder „Modelle“) physikalischer Gegenstände und Phänomene – wobei der nicht-realistische Aspekt der Vorstellung bzw. Darstellung der Realität hervorgehoben wurde⁶⁴⁶.

Im Begriff der „Anschauung“ wird eine ähnliche Ambiguität zwischen sinnlicher (visueller) Rezeptivität und geistige Spontanität ebenso offensichtlich: einerseits bezieht sich das

⁶⁴³ Drehsen – Sparn (1996), S. 17.

⁶⁴⁴ Vgl. *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, S. 456. Es wird hier auf Autoren wie Wundt, Haeckel, Fechner u.a. hingewiesen und es wird behauptet: „Der Erfolg der Weltanschauung-Literatur [in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts] erklärt sich offenbar damit, dass sie angesichts der schwindenden Bedeutung der Religion, der Skepsis gegenüber den Systemen des philosophischen Zeitalters, aber auch angesichts der Ausdifferenzierung der Einzelwissenschaften die Aufgabe der ‚Sinnproduktion‘ übernimmt“.

⁶⁴⁵ Im Rahmen des Idealismus hat man z.B. die „Anschauung“ vom „Bild“ unterschieden, indem dieses letztere das Objekt sei, das durch das Vermögen der Anschauung geschaffen wird.

⁶⁴⁶ Vgl. oben, §3.c.

semantische Element des „Schauens“ auf eine sinnliche Rezeption der externen Welt, andererseits bedeutet „Anschauung“ auch so viel wie „Intuition“, „Ansicht“ – wobei die subjektive Komponente überwiegend ist.

Solch eine Zweideutigkeit, oder ein gewisses „Schwanken“, in Bezug auf objektive (im Sinne von realitätsbezogene)/subjektive bzw. rezeptive/spontane bzw. sinnliche/geistige Komponenten der Weltvorstellung ist viel später sowohl in der Debatte über die Relativitätstheorie⁶⁴⁷ als auch in der über die Quantenmechanik noch zu erkennen. Philipp Frank, Physiker und Wiener Kreis Mitglied, behauptet z.B. 1928:

Die Forderung der Darstellung durch bewegte Punkte oder Ätherschwingungen hat gar nichts mit der Forderung nach *Anschaulichkeit* zu tun, sondern nur mit einer bestimmten metaphysischen *Weltanschauung*, die sich aus zwei Teilen zusammensetzt [...]. Erstens: der materialistische Weltauffassung [...] Zweitens: der idealistischen Philosophie mit ihrer Sonderstellung der geheimnisvollen Dreizahl von Raum, Zeit, *Kausalität* [...], wo mit Hilfe des, wie mir scheint, widersinnigen Begriffes der „reinen“ Anschauung eine kühne Brücke geschlagen wird, die von der mystischen Intuition zum wirklichen optischen Anschauungserlebnis hinüberführt.⁶⁴⁸

Die kantische Auffassung der Kausalität als konstitutiv für die Welt *qua* Erkenntnisobjekt konnte man offensichtlich noch im Jahr 1928 für die Tendenz verantwortlich machen, die Kausalität als wesentlich für die Weltanschauung (im Sinne von: Anschauung der Welt) bzw. für die Anschaulichkeit physikalischer Gegenstände aufzufassen. Auch kulturhistorisch und ideengeschichtlich wiesen Anschaulichkeit und Bildhaftigkeit schon seit dem 19. Jh. auf einen *geordneten und bestimmten* Charakter der Welt bei Weltbildern und Weltanschauungen hin⁶⁴⁹ - was zugunsten einer impliziten Verbindung zwischen „Weltbild/Weltanschauung“ und „Determinismus“ wirken konnte.

Über das Rationale hinaus Die semantische Andeutung einer visuellen Wahrnehmbarkeit („Bild“, „anschauen“) oder einer fassbaren Ordnung („Anschaulichkeit“, „Kausalität“) im Bedeutungsfeld von „Weltbild/Weltanschauung“ muss aber nicht täuschen. Wie schon erwähnt, implizierten beide Begriffe vom Anfang an eine Art „Hypersynthese“, die über die

⁶⁴⁷ In Bezug auf die erste sei kurz auf den Streit zwischen Einstein und Lenard über die Anschaulichkeit der Relativitätstheorie hingewiesen, in dessen Rahmen Einstein behauptete: „What one considers as *anschaulich* is subject to great changes, it is a function of time. A contemporary of Galilei would have declared his mechanics as very *unanschaulich*.“ (zit. in Stöltzner 2003, S. 49). Der Streit fand bei der *Naturforscherversammlung* 1920 statt.

⁶⁴⁸ Frank (1928), S. 124 – meine Hervorhebungen. Man bemerke, wie auch Frank auf die schon erwähnte Zweideutigkeit sinnlich/geistig hinweist.

⁶⁴⁹ In dieser Hinsicht ist es wichtig, auch die Tatsache zu erwähnen, dass die Begriffe von „Weltbild“ und von „Weltanschauung“ ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts oft den Begriff von „System“ implizieren (vgl. auch Ziche 2008, S. 47).

Erfahrung und über die aktuelle Erkenntnis hinaus reicht. Und als Zuspitzung dieses Aspekts kann man „das Einbrechen des Irrationalen“ in den Begriff von „Weltanschauung“ sehen, das in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Geschichte des Begriffs prägt⁶⁵⁰. Dieses Einbrechen des Irrationalen ging – laut der Rekonstruktion Meiers (1967, Kap. V) – mit einer „Subjektivierung“ von „Weltanschauung“ zusammen und gab Anlass zu einem Bedeutungswandel:

Mit „Weltanschauung“ kann [nun] das Ganze der Ansichten und Überzeugungen bezeichnet werden, das sich als eine bestimmte Lebensform verwirklicht und sich in der Haltung der Subjektivität dem Leben und der Welt gegenüber zeigt. [...] „Weltanschauung“ als das Ganze der individuellen Welterfassung ist die persönliche Welttheorie, die sich immer stärker der Verifikation durch Vernunft entzieht.⁶⁵¹

Dieser Bedeutungswandel geschah interessanterweise genau in der Zeit, in der die schon erwähnte populärwissenschaftliche Weltanschauungsliteratur sich verbreitete und in der dieser Siegeszug der „wissenschaftlichen Weltanschauung“ die Verwendung des Wortes „Weltbild“ als synonym mit „Weltanschauung“ förderte. *„Weltbild“/„Weltanschauung“ bekamen also eine subjektive und ethische Färbung genau in der Zeit, in der der populärwissenschaftliche Diskurs diese Begriffe aufnahm.* Damit war die Kontamination des wissenschaftlichen mit dem ethisch-politischen Diskurs schon vorhanden.

Wessen Weltbilder? Wessen Weltanschauungen? In Ergänzung zu dem, was im vorigen Absatz dargestellt wurde, möchte ich wieder die Frage angehen, wer Weltbilder/Weltanschauungen „produzierte“, und für wen. Angesichts eines sehr allgemeinen Blicks auf die Geschichte der zwei Begriffe kann man behaupten, dass sie ursprünglich (zwischen dem Ende des 18. Jahrhunderts und der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts) vor allem im Bereich der Philosophie geprägt und diskutiert wurden (Kant, Schleiermacher, Goethe, Fichte, Hegel, Schelling, Feuerbach...), aber sich ziemlich früh in anderen Wissensbereichen verbreiteten (Ästhetik, Sprachwissenschaft, Naturwissenschaften, Psychologie, Literatur...).

Anfang des 20. Jahrhunderts „war das Weltanschauungsthema auf einem gewissen Höhepunkt der Diskussion“ (Orth 1989, S. 143)⁶⁵²: 1905 veröffentlichte der österreichische Philologe und Philosoph Heinrich Gomperz sein Werk *Weltanschauungslehre. Ein Versuch, die*

⁶⁵⁰ Meier (1967), S. 186 ff.

⁶⁵¹ Meier (1967), S. 194-195.

⁶⁵² Orth (1989), S. 143.

*Hauptprobleme der allgemeinen theoretischen Philosophie geschichtlich zu entwickeln und sachlich zu bearbeiten*⁶⁵³. Ab 1906 gab der deutsche Historiker Paul Hinneberg eine Enzyklopädie heraus (mit dem Titel *Die Kultur der Gegenwart*), in der die Frage nach der „Einheit der modernen Kultur“ als einer „Weltanschauung“ eingegangen werden sollte.¹⁹¹¹ war der Philosoph Max Frischeisen-Köhler, der einen Sammelband mit dem Titel *Weltanschauung* herausgab⁶⁵⁴. Diese beiden letzten Werke enthielten Beiträge von Wilhelm Dilthey, dessen Absicht war, „Das [philosophische] Unternehmen, die Weltanschauung zur Allgemeingültigkeit zu erheben“⁶⁵⁵, mittels des „geschichtlichen Bewußtseins“ aufzulösen⁶⁵⁶ und verschiedene „Typen“ der Weltanschauung zu identifizieren und zu analysieren. Es ging daher nun eher um „Weltanschauungen“ als um „Weltanschauung“.

Im deutschsprachigen Raum öffnete sich tatsächlich in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts eine Meta-Perspektive auf die Begriffe „Weltbild“/„Weltanschauung“, die ihre Pluralität und kulturelle Bedingtheit wahrnahm und dadurch eine kritische Distanz von jedem Weltbild und jeder Weltanschauung schaffte. Während einige Philosophen die Überlegung der zwei Begriffe vom rein philosophischen Standpunkt fortsetzten⁶⁵⁷, öffneten einige Autoren, die auch in anderen Geisteswissenschaften ihren Forschungsschwerpunkt hatten, die

⁶⁵³ Gomperz (1905). Gomperz hatte seine Dissertation unter der Betreuung von Ernst Mach geschrieben und lehrte 1900-1934 an der Universität Wien. In diesen Jahren war er im engen Kontakt mit dem Wiener Kreis: Er nahm manchmal an dessen Sitzungen teil und hatte einen eigenen Kreis, an dem viele wichtige Wiener-Kreis-Mitglieder (Kraft, Zilsel, Carnap, Feigl, Hahn) teilnahmen. Das Buch von Edgar Zilsel *Das Anwendungsproblem*, das im Mittelpunkt des Kapitels 7 vorliegender Arbeit steht, ist Heinrich Gomperz als Autor einer Lehre der Willensfreiheit und als Autor der Weltanschauungslehre gewidmet.

⁶⁵⁴ Über die Werke von Hinneberg und Frischeisen-Köhler vgl. Orth (1989), S. 143-44.

⁶⁵⁵ Dilthey (1990 [1907]): Titel des Kapitels III, im zweiten Teil.

⁶⁵⁶ Vgl. Dilthey (1990 [1907], S. 406) „So bleibt von der ungeheuren Arbeit des metaphysischen Geistes das geschichtliche Bewußtsein zurück“. Dilthey setzt so fort: „Nicht die Relativität jeder Weltanschauung ist das letzte Wort des Geistes, der sie alle durchlaufen hat, sondern die Souveränität des Geistes gegenüber einer jeden einzelnen von ihnen...“, aber das „Relativierung-Potential“, das in dieser hegelianischen Sichtweise sowieso steckt, kann man nicht leugnen. In einigen Notizen Diltheys, die ungefähr in derselben Zeit geschrieben wurden, liest man z. B.: „Das Messer [...] des historischen Relativismus, welches alle Metaphysik und Religion gleichsam zerschnitten hat, muß auch die Heilung herbeiführen. Wir müssen nur gründlich sein. Wir müssen die Philosophie selbst zum Gegenstand der Philosophie machen. Eine Wissenschaft ist notwendig, welche durch entwicklungsgeschichtliche Begriffe und vergleichendes Verfahren die Systeme selbst zum Gegenstande hat.“ (Dilthey 1962 [1911], S. 234).

⁶⁵⁷ Vgl. Cassirer (1927/29), Rickert (1934), Heidegger (1938). Cassirer (1927/29) behandelt das Begriff des „Weltbilds“ in Bezug auf das Ergebnis eines Objektivierungsprozesses seitens des Erkenntnissubjekts und ohne lebensphilosophische Implikationen. Rickert (1934) teilt nicht der Meinung, dass eine wissenschaftliche Philosophie sich auf dieser Weise einschränken muss: „wenn auch die wissenschaftliche Philosophie nicht in der Lage ist, von sich aus dem Menschen eine inhaltlich bestimmte Weltanschauung zu geben [...] sie doch durchaus nicht darauf zu verzichten braucht, ihm auch in Weltanschauungsfragen außertheoretischer Art theoretische Klarheit zu verschaffen und damit Einfluß sogar auf sein praktisches Leben zu gewinnen. Als Wissenschaft, die es mit allem zu tun hat, was es in der Welt gibt, wird sie sich auch mit den außerwissenschaftlichen Weltanschauungen beschäftigen und so zu dem werden, was wir eine Weltanschauungslehre nennen können“ (S. 10; Vgl. auch S. 225 ff.). In Heidegger (1938) kommt die Verwandtschaft zwischen „Weltbild“ und „Weltanschauung“ ganz klar zum Ausdruck (vgl. z.B. S. 93 ff.: „Sobald die Welt zum Bilde wird, begreift sich die Stellung des Menschen als Weltanschauung“), und die Wissenschaft wird als wesentlicher Teil der modernen Weltbild/Weltanschauung aufgefasst (vgl. S. 94).

Dimensionen der „Weltanschauungslehre“, der „Weltanschauungspsychologie“ und der „Wissensoziologie“⁶⁵⁸, in denen Weltbilder und Weltanschauungen allmählich als vorläufige, geschichtliche, psychologische, kulturelle und kulturanthropologische Konstrukte relativiert wurden.

Trotzdem kann man in Bezug auf die Begriffe „Weltbild“ und „Weltanschauung“ ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einen gewissen Verfall diagnostizieren: sie werden langsam zu Modewörtern, sie werden inflationär und immer ungenauer in den intellektuellen und in den populärwissenschaftlichen Diskursen (also im Bereich der schon behandelten populärwissenschaftlichen Welterklärungen) verwendet – wobei dies insbesondere den Begriff der „Weltanschauung“ betrifft⁶⁵⁹.

Weltbilder und Weltanschauungen konnten leicht Ideologie-beladen werden, wie die semantische Konvergenz zwischen den Begriffen „Weltanschauung“ und „Ideologie“ suggeriert: Vom *Deutschen Wörterbuch* der Brüder Grimm (in der Ausgabe von 1955)⁶⁶⁰, über die rückblickende Reflexion der Wissensoziologie der 50er-60er Jahre des 21. Jahrhunderts⁶⁶¹, bis zur heutigen „Wikipedia“⁶⁶² – alle Quellen weisen darauf hin, dass die Bedeutungen der zwei Begriffe gerade ab der Jahrhundertwende um 1900 und bis heute die Tendenz gezeigt haben, sich zu überlagern:

Ideologien geben eine Gesamtdeutung der Welt. Sie stellen Wahrheiten von universeller Tragweite auf. Sie wollen eine Gesamtorientierung im Leben und eine Sicherheit im Verhalten erreichen, indem sie Normen und Direktiven für die Lebensgestaltung anbieten. Solche nicht widerlegbaren und dogmatischen Systeme aber, die auf letztlich unkontrollierbaren Glaubenssätzen füssen, heißen „Weltanschauungen“.

⁶⁵⁸ Vgl. Jaspers (1960 [1919]), Scheler (1963 [1922]) und Mannheim (1929). In Jaspers (1960 [1919]) wird die Psychologie der Weltanschauungen „im Gegensatz zur prophetischen Philosophie charakterisiert“ (Vgl. S. 5 und die Einleitung im Allgemeinen), und „die“ Weltanschauung wird in verschiedenen psychologischen „Einstellungen“ (aktive, kontemplative...) ausgelöst. Im Kap. II bietet Jaspers auch eine „Psychologie der Weltbilder“ an, bei der auch verschiedene „Typen“ von Weltbildern klassifiziert werden. Scheler und Mannheim werde ich demnächst kurz in Betracht ziehen, und zwar in Zusammenhang mit der ideologischen Färbung des Begriffes „Weltanschauung“.

⁶⁵⁹ „Die Widersprüche im Konzept ‘Weltanschauung’ führen [...] auch nach 1920 zu seinem raschen Verfall, der Begriff sinkt, wie seine exzessive Verwendung im Schrifttum des Nazionalsozialismus zeigt, in den Sprachgebrauch der Pseudointellektuellen und Halbgebildeten ab“ (*Historisches Wörterbuch der Philosophie*, S. 457). Vgl. auch Meier (1967), Kap. V: „‘Weltanschauung’ als Lebensform und aus dem Irrationalen begründete Gesinnung im Prozess des Verfalls zu Bekenntnis und Ideologie“. Denselben Hinweis (auch wenn nicht vom „Verfall“ die Rede ist) bekommt man vom *Wörterbuch von J. und W. Grimm*, in dem außerdem verschiedene kritische Äußerungen zu dem „Modewort“ wiedergegeben werden, die schon ab der Mitte des 19. Jahrhunderts fallen lassen wurden.

⁶⁶⁰ *Deutsches Wörterbuch von Jacob und Wilhelm Grimm*, bearbeitet von A. Götze, Leipzig (1955): vgl. die Stichwörter „Weltanschaulich“ und „Weltanschauung“ (3.b)

⁶⁶¹ Vgl. Meier (1967), S. 216-222.

⁶⁶² Vgl. das Stichwort „Ideologie“: „Im allgemeinen Sprachgebrauch ist Ideologie ein System von Ideen, Vorstellungen, Werturteilen und Begriffen und kann synonym zu ‚Weltanschauung‘ Verwendung finden“ (Wikipedia, Stand: 15.02.2013; meine Hervorhebung).

Ideologien sind demnach weltanschaulich fundiert, weil es ihnen um die Antworten auf die Lebensfragen geht, und weil sie aus moralischer und politischer Wertung Impulse auf die Wirklichkeit der Lebenspraxis ausüben.⁶⁶³

Dem Ursprung dieser begrifflichen Konvergenz zwischen „Weltanschauung“ und „Ideologie“ entsprechen bestimmte historische und ideengeschichtliche Vorkommnisse der Jahrzehnte um 1900. Schon im späten 19. Jh. wurden Träger von „Weltanschauungen“ eher Kollektive als Individuen – trotz des Andauerns im Begriffe der subjektiven Merkmale des Irrationalen und der Lebensorientierung⁶⁶⁴. Bei der Entstehung der Massenparteien bestanden solche Kollektive offensichtlich auch aus politischen Lagern: daher kann man die politischen Lager als „konkurrierende Weltanschauungen“ bezeichnen⁶⁶⁵.

„Weltanschauungen“ von Kollektiven wurden schon nach dem ersten Weltkrieg zu Forschungsobjekten wissensoziologischer Arbeiten. Scheler z.B. (1963 [1922]) fasst den Begriff „Weltanschauung“ „soziologisch“ auf: „In diesem Sinne hat jeder Mensch, haben jeder Beruf, jede Klasse, jeder Stand, jede Nation ihre ‚Weltanschauung‘“ (S. 7). Er unterscheidet auch zwischen „natürlichen Weltanschauungen“ und „Bildungsweltanschauungen“,

die durch bewußte geistige Tätigkeit erzeugt werden und nach dem Gesetze von „wenigen“ persönlichen Führern und Vorbildern und „vielen“ Nachfolgern und Imitatoren sich verbreiten und Macht gewinnen.⁶⁶⁶

Damit wird der Begriff „Weltanschauung“ durch die Möglichkeit einer „Manipulierbarkeit“ charakterisiert; der Begriff „Ideologie“ taucht kurz danach auf, in Zusammenhang mit dem Hinweis auf eine soziologische Erklärung der Verbreitung des Marxismus⁶⁶⁷. Ein soziologischer Ansatz zum Begriff von „Ideologie“ und eine kritische, distanzierte Analyse dieses Begriffes findet man auch in Mannheim (1929). Hier stellt Mannheim die Kämpfe

⁶⁶³ Meier (1967), S. 218.

⁶⁶⁴ Der subjektive Charakter von „Weltanschauung“ und ihre Kollektivierung werden sowohl im *Historischen Wörterbuch der Philosophie* (vgl. S. 457) als auch in Meier (1967, vgl. S. 222) anscheinend als Aporie empfunden, während die Tatsache aus historischer Perspektive vielleicht verständlich wird, wenn man die romantische Auffassung vom „Subjekt“ (das sowohl als individuelle „Genie“, als auch als „Nation“ verherrlicht wurde) in Betracht zieht.

⁶⁶⁵ Der schon erwähnte Ausdruck ist von Kuprian (1997), S. 22.

⁶⁶⁶ Scheler (1963 [1922]), S. 16.

⁶⁶⁷ Scheler (1963 [1922]), S. 24. Das Werk von Scheler enthält z.B. auch noch einen Teil über „Nation und Weltanschauung“ und einen über „Arbeit und Weltanschauung“, in denen der Begriff „Ideologie“ und Hinweise auf die Politik natürlich zentral werden.

zwischen modernen Parteien als Konflikte von „Weltwollen“, „Denkstilen“, „Weltauslegungen“, „Welterklärungen“, „Weltbildern“⁶⁶⁸ dar.

In dem Zeitraum zwischen der Mitte des 19. Jahrhunderts und dem Ersten Weltkrieg gehörten also „Weltbilder“ und „Weltanschauungen“ einem kulturellen und gesellschaftlichen Kontext an, der eine gewisse „Kontamination“ zwischen Naturwissenschaft und Politik begünstigte. Ab dem Anfang des 20. Jahrhunderts an waren aber auch ein Bewusstsein für solche „Kontamination“ und eine kritische Distanz gegenüber „Welterklärungen“ vor allem in den Geisteswissenschaften⁶⁶⁹ vorhanden.

⁶⁶⁸ Vgl. Mannheim (1929), S. 17ff. Eine spätere soziologische Untersuchung der modernen (vom 19. Jh. an) „Ideologien“ findet man in Brunner (1956), in dem der Autor sie als „Gebilde eigentümlicher Art von mannigfachem Aufbau“ bezeichnet: „sie enthalten wissenschaftliche Sätze, richtige Aussagen über tatsächliche Verhältnisse oder solche, die es doch sein möchten, Feststellungen von wirklichen und vermeintlichen Fakten; sie enthalten metaphysischen Sinndeutungen, Wertungen, politische Forderungen“ (S. 201).

⁶⁶⁹ Und nicht nur in den Geisteswissenschaften, sondern auch in der Literatur: „Denken Sie nur, wenn Therese am Ende eingesehen hätte, daß ein vernünftiger Mensch sich nie und nimmer einer Partei anschließen kann! Oder wenn ich ihr hätte zugestehen müssen, daß meine Parteilosigkeit einen Mangel an Weltanschauung bedeute, wie sie behauptete! [...] Was sagen Sie übrigens zu diesem Gerede von Weltanschauung? Wie wenn Weltanschauung etwas anderes wäre als der Wille und die Fähigkeit, die Welt wirklich zu sehen, das heißt, anzuschauen, ohne durch eine vorgefaßte Meinung verwirrt zu sein, ohne den Drang, aus einer Erfahrung gleich ein neues Gesetz abzuleiten, oder sie in ein bestehendes einzufügen. Aber den Leuten ist Weltanschauung nichts als eine höhere Art von Gesinnungstüchtigkeit – Gesinnungstüchtigkeit innerhalb des Unendlichen sozusagen. [...] Man muß wahrhaftig kein Philosoph sein, um Weltanschauung zu haben...vielleicht darf man's nicht einmal sein. [...]“ (Schnitzler 2000 [1908], S. 300-301).

6. Die Entstehung des wissenschaftlichen Determinismusbegriffs im weltanschaulichen Kontext (zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts)

a. Die Physiologen

Wie schon bemerkt (vgl. oben, Kap. 2, Schluss), beinhaltete der (implizite) wissenschaftliche Determinismus von Anfang an das Potenzial, aufgrund seiner Wissenschaftlichkeit derart verallgemeinert zu werden, dass er zu einem Weltbild oder zu einer Weltanschauung hätte werden können. Nur: erstens zirkulierten mathematische und physikalische Arbeiten bis ins 19. Jahrhundert nur innerhalb eines eingeschränkten Kreises von Fachleuten: somit war die Frage nach der Bedeutung des wissenschaftlichen Determinismus für (damals!) außerwissenschaftliche Gebiete weniger dringend als in einer Zeit der Wissenschaftspopularisierung und der öffentlichen Relevanz der Naturwissenschaften. Zweitens waren Versuche, den (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus zu einer mechanistischen Weltanschauung zu verallgemeinern, z.B. die Versuche von La Mettrie und D'Holbach, durch einen philosophischen Dualismus blockiert worden (z.B. von der cartesischen Unterscheidung *res cogitans* vs. *res extensa*, oder von der kantischen Unterscheidung zwischen dem Gebiet der reinen und jenem der praktischen Vernunft⁶⁷⁰), der den Bereich der lebendigen Organismen, der menschlichen Freiheit und der sozialen Handlungen dem Geltungsanspruch der deterministischen Wissenschaft entziehen konnte.

Im 19. Jh. werden aber die Versuche erfolgreicher, den wissenschaftlichen Determinismus weit über die Mechanik hinaus zu erstrecken. Im vorigen Kapitel haben wir schon gesehen, wie der Anspruch auf Wissenschaftlichkeit der neuen Sozialwissenschaften und der Geschichte (Buckle) teilweise mit einer deterministischen Auffassung historischer und sozialer Prozesse verbunden war (vgl. oben, §4.b). In derselben Zeit (um die Mitte des 19. Jahrhunderts) wird der Begriff des *déterminisme scientifique* in einem Kontext explizit, in dem der Geltungsanspruch des wissenschaftlichen Determinismus auf das Gebiet der physiologischen Prozesse, d.h. auf das Gebiet des Lebendigen, erfolgreich erstreckt wird. Dies war offensichtlich eine – vielleicht die wichtigste – Entwicklung, die zur

⁶⁷⁰ Neben dieser Art Dualismus, die schon oben (vgl. Kap. 2, Schluss) erwähnt wurde, spielte auch die Idee einer prinzipiellen Grenze der Naturerkenntnis, die im späten 19. Jh. durch eine berühmte Rede von Du Bois-Reymond (vgl. weiter unten in diesem Absatz) wieder aktuell werden musste, schon bei Newton (vgl. Wahsner 2007, insb. S. 39-42) und bei der Aufklärung (vgl. Mensching 2007) eine Rolle hinsichtlich der Verhinderung einer uneingeschränkten Verallgemeinerung der Gültigkeit des wissenschaftlichen Determinismus.

„Verweltanschaulichung“ des wissenschaftlichen Determinismus entscheidend beitrug, sowie dazu, dass er zu einer nicht mehr namenlosen, sondern öffentlich erkennbaren Stellungnahme wurde. Die Bedeutung dieser Neuigkeit hat auch Troeltsch in seiner rückblickenden Analyse über „Die Einzelwissenschaften und die Philosophie des 19. Jahrhunderts“ bemerkt:

Freilich sind [...] manche alte Grundbegriffe der klassischen Mechanik, wie das Gesetz der Trägheit und der Invarianz der Materie, erschüttert worden und mußte der Kausalitätsbegriff immer neu der Wirklichkeit angepaßt werden. Aber die erkenntnistheoretischen und philosophischen Wirkungen dieser Erschütterungen sind noch nicht allgemein fühlbar geworden und haben den klassischen Naturbegriff noch nicht verändert. *Dagegen ist von der höchsten, allgemeinen Bedeutung geworden die Übertragung der mechanischen Begriffe auf die Biologie und die Entwicklung der Organismen*, womit die früher dem modernen Naturbegriff noch nicht zugängliche Welt des Lebens von ihm jetzt gleichfalls in Besitz genommen wurde⁶⁷¹.

Voraussetzung dieser Übertragung des Mechanismus auf die belebten Organismen war die Distanzierung einiger Biologen und v.a. Physiologen in Deutschland und – mit Verzögerung – in Frankreich von der idealistischen Naturphilosophie und von dem Vitalismus des frühen 19. Jahrhunderts⁶⁷². Die Figur des Physiologen und Anatomen Johannes Müller (1801-58) markiert diese Wende im deutschsprachigen Raum⁶⁷³. Er verabschiedete sich von der idealistischen Naturphilosophie, auch wenn er immer noch an die Notwendigkeit spezifischer, „lebendiger“ Kräfte für die Erklärung biologischer Prozesse glaubte. Seine, in der neuen *experimentellen* Physiologie trainierten Schüler nahmen aber entschlossen den Weg einer ausschließlich chemisch-physikalischen Auslegung physiologischer Prozesse. Theodor Schwann (1810-82), Miterfinder (gemeinsam mit Matthias Schleiden) der Zelltheorie, engagierte sich explizit für einen ausschließlich physikalisch-chemischen Ansatz zur Physiologie: Wichtig für unsere Zwecke, indem wir uns den mathematischen Charakter des wissenschaftlichen Determinismus vor Augen halten (vgl. oben, Kap. 2), sind folgende Worte von ihm, die Mendelsohn auf Englisch wiedergibt:

⁶⁷¹ Troeltsch (1981 [1925]), S. 626; meine Hervorhebung.

⁶⁷² Noch immer gute bibliographische Bezugspunkte, um diesen Prozess zu verstehen, sind die Studien von Owsei Temkin und von Everett Mendelsohn, insb. Temkin (1946) und Mendelsohn (1965).

⁶⁷³ „Müller emerges as a towering figure in physiology, not so much for his own scientific discoveries, as for the training he provided to a whole generation of men who went on themselves to carry out new physiological experimentation and even more importantly, to occupy the professorships in physiology at many of the German, Austrian and Swiss universities“ (Mendelsohn 1965, S. 204).

„The physical approach which *I introduced* into physiology and essentially the search for a real [*wirkliche*] explanation of the phenomena [... DR] was unknown to Johannes Müller. [... DR] The first thing I published along this line was the research on the relationship between the force of a muscle and its degree of contraction [... DR] To my knowledge this was *the first time that a clearly vital process had been mathematically treated and included in a numerically expressed law*“⁶⁷⁴

Noch aussagekräftiger in Bezug auf den wissenschaftlichen Determinismus sind folgende Worte von Schwann – wieder von Mendelsohn auf Englisch zitiert:

„when speaking of a physical explanation of organic phenomena, *it is not necessary* to understand an explanation by known physical powers ... but an explanation by means of powers which operate *like* physical powers, *in accordance with strict laws of blind necessity, whether they are also to be found in inorganic nature or not*“⁶⁷⁵

Dieses Zitat unterstützt noch einmal meine These, laut der der wissenschaftliche Determinismus trotz seiner sehr engen Verwandtschaft mit Materialismus und Mechanismus mit diesen letzten nicht ganz identifiziert werden kann: Schwann vertritt hier nämlich einen Determinismus („strict laws of blind necessity“), der von einer vollkommenen Reduktion organischer Prozesse auf materielle bzw. mechanistische (physikalische) Phänomene eigentlich unabhängig ist („it is not necessary...“, „whether... or not“), und der eher aus der Zurückführung physiologischer Prozesse auf mathematisch formulierte Gesetze bestand.

Auch Hermann von Helmholtz (1821-1894) war Schüler von Johannes Müller⁶⁷⁶ und spielte bei der Etablierung des chemisch-physikalischen Ansatzes in der Physiologie eine zentrale Rolle⁶⁷⁷. Sein im Jahr 1847 erschienener Aufsatz *Über die Erhaltung der Kraft*, in dem der erste Hauptsatz der Thermodynamik formuliert wird, impliziert ein Forschungsprogramm der Vereinheitlichung des physikalischen und des biologischen Bereichs auf mechanistischen Grundlagen, und liefert ein starkes Argument gegen den Vitalismus, indem die Annahme der Existenz jeglicher „Lebenskraft“ laut Helmholtz dem Gesetz der Erhaltung der Kraft (der

⁶⁷⁴ Theodor Schwann im Jahr 1858, zit. in Mendelsohn (1965), S. 210; meine Hervorhebung.

⁶⁷⁵ Theodor Schwann im Jahr 1839 (Englische Übersetzung 1847), zit. in Mendelsohn (1965), S. 213; meine Hervorhebungen.

⁶⁷⁶ Vgl. Schieman (1997), S. 173 und Mendelsohn (1965), S. 208.

⁶⁷⁷ „Eindeutiger als in der Physik, deren Wandel zur Laborwissenschaft schon in den 30er Jahren [des 19. Jahrhunderts] eingesetzt hatte, war Helmholtz in der Physiologie Bahnbrecher für eine neue Zeit. Für die Durchsetzung ihrer bis heute charakteristischen Ausrichtung auf physikalische und chemische Fragestellungen ist er zum Sinnbild geworden“ (Schieman 1997, S. 165). 1848 fing Helmholtz seine Karriere als Physiologe mit einer Professur für Physiologie in Berlin an. Nach weiteren Berufungen an unterschiedlichen deutschen Universitäten für den Physiologie-Lehrstuhl wechselte er 1870 zum Lehrstuhl für Physik in Berlin.

Energie) widerspreche⁶⁷⁸. Interessant in Bezug auf die Rolle der Mathematik ist die Tatsache, dass dieses wichtige Werk bei der ersten Einreichung (bei den *Annalen der Physik und Chemie*) mit der Begründung abgelehnt wurde, dass Helmholtz eine Eingenommenheit für Mathematik habe, und dass er eben mittels der Mathematik die an sich getrennten Bereiche der experimentellen und der mathematischen Physik zusammenbringen wolle⁶⁷⁹.

Ein physikalistischer Ansatz zur Physiologie charakterisierte seine darauffolgende Arbeit in diesem Bereich, derer wichtigsten Ergebnisse in den zwei großen Monographien, *Handbuch der physiologischen Optik* (1856 bis 1867 erschienen) und *Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1863) enthalten sind. Bei einer Jahrhundertfeier an der University of Michigan wird der mathematische Charakter der helmholtzschen biologischen Untersuchungen noch immer besonders hervorgehoben:

Helmholtz applied rigorously to biological problems the methods of physical science and mathematical reasoning. [...] Were one to attempt to characterize in a few words his extraordinary range of researches, one would say that Helmholtz brought biological and physical problems under the dominion of mathematical formulas and methods. The role of the mathematical formulation and treatment of physical problems can not be overestimated⁶⁸⁰

Jener chemisch-physikalische Ansatz zum Organischen, der den wissenschaftlichen Determinismusbegriff ans Licht bringt, beruht also vermutlich auch bei Helmholtz eher auf der Anwendung der Mathematik in der Physiologie als auf einem Materialismus (den er

⁶⁷⁸ Vgl. Schieman (1997), S. 158-159 und Hörz – Wollgast (1986), S. 43-44. Weiszäcker (1944) schreibt in Bezug auf den Satz der Erhaltung der Energie: „Er ist aus der Physik hervorgegangen und hat sich in der Physik zuerst bewährt. Seine Anwendung auf andere Erfahrungsbereiche ist daher vielfach als der erste Schritt zu einer grundsätzlichen Unterwerfung dieser Bereiche unter die physikalische Denkweise empfunden worden. [...] Er ist nicht wie der größere Teil der ‚klassischen Physik‘ auf einen bestimmten ‚Geltungsbereich‘ eingeschränkt worden“ (S. 52), und: „[...] gerade der Energiesatz [hat] am meisten zur Ausbreitung derjenigen ‚mechanischen‘ Naturauffassung‘ beigetragen, die der Meinung war, alle Phänomene der beobachtbaren Natur würden durch rein mechanische Wirkungen der kleinsten Teile der Materie (und des hypothetischen Äthers) hervorgebracht; ja eine physikalische Theorie stelle noch keine wirkliche Erklärung der von ihr behandelten Erscheinungen dar, solange sie diese Erscheinungen nicht auf Mechanik zurückgeführt habe“ (S. 59).

⁶⁷⁹ Vgl. Karpinski (1921), S. 26.

⁶⁸⁰ Karpinski (1921), S. 24-25. Vgl. auch Hörz – Wollgast (1986, S. 11): „Helmholtz dehnte seine Untersuchungsgebiete immer weiter aus. Dabei halfen ihm sein mathematisches Können und sein Sinn für allgemeine grundlegende Gesetzmäßigkeiten“. Und weiter: „Er [Helmholtz] definiert das Gesetz als ‚das gleichbleibende Verhältnis zwischen veränderlichen Größen‘. Das Gesetz ist für Helmholtz eine mathematische Funktion. [...] Konnte man [...] alle Naturwissenschaften auf Mechanik zurückführen, so ließen sich auch alle Naturgesetze auf mechanische Gesetze reduzieren und konnten mathematisch ausgedrückt werden“ (*Ibidem*, S. 32).

nicht eindeutig vertrat⁶⁸¹) oder auf einem Mechanismus (den er sehr wohl vertrat, den er aber ab den 1870er Jahren in eine nicht-realistische Richtung entwickelte⁶⁸²).

Auch Emil Du Bois-Reymond (1818-96), wie Schramm und Helmholtz, gehörte zu jenen Schülern von Müller, die auf dem jeweiligen Spezialgebiet (im Fall von Du Bois-Reymond die Elektrophysiologie) versuchten, „die Lebenskraft vollends zu verscheuchen“⁶⁸³. Im Rahmen seiner Untersuchungen über die tierische Elektrizität in Nerven und Muskeln investierte er z.B. viel Zeit und Arbeit in die Perfektionierung seines Galvanometers, um unbedingt dieses physikalische Instrument statt des damals üblichen organischen „rheoskopischen Frosches“ als Messinstrument benutzen zu können: durch die Ersetzung eines organischen Messinstruments durch ein rein physikalisches wollte er hervorheben, dass Elektrizität in belebten und unbelebten Körpern dieselbe Natur hat⁶⁸⁴.

Helmholtz und Du Bois-Reymond waren *public men*: sie wurden auch als öffentliche Redner sehr berühmt⁶⁸⁵, sie äußerten sich zu bildungspolitischen Fragen (v.a. um die Naturwissenschaften innerhalb der Bildung zu stärken)⁶⁸⁶, sie engagierten sich in der Wissenschaftspopularisierung⁶⁸⁷, sie lösten heftige Debatten in der Öffentlichkeit aus⁶⁸⁸ und ihre Tätigkeit wurde sogar im literarischen Milieu rezipiert⁶⁸⁹. Ihre anti-vitalistischen,

⁶⁸¹ Vgl. Schiemann (1997), S. 172.

⁶⁸² Vgl. Schiemann (1997), Teil B.III.

⁶⁸³ Hörz – Wollgast (1986), S. 19. Du Bois-Reymond und Helmholtz waren sehr eng befreundet und haben sich lebenslang auch in der wissenschaftlichen Karriere gegenseitig sehr großzügig unterstützt: vgl. Kirsten (Hrsg. 1986) und Hörz – Wollgast (1986), § 3. Die Hauptergebnisse von Du Bois-Reymond in jener Disziplin, der Elektrophysiologie, der er zur Etablierung verhalf, sind in seinem Lebenswerk *Untersuchungen über die tierische Elektrizität* (in drei Bänden, jeweils 1848, 1849 und 1884 veröffentlicht) enthalten und in Finkelstein (2003) von ihrem experimentellen Ursprung aus rekonstruiert.

⁶⁸⁴ Vgl. Finkelstein (2003), S. 266-72. Darüber hinaus gestaltete er Experimente mit Menschen (inklusive sich selbst): „Since he wished to show that life obeyed the laws of physics, what better place than in the body of the only creature deemed to possess a soul? To his mind, an experiment in a conscious subject would render absolutely plain the identity of nerve currents and electricity” (*Ibidem*, S. 281).

⁶⁸⁵ Vgl. z.B. Finkelstein (2003, S. 263) in Bezug auf Du Bois-Reymond: „his portrait could be seen for sale in the shop windows of Berlin next to those of Helmholtz, Mommsen, Virchow, Bismark and the royal family“.

⁶⁸⁶ Vgl. Hörz – Wollgast (1986), § 8. Bemerkenswert ist die programmatische Aussage von Du Bois-Reymond für eine Reform der Bildung: „Kegelschnitte! Kein griechisches Skriptum mehr“ (zit. in: Hörz – Wollgast 1986, S. 56).

⁶⁸⁷ “Du Bois-Reymond is an extremely important figure to historians of science as one of those rare figures who moved with equal ease between laboratory and podium” (Finkelstein 2003, S. 264). “[Du Bois-Reymond] hielt – vornehmlich vor der Akademie der Wissenschaften zu Berlin – in Inhalt und Form geschliffene Reden, in denen er sich zur materialistischen Tradition in der Geschichte des Denkens bekannte, atheistische Auffassungen vertrat und für eine bessere naturwissenschaftliche Ausbildung kämpfte” (Hörz – Wollgast 1986, S. 11). “Helmholtz prepared popular expositions for general audiences of the results of his own and allied researches. These popular expositions attracted in print a great circle of readers [...]” (Karpinski 1921, S. 32).

⁶⁸⁸ Beispiele davon sind die Empörung, die das öffentliche Bekenntnis zum Materialismus von Du Bois-Reymond in einigen religiösen und konservativen Kreisen auslöste (Hörz – Wollgast 1986, S. 28 und 32-33) und der nationalistische, öffentlich geführte Streit, in den die Konfrontation zwischen Du Bois-Reymond und den französischen Naturwissenschaftlern der *Académie des Sciences* mündete (vgl. Finkelstein 2003, S. 284ff.).

⁶⁸⁹ Vgl. z.B. die Darstellung eines Experiments von Du Bois-Reymond im Roman *A Strange Story* von Sir Edward Bulwer Lytton (Finkelstein 2003, S. 295-296).

materialistischen (im Fall von Du Bois-Reymond) und mechanistischen (im Fall von Helmholtz⁶⁹⁰) Ansichten vertraten sie nicht nur in ihrer wissenschaftlichen Arbeit, sondern auch in der Öffentlichkeit, die sie im großen Ausmaß rezipierte. 1865 führte Helmholtz die erste Auflage seiner *Populären Wissenschaftlichen Vorträge* mit folgenden Worten ein:

Mannigfachen Anfragen Folge leistend, erlaube ich mir hier den Anfang einer Reihe von populären Vorlesungen, die ich bei verschiedenen Gelegenheiten gehalten habe, dem Publicum vorzulegen. Sie sind für Leser berechnet, welche, ohne selbst sich fachmässig mit naturwissenschaftlichen Studien zu beschäftigen, doch für die wissenschaftlichen Resultate dieser Studien interessirt sind⁶⁹¹

Bis 1896 wird dieses Werk erweitert und noch dreimal veröffentlicht⁶⁹². Seinem nicht-fachlichen, wissensbedürftigen Publikum bietet Helmholtz Texte an, in denen er den Gebiet der Physik und der Physiologie oft überschreitet – er schreibt über Goethe und Schiller, über Kant und Hegel sowie über Musik, und über „Eis und Gletscher“⁶⁹³. „Hauptinteresse und Hauptbedürfniss“ des Autors sind dabei „die Tragweite der *Naturgesetze und ihre Beziehungen zu den geistigen Thätigkeiten des Menschen* anschaulich zu machen“⁶⁹⁴. Im Kausalitätsbegriff sieht Helmholtz tatsächlich das Wesen der Naturwissenschaft, denn „Wissenschaft entsteht erst, wenn sich ihr [d.h. der Tatsache] Gesetz und ihre Ursachen enthüllen“⁶⁹⁵.

Du Bois-Reymond, der dem französischen Materialisten La Mettrie eine ganze Akademierede widmete und seine materialistische und wissenschaftliche Weltanschauung in der Öffentlichkeit gegen „Gouvernantenmoral und Priesterfanatismus“ vertrat⁶⁹⁶, behauptete in einer öffentlichen Rede:

⁶⁹⁰ Unter Berücksichtigung der Veränderung des Mechanismus von Helmholtz, die in Schieman (1997) dokumentiert wird.

⁶⁹¹ Helmholtz (2002 [1896]), S. V.

⁶⁹² 1884 nennt der Autor sein Werk *Vorträge und Reden* um. 1896 erscheint die vierte Auflage *posthum*.

⁶⁹³ Helmholtz (2002 [1896]), S. 231 ff. Über den Charakter der öffentlichen Vorträge von Helmholtz schreibt Schieman (1997, S. 167): „Die Vorträge gehen [...] auch über die Thematik seiner eigenen Forschungen hinaus. Sie entwickeln Ansätze zu einer naturwissenschaftlichen Weltdeutung, reflektieren auf die Geschichte der Naturwissenschaften, suchen das Verhältnis von Natur- und Geisteswissenschaften zu klären und formulieren Aufgaben und Ziele für die Wissenschaften insgesamt“.

⁶⁹⁴ Helmholtz, „Vorrede zur ersten Auflage (1865)“, in Helmholtz (2002 [1896]), S. VI; meine Hervorhebung.

⁶⁹⁵ „Über das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft“ (1862), in: Helmholtz (2002 [1896]), S. 169. „Der Natur gegenüber besteht kein Zweifel, dass wir es mit einem ganz strengen Causalnexus zu thun haben, der *keine Ausnahmen* zulässt“ (Helmholtz 2002 [1896], S. 178; meine Hervorhebung). Vgl. auch „Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft. Eröffnungsrede für die Naturforscherversammlung zu Innsbruck“ (1869), in: Helmholtz (2002 [1896]), S. 374-75. Über die Position von Helmholtz in Bezug auf die Bildung und die wichtige Rolle, die die Kausalität in seiner Position spielt, vgl. Coen (2007), S. 237.

⁶⁹⁶ Vgl. Hörz – Wollgast (1986), S. 33. Die öffentlichen Vorträge und Reden von Du Bois-Reymond sind in Du Bois-Reymond (1912 [1886/87]) und Du Bois-Reymond (1974) enthalten.

Die wenn auch nur in der Ferne gezeigte Möglichkeit, die scheinbare Zweckmäßigkeit aus der Natur zu verbannen und *überall blinde Notwendigkeit* an Stelle von Endursachen zu setzen, erscheint ... als einer der größten Fortschritte in der Gedankenwelt [...] ⁶⁹⁷

Du Bois-Reymond bekämpfte den Vitalismus, sowie später den Neovitalismus, öffentlich und sein Leben lang ⁶⁹⁸. In seiner 1869 gehaltene Rektoratsrede an der Universität Berlin kam er zu folgender vergleichenden Einschätzung der Physiologie in Deutschland und in Frankreich:

In Deutschland wird seit zwanzig Jahren die Physiologie nur noch als Physik und Chemie der Lebewesen aufgefaßt, bearbeitet, gelehrt, und die Physiologen fühlen sich als Physiker und Chemiker, die nur nach einer besonderen Richtung hin arbeiten. Dagegen vermag in Frankreich die Physiologie noch immer nicht sich über die Nebel eines wenn auch verschämten Vitalismus zu erheben; sie hat die von der reinen Physik und Chemie ausgegangene Wandlung nicht durchgemacht, durch welche sie bei uns der Idee nach die letzte Stufe erklimm; ihre Jünger halten sich für etwas ganz anderes als nur für Physiker und Chemiker eigener Art. ⁶⁹⁹

Anscheinend entwickelte sich der physikalische Ansatz zur organischen Welt – der eine Voraussetzung für die Erstreckung des wissenschaftlichen Determinismus auf diese letzte ist – in Frankreich nur mit Verzögerung ⁷⁰⁰. In derselben Zeit, in der Laplace seine berühmte Darstellung des Determinismus lieferte, entzog sein Zeitgenosse, berühmter Anatom und Physiologe Xavier Bichat (1771-1802) explizit die organischen Phänomene dem Determinismus: Er behauptete, dass die belebten Körper in Unterschied zu den Unbelebten sich der Möglichkeit der Voraussage und der Berechnung entziehen würden, ja dass die Mathematik auf die belebten Körper überhaupt unanwendbar sei ⁷⁰¹.

⁶⁹⁷ Zit. in: Hörz – Wollgast (1986), S. 35; meine Hervorhebung.

⁶⁹⁸ Der frühere Vitalismus, vertreten z.B. von Lorenz Oken, war derjenige, der mit der idealistischen Naturphilosophie verbunden war (vgl. Mendelsohn 1965, S. 204-206). Noch gegen Ende seiner Karriere und seines Lebens bekämpfte aber Du Bois-Reymond auch den Neovitalismus z.B. von Drietsch (vgl. Hörz – Wollgast 1986, S. 42).

⁶⁹⁹ Du Bois-Reymond, „Über Universitätseinrichtungen. In der Aula der Berliner Universität am 15. Oktober 1869 gehaltene Rektoratsrede“, zit. in: Finkelstein (2003), S. 297.

⁷⁰⁰ Temkin (1946) hebt den Unterschied zwischen deutscher und französischer Physiologie hervor: die erste wäre weithin reduktionistisch gewesen, während die zweite sich lange von der Vorstellung nicht verabschieden konnte, dass organische Prozesse nicht bloß physikalisch-chemische Phänomene seien, sondern auch spezielle biologische Gesetze gehorchen würden. Diese Auffassung wird von Mendelsohn (1965, S. 214) geteilt: „Not all German physiology followed Schwann's lead in insisting on physical explanations and only physical explanations for biological phenomena, but a large enough group adopted this approach in their experimentation and theory building, so that mid-nineteenth-century German physiology gave the impression of being reductionist. During this very same period, French physiology emerged with an alternate series of explanatory models which not only left room for, but insisted upon, the role of special biological causes, laws, or forces. I have not yet reached any conclusions about the sources of this difference in the approach [...]“. Vgl. auch Finkelstein (2003, S. 298).

⁷⁰¹ Vgl. Hacking (1983, S. 463): „In 1795 Laplace gave his famous introductory lectures on probability that became his *Essai philosophique sur les probabilités*. Laplace told his audience that for a being with sufficient knowledge of general laws, and a temporal slice of the universe, everything else would be completely

Auch anhand des großen Einflusses von Bichat auf die folgende französische Physiologie, ist es verwunderlich, dass gerade ein französischer Physiologe, und zwar der schon erwähnte Claude Bernard (1813-78), den Begriff des *déterminisme scientifique* explizit, bewusst, und in Bezug auf die Physiologie einführt⁷⁰². Der ebenfalls einflussreiche französische Physiologe begleitete seine naturwissenschaftliche Arbeit mit höchstinteressanten methodologischen und wissenschaftsphilosophischen Überlegungen, von denen die meisten in seinem Buch *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865) enthalten sind⁷⁰³. Laut Bernard können die Phänomene der belebten Körper (*phénomènes des corps vivants*) genauso wie diejenigen, die die unbelebten Körper betreffen, mit experimenteller Methode untersucht werden⁷⁰⁴. Die Untersuchung der belebten Körper hat nämlich denselben Zweck wie

predictable. In lectures in the School of Medicine across the street, Xavier Bichat [...] was to reject all of that: 'We calculate the fall of a heavy body, the motion of planets, the course of a river, the ascension of a projectile, and so forth [...] DR] On the other hand all the vital functions are susceptible of numerous variations. They are frequently out of their natural state; they defy every kind of calculation [...] DR]. It is impossible to foresee, predict or calculate anything with regard to their phenomena'. Diese Position von Bichat, sowie sein großer Einfluss auf die spätere französische Physiologie wird auch in Mendelsohn (1965, S. 214-215) dargestellt.

⁷⁰² Laut Israel (1991, S. 331) ist Claude Bernard überhaupt der erste, der von einem „wissenschaftlichen Determinismus“ sprach: Israel verweist nicht auf die mehrmals erwähnte Arbeit Hackings über den Determinismusbegriff, sondern auf Canguilhem, der in seinem *Le normal et le pathologique* (1966) berichtet: „Dans la leçon qu'il consacre à la vie et aux travaux de Magendie [...] DR] Cl. Bernard nous apprend que le maître dont il occupe la chaire et continue l'enseignement, puisait le sentiment de la véritable science' auprès de Laplace“ (zit. in Israel 1991, Fußnote 56). Claude Bernard war ab 1854 Professor für Physiologie an der Sorbonne und am Collège de France (über Leben und Werk von Bernard vgl. die Biographie von Olmsted (1938) sowie Dhurout (1941)). Seine wichtigsten Forschungsergebnisse betreffen die Rolle des Pankreas bei der Verdauung, die Funktion des Lebers mit Bezug auf das Glykogen, die vasomotorischen Nerven und die Auswirkungen des Kurares (über die frühere Arbeit von Bernard vgl. Holmes (1974). In Grande – Visscher (Hrsg. 1967) werden die wichtigsten Forschungsergebnisse von Claude Bernard und ihr Einfluss auf die spätere Forschung, sowie seine methodologische Überlegungen rekonstruiert. Für eine rein systematische Rekonstruktion des „Forschungsprogramms“ von Bernard im Bereich der Physiologie: vgl. Gendron (1992)).

⁷⁰³ Bernard (1966 [1865]). Das Buch schrieb Bernard während einer langen Genesungszeit, die ihn zu einer Unterbrechung seiner Laborarbeit zwang (vgl. Dhurout 1941, S. 10). Die Wissenschaftsphilosophie von Bernard wird u.a. in Olmsted – Olmsted (1952) und Grande – Visscher (eds. 1967) rekonstruiert und besprochen. Dhurout (1941) enthält einen interessanten Vortrag von Henri Bergson über die Philosophie von Bernard, den Bergson zur Jahrhundertfeier von Bernard (d.h. im Jahre 1913) am Collège de France hielt. Über Bergson und den Determinismus vgl. unten, Fußnote 852.

⁷⁰⁴ Bernard (1966 [1865]), Teil 2, Kap. 1. Die Titel der Absätze dieses Kapitels bieten eine gute Zusammenfassung seiner Inhalte (vgl. insb. die Absätze IV und V): „§ I. — La spontanéité des corps vivants ne s'oppose pas à l'emploi de l'expérimentation. § II. — Les manifestations des propriétés des corps vivants sont liées à l'existence de certains phénomènes physico-chimiques qui en règlent l'apparition. § III. — Les phénomènes physiologiques des organismes supérieurs se passent dans des milieux organiques intérieurs perfectionnés et doués de propriétés physico-chimiques constantes. § IV. — *Le but de l'expérimentation est le même dans l'étude des phénomènes des corps vivants et dans l'étude des phénomènes des corps bruts.* § V. — *Il y a un déterminisme absolu dans les conditions d'existence des phénomènes naturels, aussi bien dans les corps vivants que dans les corps bruts.* § VI. — Pour arriver au déterminisme des phénomènes dans les sciences biologiques comme dans les sciences physico-chimiques, il faut ramener les phénomènes à des conditions expérimentales définies et aussi simples que possible. § VII. Dans les corps vivants de même que dans les corps bruts, les phénomènes ont toujours une double condition d'existence. § VIII. — Dans les sciences biologiques comme dans les sciences physico-chimiques, le déterminisme est possible, parce que, dans les corps vivants comme dans les corps bruts, la matière ne peut avoir aucune spontanéité. § IX. — La limite de nos connaissances est la même dans les phénomènes des corps vivants et dans les phénomènes des corps bruts. § X. — Dans les

diejenige der unbelebten Körper, und zwar jenen „absoluten Determinismus“ ans Licht zu bringen, der in beiden Bereichen herrsche. Bernard präsentiert den Determinismus (den er als *criterium de la vérité*, und als *principe absolu de la science* bezeichnet⁷⁰⁵) als das identitätsstiftende Merkmal der Wissenschaftlichkeit:

il faut croire à la science, c'est-à-dire au déterminisme, au rapport *absolu et nécessaire* des choses, aussi bien dans les phénomènes propres aux êtres vivants que dans tous les autres⁷⁰⁶

[...] car l'admission d'un fait sans cause, c'est-à-dire indéterminable dans ces conditions d'existence, n'est ni plus ni moins que la négation de la science.⁷⁰⁷

Aufgrund seiner überzeugten Orientierung an einem „absoluten“ Determinismus äußerte sich Bernard gegen die im vorigen Kapitel besprochene „statistische Lavine“. Er scheint näher der deutschen als der französischen Einstellung zur Statistik gewesen zu sein, indem er z. B. meinte, dass statistische Sterblichkeitsziffer bezüglich einer gewissen Krankheit uninteressant für den Arzt seien, der sich um die deterministischen Ursachen kümmern sollte, die ein bestimmtes Individuum zur Heilung oder zum Tode bringen müssen: „echte“ Gesetze seien laut Bernard nur streng kausal, sonst seien sie überhaupt keine Gesetze⁷⁰⁸.

Der von mir stets hervorgehobene mathematische Kern des wissenschaftlichen Determinismus ist auch bei Bernard stark präsent:

En effet, le principe absolu des sciences expérimentales est un déterminisme nécessaire et conscient dans les conditions des phénomènes. De telle sorte qu'un phénomène naturel, quel qu'il soit, étant donné, jamais un expérimentateur ne pourra admettre qu'il y ait une variation dans l'expression de ce phénomène sans qu'en même temps il ne soit survenu des conditions nouvelles dans sa manifestation; de plus, il a la *certitude a priori* que ces variations sont déterminées par *des rapports rigoureux et mathématiques*. L'expérience ne fait que nous montrer la forme des phénomènes; mais le rapport d'un phénomène à une cause déterminée est *nécessaire et indépendant de l'expérience, et il est forcément mathématique et absolu*.⁷⁰⁹

sciences des corps vivants comme dans celles des corps bruts, l'expérimentateur ne crée rien; il ne fait qu'obéir aux lois de la nature.“ (meine Hervorhebung)

⁷⁰⁵ Bernard (1966 [1865]), S. 79 bzw. S. 89.

⁷⁰⁶ Bernard (1966 [1865]), S. 69. Meine Hervorhebungen.

⁷⁰⁷ Bernard (1966 [1865]), S. 90.

⁷⁰⁸ Vgl. Hacking (1990), S. 145.

⁷⁰⁹ Bernard (1966 [1865]), S. 89. Meine Hervorhebungen. Vgl. auch *ibidem.*, S. 108: "La loi nous donne le rapport numérique de l'effet à sa cause, et c'est là le but auquel s'arrête la science. Lorsqu'on possède la loi d'un phénomène, on connaît donc non-seulement le déterminisme absolu des conditions de son existence, mais on a encore les rapports qui sont relatifs à toutes ses variations, de sorte qu'on peut prédire les modifications de ce phénomène dans toutes les circonstances données“ (Meine Hervorhebungen).

Ganz gemäß der rationalistischen und mathematischen Tradition, aus der der (implizite) wissenschaftliche Determinismus entstand (vgl. oben, Kap. 2) vertritt Bernard den wissenschaftlichen Determinismus als eine *a priori* und von der Erfahrung unabhängige Gewissheit und hebt seinen mathematischen Charakter hervor: sein Determinismus besteht nicht „bloß“ aus einem Hinweis auf eine allgemeine Kausalität, sondern aus dem Hinweis auf notwendige mathematische Verhältnisse zwischen Phänomenen, die erlauben würden, bei jeden gegebenen Umständen die Entwicklung des jeweils untersuchten Phänomens vorauszuberechnen.

Ähnlich wie Quetelet und Buckle sich etwas früher auf eine Art Determinismus berufen hatten, um für die Wissenschaftlichkeit der *physique sociale* bzw. der Geschichte zu plädieren, untermauerte Bernard den wissenschaftlichen Status der Physiologie durch die Ablehnung des Vitalismus und die Erstreckung des Determinismus auf die belebten Körper.

Auch Bernard, wie Helmholtz und Du Bois-Reymond, wurde über sein Fachgebiet hinaus, d.h. in einem breiteren kulturellen Kontext, rezipiert: seine *Leçons de physiologie expérimentale appliquée à la médecine* befinden sich z.B. in der Liste der *Documents préparatoires des Rougon-Macquart* vom berühmten französischen Schriftsteller Emile Zola (1840-1902), der 1880 in seinem literaturkritischen Aufsatz *Le roman expérimental* über den Einfluss von Bernard und seiner *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* auf den eigenen Romanzyklus und allgemein auf seine eigene Auffassung des Genres des *roman scientifique* ausführlich berichtete⁷¹⁰. Hier bezeichnet Zola die *Introduction* von Bernard als den Ausgangspunkt seiner Auffassung des experimentellen Romans und widmet den ganzen ersten Teil seines Aufsatzes einer Zusammenfassung dieses Werks. Der experimentelle Roman sei „bloß“ eine Übertragung der von Bernard dargestellten experimentellen Methode auf die Literatur. Der Determinismus spielt bei dieser Übertragung eine zentrale Rolle: schon in den 1860er Jahren hatte Zola in Bezug auf die eigene literarische Arbeit geschrieben: „Par l'observation, par les nouvelles méthodes scientifiques, j'arrive à débrouiller le fil qui conduit mathématiquement d'un homme à un autre homme“⁷¹¹. Gerade im Aufsatz Zolas über *Le roman expérimental* findet man eine wunderbare Zusammenfassung der allmählichen

⁷¹⁰ Vgl. Conti – Irrera Conti (2003) und Küster (2008), insb. § 7.1. „1868, in dem Jahr, in dem Zola die wissenschaftlichen Grundlagen seines *Rougon-Macquart*- Zyklus legte, wurde Bernard in die Académie Française gewählt. Damit ehrte man nicht nur seine Arbeit als Wissenschaftler, sondern besonders den sprachlichen Stil, in dem seine wissenschaftlichen Werke verfasst sind. Indem Zola sich auf Claude Bernards *Introduction* beruft, wählt er also ein über die Fachgrenzen hinaus (zumindest dem Namen nach) bekanntes Werk“ (Küster 2008, S. 253).

⁷¹¹ Aus einem Manuskript des Jahres 1869, zit. in Küster (2008), S. 254; meine Hervorhebung.

Entwicklung des wissenschaftlichen Determinismus zur Weltanschauung und ein Zeugnis des „Zeitgeistes“ der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Bezug auf die Determinismusfrage:

Voilà donc le progrès de la science. Au siècle dernier, une application plus exacte de la méthode expérimentale, crée la chimie et la physique, qui se dégagent de l'irrationnel et du surnaturel. On découvre qu'il y a *des lois fixes, grâce à l'analyse* ; on se rend maître des phénomènes. Puis, un nouveau pas est franchi. Les corps vivants, dans lesquels les vitalistes admettaient encore une influence mystérieuse, sont à leur tour ramenés et réduits au mécanisme général de la matière. La science prouve que les conditions d'existence de tout phénomène sont les mêmes dans les corps vivants que dans les corps bruts ; et dès lors, la physiologie prend peu à peu les certitudes de la chimie et de la physique. Mais va-t-on s'arrêter là ? Évidemment non. Quand on aura prouvé que le corps de l'homme est une machine [...] il faudra bien passer aux actes passionnels et intellectuels de l'homme. [...] Tout se tient, *il fallait partir du déterminisme des corps bruts, pour arriver au déterminisme des corps vivants* ; et, puisque des savants comme Claude Bernard démontrent maintenant que des lois fixes régissent le corps humain, on peut annoncer, sans craindre de se tromper, *l'heure où les lois de la pensée et des passions seront formulées à leur tour. Un même déterminisme doit régir la pierre des chemins et le cerveau de l'homme.*⁷¹²

Mit dieser Art *crescendo* beschreibt Zola, wie jener wissenschaftliche Determinismus, der anfänglich eher bloß innerhalb der Mechanik galt und implizit blieb (vgl. oben, Kap. 2), immer weitere Bereiche der menschlichen Erkenntnis „erobert“ hat und scheint nun (in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts) auch in Bezug auf die Gedanken und die Leidenschaften der Menschen zu gelten – was seinen Höhepunkt und seine „Verweltanschaulichung“ bedeutet. Tatsächlich hatte Bernard behauptet – und Zola zitiert ihn – „il est impossible, selon moi, de ne pas faire rentrer les phénomènes cérébraux, come tous les phénomènes des corps vivants, dans les lois d'un déterminisme scientifique“⁷¹³: die natürliche Erstreckung der experimentellen Physiologie war die experimentelle Psychologie, zu derer Entstehung ebenfalls die schon erwähnten Helmholtz (mit seinen Studien zur Sinnenphysiologie) und Du Bois-Reymond (der gemeinsam mit Helmholtz und mit ein paar anderen Kollegen eine Arbeitsgruppe zur Untersuchung mentaler Prozesse als elektrischer Prozesse gegründet hatte⁷¹⁴) beitrugen.

⁷¹² Zola (1880), S. 14-15.

⁷¹³ Bernard (1966 [1865]), S. 140, und Zola (1880), S. 16. Schon Laplace, in dem Absatz seines *Essai philosophique des probabilités* (Laplace 1986 [1825³]) „Des illusions dans l'estimation des Probabilités“, hatte explizit die Meinung vertreten, dass die Psychologie auf die Physiologie zurückzuführen sei, was weiterhin (laut Laplace) die Voraussagbarkeit von scheinbar subjektiven und irrationalen psychischen Phänomenen impliziert.

⁷¹⁴ „In 1847 he [Du Bois Reymond] had, with Brücke, Ludwig and Helmholtz, founded a Berlin ginger group that aimed at proving that the workings of the brain are to be understood in terms of electricity“ (Hacking 1990, S. 150).

Die Erstreckung des wissenschaftlichen Determinismus auf die menschliche „Seele“ und auf den menschlichen Willen war eine Art öffentlicher Skandal auf internationaler Ebene⁷¹⁵, und bedeutete seinen Höhepunkt, seine „Taufe“ (d.h. das Ende seiner Namenlosigkeit), aber auch die Möglichkeit seiner Infragestellung. Im 19. Jh., wie ich in den vorigen Kapiteln in bestimmten Hinsichten gezeigt habe, war der wissenschaftliche Determinismus – so erfolgreich er v. a. in der öffentlichen Wahrnehmung war – schon im Grunde geschwächt. Selbst bei Bernard, Helmholtz und Du Bois Reymond kann man dies leicht merken, sobald man ihre Überzeugungen ausführlicher untersucht.

Die Ablehnung des Vitalismus bedeutete für Bernard *keine* Reduktion der Physiologie auf die Physik, denn belebte Organismen sind für ihn auch durch spezifische Eigenschaften gekennzeichnet⁷¹⁶. Erstens sind sie viel komplizierter als unbelebte, physikalische Körper und Systeme⁷¹⁷. Zweitens sind sie durch „une solidarité de phénomènes“, durch „une solidarité organique“⁷¹⁸, d.h. durch eine besondere Organisation der Materie, die finalistische und holistische Züge hat, gekennzeichnet⁷¹⁹. Schließlich drückt sich bei organischen Phänomenen eine „évolution vitale“ aus:

⁷¹⁵ 1868 veröffentlichte der amerikanische Arzt und Medizinprofessor Edward S. Dunster in der französischen Zeitschrift *Le Correspondant* ein Plädoyer für den Vitalismus, das zwei Jahre später auch in der amerikanischen *Anthropological Review* zu lesen war (Dunster 1870). Seine Sorgen in Bezug auf die gegenwärtigen Entwicklungen der Physiologie drückte er mit einer Reihe rhetorischer, emotional beladener Fragen aus: „If life is nothing more than matter, why should the soul be anything more than life, and therefore more than matter? why does it not express only a simple function of the entire organism? What! is life with its marvelous faculties, its sensibility, its evolution according to an ideal type, its functional harmonies, its apparent unity, its power of production and generation, is this, I say, only a result of the organization of matter? Does this organization itself acknowledge no other cause than a universal physio-chemical cause? and can we wish that the soul, breaking away from this chain of visible nature, should acknowledge an origin wholly mysterious [...] Under what pretext shall we stop science in her career, her prolonged successful efforts to sweep away these final metaphysical entities? [...] Sensibility and contractility are the properties of muscular and nervous substance – why should not thought and will be analogous properties of brain substance? The brain produces thought just as the muscles produce contractions – just as the liver produces sugar, or as oxygen and sulphur produce sulphuric acid. All these varied phenomena are nothing but molecular changes of matter.“ (Dunster 1870, S. 51). Diese Aussicht eröffnete vor den Augen Dunsters fast ein apokalyptisches Szenario: „Social and human order, the ideas of duty and liberty, the whole moral aspect of things, are, as a consequence, unsettled and broken up“ (*Ibidem*, S. 51). Dunster bezeugt auch das Ausmaß, in dem diese Problematik eine öffentliche Relevanz angenommen hatte: „These questions [...] have assumed a new and large place in the public preoccupation; and these preoccupations, in thus directing themselves, yield to those profound presentiments which show the increasing importance of certain problems hitherto regarded as of secondary import, and limited to facts of a wholly special order“ (*Ibidem*, S. 52).

⁷¹⁶ Vgl. Bernard (1966 [1865]), Teil 2, Kap. 2 („Considerations experimentales speciales aux êtres vivants“), und insb. den Absatz I, „Dans l’organisme des êtres vivants, il y a à considérer un ensemble harmonique des phénomènes“. Vgl. auch Mendelsohn (1965), S. 217.

⁷¹⁷ „[...] ce qui rendait l’analyse expérimentale et le déterminisme des conditions incomparablement plus difficiles“ (Bernard 1966 [1865], S. 135).

⁷¹⁸ Bernard (1966 [1865]), S. 135 bzw. 136.

⁷¹⁹ Vgl. Bernard (1966 [1865]), S. 137-138, z.B.: „[...] le physicien et le chimiste peuvent repousser toute idée de causes finales dans les faits qu’ils observent ; tandis que le physiologiste est porté à admettre une finalité harmonique et préétablie dans les corps organisés dont toutes les actions partielles sont solidaires et génératrices les unes des autres“.

[...] ce qui est essentiellement du domaine de la vie et ce qui n'appartient ni à la chimie, ni à la physique, ni à rien autre chose, c'est l'*idée* directrice de cette évolution vitale. Dans tout germe vivant, il y a une idée créatrice qui se développe et se manifeste par l'organisation. Pendant toute sa durée, l'être vivant reste sous l'influence de cette même force vitale créatrice [...]⁷²⁰

Später wird Bernard zwischen „forces exécutives“, denen belebte und unbelebte Körper gleichermaßen gehorchen, und „forces directrices ou évolutives“, die für die besondere Organisation der belebten Materie zuständig sind, unterscheiden, und aufgrund dieser Unterscheidung die Idee einer Vereinbarkeit der Willensfreiheit mit dem Determinismus vertreten:

En effet, l'acte libre ne peut exister que dans la période directrice du phénomène ; mais, une fois dans la période exécutive, le déterminisme doit être absolu, pur que la liberté en découle nécessairement⁷²¹.

Schließlich relativiert Bernard seinen Determinismus durch den Hinweis auf den approximativen und vorläufigen Charakter wissenschaftlicher Theorien:

il faut croire à la science, c'est-à-dire au déterminisme, au rapport absolu et nécessaire des choses, aussi bien dans les phénomènes propres aux êtres vivants que dans tous les autres; mais il faut en même temps être bien convaincu que nous n'avons ce rapport que d'une manière plus ou moins approximative, et que les théories que nous possédons sont loin de représenter des vérités immuables. Quand nous faisons une théorie générale dans nos sciences, la seule chose dont nous soyons certains, c'est que toutes ces théories sont fausses absolument parlant⁷²².

Was Helmholtz betrifft, er sprach in der Öffentlichkeit zwar von Kausalität als dem obersten Begriff der Wissenschaft: wenn man aber seine komplexe erkenntnistheoretische Reflexionen in Betracht zieht, scheint seine Stellungnahme zur Determinismusfrage nicht eindeutig und nicht unveränderlich gewesen zu sein⁷²³. Mit seiner „Zeichentheorie“ wissenschaftlicher Erkenntnis, die die schon erwähnte (vgl. oben, §3.c) „Bildtheorie“ seines Schülers Hertz

⁷²⁰ Bernard (1966 [1865]), S. 142-143. Henri Bergson hielt eine Rede am Collège de France zur Jahrhundertfeier von Bernard (d.h. im Jahre 1913), in der er den Begriff der *idée directrice* besonders betont, welcher die Position von Bernard an seine eigene Philosophie näher rücken lässt (der Text des Vortrags ist in Dhurout (1941) enthalten. Zur Position Bergsons in Bezug auf die Determinismusfrage vgl. unten, § 6.c, Fußnote 849).

⁷²¹ Bernard (1867), zit. in: Israel (1991), Fußnote 81. Im folgenden Absatz werde ich zeigen, wie der Begriff der *idée directrice* die Reflexion zur Determinismusfrage weiter beeinflusste.

⁷²² Bernard (1966 [1865]), S. 68.

⁷²³ Die erkenntnistheoretischen und wissenschaftsphilosophischen Gedanken von Helmholtz sind nicht nur in seinen Vorträgen, sondern v.a. in seinen *Schriften zur Erkenntnistheorie* enthalten, die 1921 von Moritz Schlick und Paul Hertz erstmals herausgegeben wurden (Helmholtz 1998 [1921]).

teilweise vorwegnimmt, und mit seinem Konzept eines physiologischen Apriori tendiert Helmholtz zu einer teilweise nicht-realistischen Auffassung wissenschaftlicher Theorien⁷²⁴. Dies führt dazu, dass auch die Auffassung der Kausalität, die er in seinen öffentlichen Vorträgen vertritt, in einem gewissen Sinne „schwankt“: mal behauptet er, dass wir die „Naturgesetze“ „in den Thatsachen *entdecken* müssen“ und er will ihre „Unabhängigkeit von unserem Denken und unserem Willen“ hervorheben⁷²⁵; mal argumentiert er auf kantische Art, dass „Vertrauen in die Gesetzmässigkeit zugleich Vertrauen auf die Begreifbarkeit der Naturerscheinungen [ist]“⁷²⁶; mal hält er die Kausalität „bloß“ für eine nützliche und bereichernde „logische Verarbeitung des gegebenen Stoffes“⁷²⁷. Darüber hinaus stellt Helmholtz den freien Willen nicht in Frage: er sei im Gegenteil eine selbstverständliche Tatsache und ein Grund dafür, dass die Geisteswissenschaften nach „streng bindenden“ Gesetzen nicht streben können⁷²⁸.

Die Ambiguität in Bezug auf die Determinismusfrage ist bei Du Bois-Reymond noch offensichtlicher, und gelang v.a. dank seiner zwei berühmten Reden „Über die Grenzen der Naturerkenntnis“ (1872) und „Die sieben Welträtsel“ (1880) sehr wohl auch an die Öffentlichkeit⁷²⁹. Ich konzentriere mich hier auf den ersten Vortrag (gehalten am 14. August 1872 auf der Leipziger *Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte*), da er laut Cassirer (2004 [1937]) sogar die erste bedeutsame Formulierung des wissenschaftlichen

⁷²⁴ Über die Erkenntnistheorie von Helmholtz vgl. Schiemann (1997), Ferrari (2002), Lenoir (2006) und Leroux (2010). Schiemann (1997) ist hier von besonderem Interesse, indem er die allmähliche Abwendung des helmholtzschen Mechanismus vom klassischen untersucht. Auch die Analyse der Erkenntnistheorie von Helmholtz seitens Hörz – Wollgast (1986) ist insofern interessant, als sie dem Problem des Realismus bzw. Antirealismus von Helmholtz eine besondere Aufmerksamkeit schenken: die zwei Autoren aus der DDR sind von der Kritik Lenins an jeder Form von Subjektivismus und Idealismus sehr geprägt.

⁷²⁵ „Über das Ziel und die Fortschritte der Naturwissenschaft“ (1869): Helmholtz (2002 [1896]), S. 375 und 377.

⁷²⁶ „...das *Causalgesetz* [...] spricht das Vertrauen auf die vollkommene Begreifbarkeit der Welt aus. Das Begreifen [...] ist die Methode, mittels deren unser Denken die Welt sich unterwirft, die Thatsachen ordnet, die Zukunft voraus bestimmt“: „Die Tatsachen in der Wahrnehmung“ (1878), in Helmholtz (1959 [1879]), S. 47.

⁷²⁷ „Über das Verhältnis der Naturwissenschaften zur Gesamtheit der Wissenschaft“ (1862): Helmholtz (2002 [1896]), S. 169; vgl. auch S. 170.

⁷²⁸ Vgl. Helmholtz (2002 [1896]), S. 171-72.

⁷²⁹ Über die große Resonanz dieser zwei Reden in der Öffentlichkeit vgl. Cassirer (2004 [1937]), S. 10, Hörz – Wollgast (1986), S. 45, und Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007). In diesem letzten Band – der die erste Rede fokussiert und sie in einen wissenschaftsphilosophischen und historischen Kontext einbettet – liefern verschiedene Autoren unterschiedliche Interpretationen sowohl der von Du Bois-Reymond aufgeworfenen Fragen, als auch von den Absichten, die hinter dieser Rede steckten. Vgl. z.B. Reichenberger (2007), S. 63: „Die Rede wurde zwar als Kapitulationserklärung der Wissenschaft gegenüber Idealismus, Spiritualismus, Okkultismus, Mystizismus, Religion und nicht zuletzt gegenüber der Kirche denunziert. Bei näherer Betrachtung war jedoch deren Intention eine andere. Du Bois-Reymond beabsichtigte, einen epistemologischen Waffenstillstand mit den um Wissens- und Geltungsansprüche konkurrierenden Vertretern von Religion, Kirche und Philosophie zu schließen, um das Recht der Wissenschaft auf Forschungsfreiheit zu sichern und zu verteidigen“. Mit seinen erwähnten zwei Reden drückte Du Bois-Reymond aber einen Skeptizismus oder „Agnostizismus“ aus, der in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch von anderen Naturwissenschaftlern – wie Huxley oder Virchow – vertreten wurde (vgl. Hörz – Wollgast 1986, S. 47 und Reichenberger 2007, S. 66-67).

Determinismus darstellt. Wie Cassirer hervorhebt, erhebt Du Bois-Reymond in diesem Rahmen den wissenschaftlichen Determinismus zu einem allgemeingültigen erkenntnistheoretischen Prinzip, in dem er ihn als die ein für alle Mal fixierte Eigenschaft wissenschaftlicher Erkenntnis darstellt. Dieser dogmatischen Erhöhung folgt aber eine ebenso dogmatische Einschränkung seines Gültigkeitsbereichs⁷³⁰. Du Bois-Reymond bekennt sich nämlich in seiner Rede einerseits zum Glauben an eine Wissenschaft, die im Prinzip dieselbe Fähigkeit des Laplaceschen Dämons besitzt, mit uneingeschränkter Exaktheit die Entwicklung des Universums vorherzusagen. Andererseits entzieht er dieser Wissenschaft prinzipiell und für immer und ewig die Möglichkeit jeglicher Kenntnis bezüglich zwei Fragen: erstens, der Frage nach dem Wesen der Materie (er formuliert eine Art Antinomie in Bezug auf das Problem der stofflichen oder immateriellen Natur der Atomen); zweitens, der Frage nach der Entstehung des menschlichen Bewusstseins aus seinen materiellen Bedingungen.

Im Kontext der Besprechung der ersten Frage behauptet Du Bois-Reymond, dass selbst der Laplacesche Geist sein „Kausalbedürfnis“ nicht befriedigen könnte:

Zwar würde [...] seine Formel ihm den Urzustand der Dinge enthüllen. Träfe er aber die Materie vor unendlicher Zeit im unendlichen Raume ruhend und ungleich verteilt an, so wüßte er nicht, woher die ungleiche Verteilung; träfe er sie schon bewegt an, so wüßte er nicht, woher die Bewegung, welche ihm nur als zufälliger Zustand der Materie erscheint. In beiden Fällen bliebe sein Kausalitätsbedürfnis unbefriedigt.⁷³¹

Die Frage nach dem (mechanistischen oder teleologischen) Charakter der Naturgesetze wird acht Jahre später von Du Bois-Reymond ebenso in die Liste der schwer lösbaren Fragen aufgenommen, die inzwischen sieben geworden sind („Die sieben Welträtsel“) und auch das Problem der Willensfreiheit⁷³² umfassen.

In Bezug auf die zweite Frage, jene der Entstehung des Bewusstseins aus der Materie, denkt Du Bois-Reymond offensichtlich *nicht*, dass das Bewusstsein durch Hinweis auf materielle

⁷³⁰ „Du Bois-Reymond hebt die Naturerkenntnis weit über alle zufälligen, bloß empirischen Schranken hinaus; er verleiht ihr, innerhalb ihres eigenen Umkreises, eine Art von Allwissenheit. Aber diese Erhöhung ist nur der Vorbote ihres tiefen Falles. Von dem Gipfel des strengsten exaktesten Wissens wird sie hinabgestürzt in den Abgrund der Unwissenheit – einer Unwissenheit, vor der es keine Rettung gibt, weil sie nicht zeitweilig und relativ, sondern absolut und endgültig ist“ (Cassirer 2004 [1937], S. 10-11).

⁷³¹ Du Bois-Reymond (1912 [1886/87]), Bd. I, S. 449-50.

⁷³² „Das Dunkle zeigt sich [...] für die meisten Naturen, sobald man die physische Sphäre mit der ethischen vertauscht. Denn [...] auch der entschlossenste Monist vermag den ernsteren Forderungen des praktischen Lebens gegenüber die Vorstellung nur schwer festzuhalten, daß das ganze menschliche Dasein nichts sei als eine *Fable convenue*, in welcher mechanistische Notwendigkeit dem Cajus die Rolle des Verbrechers, dem Sempronius die des Richters erteilte, und deshalb Cajus zum Richtplatz geführt werde, während Sempronius frühstücken gehe“ (Du Bois-Reymond 1912 [1886/87], Bd. II, S. 86).

Ursachen und Prozesse völlig erklärbar sei⁷³³. Zwar nahm er als bewiesen an, dass das Bewusstsein an materiellen Vorgängen gebunden sei, aber er dachte nicht, dass das Bewusstsein völlig mechanisch erklärt werden kann⁷³⁴. Den Laplaceschen Determinismus bezeichnet er auch als „astronomische Kenntnis“, und er behauptet:

Die astronomische Kenntnis des Gehirnes, die höchste, die wir davon erlangen können, enthüllt uns darin nichts als bewegte Materie. Durch keine zu ersinnende Anordnung oder Bewegung materieller Teilchen aber läßt sich eine Brücke ins Reich des Bewußtseins schlagen.

[...]

Welche denkbare Verbindung besteht zwischen bestimmten Bewegungen bestimmter Atome in meinem Gehirn einerseits, andererseits den für mich ursprünglichen, nicht weiter definierbaren, nicht wegzuleugnenden Tatsachen: „Ich fühle Schmerz, fühle Lust; ich schmecke Süßes, rieche Rosenduft, höre Orgelton, sehe Rot“, und der ebenso unmittelbar daraus fließenden Gewißheit: „Also bin ich“?

[...]

Sogar der Laplace'sche Geist mit seiner Weltformel gliche in seinen Anstrengungen, über diese Schranke sich fortzuheben, einem nach dem Monde trachtenden Luftschiffer [!!!]. In seiner aus bewegter Materie aufgebauten Welt regen sich zwar die Hirmolekeln wie in stummem Spiel. Er übersieht ihre Scharen, er durchschaut ihre Verschränkungen, und Erfahrung lehrt ihn ihre Geberde [sic] darin auslegen, daß sie diesem oder jenem geistigen Vorgang entspreche; aber warum sie dies tue, weiß er nicht. Zwischen bestimmter Lage und Bewegung gewisser Atome eigenschaftsloser Materie in der Sehsinns substanz und dem Sehen ist so wenig Beziehung wie zwischen einem ähnlichen Hergang in der Gehörsinns substanz und dem Hören [...], und darum bleibt [...] die objektive Welt des Laplace'schen Geist eigenschaftslos.⁷³⁵

⁷³³ „Ich werde jetzt, wie ich glaube, in sehr zwingender Weise dartun, daß nicht allein bei dem heutigen Stand unserer Kenntnis das Bewußtsein aus seinen materiellen Bedingungen nicht erklärbar ist, was wohl jeder zugibt, sondern daß es auch der Natur der Dinge nach aus diesen Bedingungen nicht erklärbar sein wird. Die entgegengesetzte Meinung, daß nicht alle Hoffnung aufzugeben sei, das Bewußtsein aus seinen materiellen Bedingungen zu begreifen, daß dies vielmehr im Laufe der Jahrhunderte oder Jahrtausende dem alsdann in ungeahnte Reiche der Erkenntnis vorgedrungenen Menschengenisse wohl gelingen könne: dies ist der zweite Irrtum, den ich in diesem Vortrag bekämpfen will“ (Du Bois-Reymond 1912 [1886/87], Bd. I, S. 453).

⁷³⁴ Den Unterschied zwischen den zwei Behauptungen präzisiert Du Bois-Reymond in dem Vortrag „Die sieben Welträtsel“ im Rahmen seiner Erwiderung auf die Kritiken auf seinen Vortrag „Über die Grenzen des Naturerkennens“ (vgl. Du Bois-Reymond 1912 [1886/87], Bd. II, S. 67).

⁷³⁵ Du Bois-Reymond (1912 [1886/87]), Bd. I, S. 457, 458 und 460. Ernst Mach wird diese Rede von Du Bois-Reymond kommentieren, wie folgt: „Bald nach Erscheinen der ersten Auflage dieser Schrift [gemeint ist die im Jahre 1886 veröffentlichte *Analyse der Empfindungen*; DR] belehrte mich ein Physiker darüber, wie ungeschickt ich meine Aufgabe angefaßt hätte. Man könne, meinte er, die Empfindungen nicht analysieren, bevor die Bahnen der Atome im Gehirn nicht bekannt seien. Dann allerdings würde sich alles von selbst ergeben. Diese Worte, welche vielleicht bei einem Jüngling der Laplaceschen Zeit auf fruchtbaren Boden gefallen wären, und sich zu einer psychologischen Theorie aufgrund ‚verborgener Bewegungen‘ entwickelt hätten, konnten mich natürlich nicht mehr bessern. Sie hatten aber doch die Wirkung, die ich Dubois mit seinem ‚Ignorabimus‘, das mir bis dahin als die größte Verwirrung erscheinen war, im stillen Abbitte leistete. War es doch ein wesentlicher Fortschritt, dass Dubois die Unlösbarkeit seines Problems erkannte, und war diese Erkenntnis doch für viele Menschen eine Befreiung, wie der sonst kaum begreifliche Erfolg seiner Rede beweist. Den wichtigen Schritt der Einsicht, dass ein prinzipiell als unlösbar erkanntes Problem auf einer *verkehrten Fragenstellung* beruhen muss, hat er allerdings nicht getan. Denn er auch hielt, wie unzählige andere, das Handwerkzeug einer Spezialwissenschaft für die eigentliche Welt“ (Mach 2008 [1911⁶], S. 289-290). Vgl. auch Mach (2012 [1912⁷]), S. 532-33, wo er auf einen kontingenten Vorsprung der Physik gegenüber der Physiologie die Tatsache

Der schon erwähnte Traum bzw. Albtraum einer Erweiterung des wissenschaftlichen Determinismus auf das menschliche Denken und Handeln, der den wissenschaftlichen Determinismus zu einer identifizierbaren und gleichzeitig angreifbaren Position gemacht hatte - dieser (Alb)traum wurde also auch innerhalb der experimentellen Physiologie und Psychologie nicht ganz ohne Skeptizismus betrachtet.

Exemplarisch ist in dieser Hinsicht der Fall von dem in Bezug auf den Frequentismus schon erwähnten Gustav Fechner (1801-87), der einerseits die experimentelle Psychologie mit initiierte, andererseits von Heidelberger als „first universal indeterminist“ bezeichnet wurde⁷³⁶. Heidelberger (1992, S. 323) bemerkt, dass Fechner gleichzeitig ein Vertreter der „kausaler Geschlossenheit der physischen Welt“ und ein „Indeterminist“ war: auch bei ihm finden wir also wie bei Helmholtz und Du Bois-Reymond eine gewisse Ambiguität in Bezug auf die Determinismusfrage. Anders als Helmholtz oder Du Bois-Reymond hat aber Fechner explizit und ausführlich eine indeterministische Position entwickelt: schon im Jahre 1849 und wieder in zwei öffentlichen Vorträgen („Über die mathematische Behandlung organischer Gestalten und Prozesse“ und „Über das Causalgesetz“) sprach er von einer gewissen „Unbestimmtheit“, von einer „Indetermination“, die „wirklich von Freiheit ... abhängt“, und nicht bloß die Folge „unserer Unkenntnis der Bedingungen“ ist⁷³⁷.

Während einerseits Quetelet und Buckle, andererseits Bernard, Helmholtz und Du Bois-Reymond sich auf die in der jeweiligen Disziplin erreichbare Determiniertheit und Vorhersagbarkeit beriefen, um den wissenschaftlichen Status ihrer jeweiligen Disziplin zu untermauern, lieferte Fechner in dem ersten Vortrag („Über die mathematische Behandlung organischer Gestalten und Prozesse“⁷³⁸) interessanterweise das umgekehrte Argument: die organischen Prozesse seien ebenso wie die anorganischen deswegen wissenschaftlich behandelbar, weil eine gewisse „Unbestimmtheit“ auch in der anorganischen Welt präsent sei⁷³⁹. Ebenfalls interessant ist die Tatsache, dass Fechner das Problem der

zurückführt, dass man überhaupt die Frage stellt, ob man die Empfindungen durch Bewegung der Atome erklären könne.

⁷³⁶ Heidelberger (1987), S. 117. Heidelberger hat auch eine Monographie über Fechner veröffentlicht: Heidelberger (1992), die 2004 ins Englische übersetzt wurde. Nach einem Medizinstudium wurde Fechner 1834 Ordinarius für Physik an der Universität Leipzig ernannt (diese Karriereentwicklung erinnert an den akademischen Weg von Helmholtz, der von einem Physiologie-Lehrstuhl zu einem Physik-Lehrstuhl wandelte, und bezeugt die damalige Kontinuität zwischen Physiologie und Physik).

⁷³⁷ Zit. in Heidelberger (1992), S. 323.

⁷³⁸ Bezüglich der Inhalte dieses ersten Vortrags basiere ich mich auf der Rekonstruktion von Heidelberger (1992), S. 324-328.

⁷³⁹ Vgl. die Argumente Fechners, so wie in Heidelberger (1992, S. 325-327) rekonstruiert.

Realitätsbezogenheit der Mathematik explizit in Zusammenhang mit der Determinismusfrage bringt. So rekonstruiert nämlich Heidelberger seine Position:

„Das rein Mathematische liegt überall bloss in unserer Vorstellung“. Die Idee der absoluten Bestimmtheit der Objekte entsteht dadurch, daß man die Vorstellung einer Konvergenz von immer genaueren Meßwerten ungerechtfertigterweise in die Natur selbst hineinprojiziert⁷⁴⁰.

Noch wichtiger für unsere Zwecke ist der zweite Vortrag, „Über das Causalgesetz“⁷⁴¹. Dieser bezeugt nämlich, wie der Streit „Determinismus vs. Indeterminismus“, der sich ursprünglich auf die Determinismusfrage im *ethischen* Sinne bezogen hatte (vgl. oben, §5), sich in einer noch sehr frühen Phase der Entwicklung der experimentellen Physiologie und Psychologie mit der Determinismusfrage im *wissenschaftlichen* Sinne verwickelte, wobei diese Verwicklung – wie schon erwähnt – entscheidend für das Explizit-Werden des wissenschaftlichen Determinismus war. Der Konflikt zwischen dem „Deterministen“ und dem „Indeterministen“ wird von Fechner unter genau diesen Bezeichnungen geschildert⁷⁴², während er selber schwankt sowohl zwischen diesen zwei Positionen, als auch zwischen der wissenschaftlichen und der ethischen Bedeutung der Determinismusfrage. Auch in Bezug auf diesen Vortrag kann man hervorheben, wie sich der Naturwissenschaftler hier an eine breite Öffentlichkeit wendet und versucht, eine weit über sein fachliches Spezialgebiet hinausgehende Thematik zu entwickeln⁷⁴³.

Die Thematik ist jene, die im Titel des Vortrags angekündigt wird: es geht darum, den Gültigkeitsanspruch des Kausalgesetzes zu prüfen. Mit „Causalgesetz“ meint Fechner die Behauptung, „Daß überall und zu allen Zeiten, insofern dieselben Umstände wiederkehren, auch derselbe Erfolg wiederkehrt; soweit nicht dieselben Umstände wiederkehren, auch nicht

⁷⁴⁰ Heidelberger (1992), S. 328.

⁷⁴¹ Es ist leider sehr schwierig, zum Text dieses Vortrags einen „besseren“ Zugang zu finden, als denjenigen, der das „Projekt Gutenberg“ online anbietet, d.h. die online-Version, die unter folgender Internet-Adresse zu finden ist: <http://gutenberg.spiegel.de/buch/1093/14> (Stand: März 2013; auf diese Version beziehe ich mich mit: Fechner 1849). Diese Version hat den großen Nachteil, dass man bei Zitaten keine genaue Seitenzahl angeben kann. Diesen Nachteil kann ich nur teilweise beseitigen, indem ich versuche, meine Rekonstruktion der Argumente Fechners so oft wie möglich durch Zitate zu untermauern, die durch die Funktion „Suchen“ auf der Web-Seite leicht gefunden werden können.

⁷⁴² Man wird allerdings gleich merken, dass sein Begriff vom Determinismus, der mit seinem Begriff des „Causalgesetzes“ zusammenhängt, sich vom bisher betrachteten impliziten wissenschaftlichen Determinismus unterscheidet.

⁷⁴³ Der Vortrag wurde 1849 bei einer öffentlichen Sitzung der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig zur Feier von Leibnizens Todestage gehalten. Fechner sagt am Anfang des Vortrags explizit, er werde sich erlauben, „einen Gegenstand zu behandeln [...], der, eben im Sinne jenes gemeinschaftlichen Interesses, über den speziellen Kreis der Forschungen, welchen sich unsere Gesellschaft gesetzt hat, freilich von einer Seite hinausgreift“ (Fechner 1849).

derselbe Erfolg wiederkehrt“ (Fechner 1849). Die unbeschränkte Gültigkeit dieser Behauptung verteidigt Fechner im ersten Teil seiner Rede gegen alle mögliche Einwände, inklusive des vitalistischen Einwands, laut dem das Gesetz im Bereich des Organischen nicht gelte⁷⁴⁴. Seine Anerkennung des Kausalgesetzes entwickelt Fechner fast bis zur Apotheose der Kausalität⁷⁴⁵, und er zieht daraus auch gewagte erkenntnistheoretische Folgen: „Die Erfahrungsschlüsse, Induktion und Analogie, gewinnen unter Anerkennung unseres Gesetzes eine *Verallgemeinerung und prinzipielle Bestimmtheit und Sicherheit*, worin sie gewöhnlich nicht gefaßt werden“⁷⁴⁶. Auch in diesem Fall aber - wie in der schon erwähnten, späteren Rede von Du Bois-Reymond – folgt der Verherrlichung eine starke Relativierung. Angekündigter Zweck des Vortrags war nämlich,

zu zeigen, daß die vollständigste Bestimmtheit im Sinne unseres allgemeinen Gesetzes ganz ohne Eintrag für unser Freiheitsinteresse bestehen kann, indem die in diesem Interesse etwa zu fordernde Unbestimmtheit an einer anderen Stelle oder von einer anderen Seite des Gesetzes nur um so mächtiger hervorbricht.⁷⁴⁷

An welcher Stelle denn, von welcher Seite würde also laut Fechner diese Unbestimmtheit hervorbrechen, und worin bestünde sie? Das Kausalgesetz – argumentiert Fechner – besagt zwar, „daß, in so fern dieselben Umstände wiederkehren, auch derselbe Erfolg wiederkehren müsse“, allerdings:

Jeder andere Raum und jede andere Zeit führt immer von Neuem neue Umstände oder neue Abänderungen der alten Umstände mit sich, die also auch immer von Neuem neue oder abgeänderte Folgen fordern, welche durch

⁷⁴⁴ Gegen den Einwand, dass genau dieselben Umstände in ihrer Totalität eigentlich nie wiederkehren, vertritt Fechner eine *approximative* Auffassung des Kausalgesetzes („aber sie kehren vielfach angenähert wieder“), die von der Erfahrung immer wieder bestätigt sei. Der Behauptung, das Kausalgesetz gelte nicht im Bereich des Organischen, opponiert Fechner der schlaue Argument, dass immer, wenn organische Prozesse den Gesetzen der unorganischen nicht gehorchen, ist es eben deswegen, weil die Umstände nicht dieselben sind – was das Kausalgesetz sogar bestätigt. Ferner widerspricht Fechner der „Annahme einer nur halb durchgreifenden Gesetzlichkeit im Gebiete des Geschehens“, die normalerweise gemacht wird, „um dem Freiheitsinteresse vielmehr auf Kosten unseres Gesetzes zu genügen“: auch wenn man vor einem Gesetz steht, das nur sehr unvollkommen die Ereignisse vorherbestimmt, kann man wohl vermuten, dass andere Gesetze diese Unvollkommenheit ergänzen können. Am Ende seines Vortrags gibt Fechner zu, dass „die Annahme einer nur halb durchgreifenden Gesetzlichkeit im Gebiete des Geschehens [...] nie vollständig widerlegt werden [kann], weil die Erfahrung überhaupt Schranken hat“. Sie wird aber „nach dem, was wir erfahren können, unwahrscheinlich, nach dem, was wir fordern müssen, unnötig erscheinen“ (Fechner 1849).

⁷⁴⁵ Vgl. z.B.: „[...] wenn beispielweise zwei Weltkörper Millionen Meilen von hier sich nach demselben Gesetze anziehen als hier, und nach Millionen Jahren desgleichen, so besteht eben hiermit etwas Identisches zwischen hier und jetzt und jenen fernen Räumen und Zeiten. Es ist hiermit etwas Einiges, Ewiges, Allgegenwärtiges, Allwaltendes, Herrschendes, die ganze Welt der Natur und des Geistes Bindendes anerkannt [...]“ (Fechner 1849).

⁷⁴⁶ Fechner (1849), meine Hervorhebungen.

⁷⁴⁷ Fechner (1849). Fechner möchte damit einen „Vermittlungsweg zwischen Determinismus und Indeterminismus“ anbieten.

die Gesetze, die sich auf das anderswo und früher Dagewesene gründen, nicht vorausbestimmt noch vorausbestimmbar sind, oder es nur so weit sind, als noch im Neuen das Alte sich forterhält; aber es erhält sich eben nie ganz fort. Die Welt ist eine von Ort zu Ort sich ändernde und in der Zeit kontinuierlich sich entwickelnde. [...] An diesen Umstand kann der Indeterminist seine ganze Freiheitslehre knüpfen, ohne deshalb der durchgreifendsten Gesetzlichkeit der Natur und des Geistes irgendwie Abbruch zu tun.⁷⁴⁸

Dieses Argument Fechners, das Heidelberger (1993, S. 331) als „Indetermination durch Neuartigkeit“ bezeichnet hat, bietet dem Indeterministen eine neue, bahnbrechende Argumentationslinie, die für den Rest des 19. Jahrhunderts wegweisend werden wird⁷⁴⁹. Es handelt sich um eine Art Emergentismus, der sich sowohl „räumlich“ („von Ort zu Ort“), als auch zeitlich („in der Zeit“) zeigt. Was die erste, räumliche Dimension betrifft, bemerkt Fechner, dass eine schnell wachsende „Verwicklung“ verschiedener Elemente eines Systems sich vor allem im Bereich des Organischen ergibt: da kann man schwer Teilchen isolieren, um ihre Wechselwirkung (d.h. die Entwicklung des Systems) verlässlich zu berechnen, denn „die Verbindung zum Ganzen hat einen Einfluß, der sich aus der Zusammensetzung irgendwelcher Einzelheiten nicht berechnen läßt“ (Fechner 1849). Man könnte hier von einer Indetermination durch steigende Komplexität und durch Holismus sprechen. Was die zeitliche Dimension betrifft, vertritt Fechner eine sehr originelle Argumentationslinie: die Fähigkeiten des menschlichen Geistes entwickeln sich gemeinsam mit der Entwicklung der Welt. Eine Vorhersage der Zukunft (der Welt) wäre aber nur dann möglich, wenn der Geist schon in der Gegenwart jenen zukünftigen Entwicklungsgrad erreicht hätte, was nie der Fall sein kann. Der menschliche Geist wäre also (dank des Kausalgesetzes) sehr wohl prinzipiell immer der Retrodiktion fähig, nicht aber der Vorhersage⁷⁵⁰.

⁷⁴⁸ Fechner (1949).

⁷⁴⁹ Vgl. unten, den nächsten Absatz. Eine ähnliche Argumentationslinie wird auch Zilsel verfolgen: vgl. unten, Kap. 7. Auffallend ist, dass Fechner sich somit an dasselbe Argument stützt, das er kurz vorher durch Hinweis auf die bloß *approximative* Gültigkeit des Kausalgesetzes widerlegt hatte.

⁷⁵⁰ „Es ist faktisch und begreiflich, [...] daß, nach Maßgabe als sich die Verhältnisse verwickeln oder auf eine höhere Ordnung steigen, wie dies im Sinne der fortschreitenden Entwicklung der Welt im Ganzen ist, die Berechnung der Erfolge dieser verwickelteren Verhältnisse immer schwieriger wird, einen immer höheren Entwicklungsgrad des Geistes voraussetzt [...]. Und unstreitig kann kein Wesen Erfolge berechnen, die aus Gründen hervorgehen, welche komplizierter oder von höherer Ordnung sind, als die inneren Verhältnisse des Wesens selbst [...] Sofern nun faktisch die Welt in einer fortschreitenden Entwicklung begriffen ist, läßt sich glauben, es bestehe eine Unmöglichkeit schlechthin in der Natur der Sache, alle Erfolge der Welt voraus zu berechnen, insofern die Berechnung dessen, was in die spätere höhere Entwicklung fallen wird, ein Wesen von noch höherem Entwicklungsgrade schon voraussetzen würde, was sich widerspricht. So bliebe faktisch eine Indetermination für die Erkenntnis des Zukünftigen zu aller Zeit bestehen; aber es würde für den erlangten höheren Erkenntnisgrad möglich sein, die Notwendigkeit des früher Geschehenen mehr oder weniger zu berechnen“ (Fechner 1849).

Im letzten Teil des Vortrags Fechners herrscht eine große Verwirrung in Bezug auf die Frage, ob die von ihm behauptete Indetermination eine kontingente oder eine prinzipielle sei⁷⁵¹. Außerdem behauptet Fechner mehrmals im Laufe seines Vortrags, dass die Determinismusfrage im Grunde, und insbesondere durch die Erfahrung, unbeantwortbar bleibt⁷⁵². Am Ende des Vortrags zeigt sich wieder die im Laufe dieses Absatzes mehrmals festgestellte Ambiguität in Bezug auf die Determinismusfrage: einerseits behauptet Fechner die Existenz einer „in der Natur der Sache liegenden“ Unbestimmtheit, dank derer der Forscher u.a. an die Willensfreiheit glauben darf; andererseits soll der Forscher sich keine Sorgen darüber machen, dass er jemals „auf Gesetzlosigkeit stoßen“ wird, denn der „Fortschritt der Erkenntnis“ von keiner „in der Natur der Sache liegende[n] Grenze“ beschränkt ist, „sondern nur die Schrankenlosigkeit des Gegenstandes selbst [setzt] uns eine Schranke“⁷⁵³.

Dieser Hinweis auf die „Schrankenlosigkeit des Gegenstandes“ führt uns wieder auf die Betrachtung des wissenschaftlichen Determinismus in seiner maximalen Breite (also als Weltbild oder Weltanschauung) zurück. Die Rede von Du Bois-Reymond über die Grenzen des Naturerkennens hatte als wichtige Folge, dass einige Reaktionen darauf wieder auf die Unmöglichkeit einer Erkenntnis oder einer Charakterisierung des „Ganzen“ aufmerksam machten (Kant hatte in seiner Dialektik⁷⁵⁴ schon darauf hingewiesen). 1877 kritisierte z.B. der Schweizer Botaniker Carl Wilhelm von Nägeli die Behauptungen von Du Bois-Reymond in einer Rede „Über die Schranken der naturwissenschaftlichen Erkenntnis“: das Problem des Laplaceschen Geistes sei aus seiner Sicht „von vornherein nichtig“, denn „die Natur ist

⁷⁵¹ Ein Grund für diese Verwirrung ist auch der Gebrauch, den Fechner von den zwei Ausdrücken „faktisch“ und „es liegt in der Natur der Sache“ – die oft vorkommen – macht: man würde davon ausgehen, dass der erste auf etwas Kontingentes, der zweite auf etwas Prinzipielles hinweist. Fechner benutzt sie aber anscheinend synonymisch.

⁷⁵² „Es ist nicht möglich, diesen Streit [zwischen dem Deterministen und Indeterministen] erfahrungsmäßig zu entscheiden. Faktisch ist, daß für den Deterministen die Zurückführung des Neuen auf alte Gesetze bei weitem nicht gelungen ist und ebensowenig Aussicht ist, daß sie, namentlich im Gebiete des Organischen und Geistigen, je vollständig wird gelingen können“ (Fechner 1849).

⁷⁵³ Fechner (1849). Die Rekonstruktion des wissenschaftlichen und kulturellen Hintergrund von Fechner seitens Heidelberger (1993, § 7.2 und 7.3) hilft, zu verstehen, woher diese Ambiguität im Fall von Fechner stammt: er steckte nämlich zwischen dem Einfluss der teilweise vitalistischen idealistischen Philosophie und jenem der neuen experimentellen Physiologie. Die „Ambiguitäten“ Fechners in Bezug auf die Determinismusfrage – die Erstreckung der mathematischen Behandelbarkeit auf die organische Welt *unter Vorbehalt* eines Maßes an Unbestimmtheit sowohl in der organischen, als auch in der anorganischen Welt, und die Behauptung der Allgemeingültigkeit des Kausalgesetzes *unter Vorbehalt* der Approximation – scheinen irgendwie seiner Wahrscheinlichkeitsauffassung zu entsprechen (vgl. oben, §4.c): der Idee einer Gültigkeit der Kausalität auf der allgemeinen Ebene der statistischen Gesetze unbeschadet einer gewissen Unbestimmtheit des Einzelnen. Es ist aber nicht ganz klar, wie die Wahrscheinlichkeitsauffassung Fechners zu seinem öffentlich und ausführlich vertretenen Indeterminismus verbunden sei: „Unfortunately, Fechner does not give any hint as to how his ideas of his second article of 1849 are related to the *Kollektivmasslehre*.“ (Heidelberger 1987, S. 143).

⁷⁵⁴ Vgl. oben, §3.b.

überall unerforschlich, wo sie endlos oder ewig wird. Sie kann daher als Ganzes nicht erfasst werden [...]“⁷⁵⁵.

Ähnliche Gedanken drückte Ernst Mach in seinen zumal 1896 veröffentlichten und in fünf deutschen Auflagen und zahlreicheren Übersetzungen nochmals erschienen *Populärwissenschaftlichen Vorlesungen*⁷⁵⁶ aus. Mach zweifelte explizit daran, dass man eine Repräsentation der ganzen Welt schaffen kann⁷⁵⁷ und er relativiert ironisch den Laplaceschen Determinismus als „begeisterte[n] Toast auf die wissenschaftliche Arbeit des 18. Jahrhundert“⁷⁵⁸. Außerdem drückte er auch in den *Vorlesungen* seine schon erwähnte (vgl. oben, §3.c) „deflationistische“ Auffassung der Kausalität und der Wissenschaft ganz klar aus⁷⁵⁹.

Die „Verweltanschaulichung“ der Determinismusfrage geschah aber in einem ideologischen ‚Raum‘, in dem selbst die Naturwissenschaftler, die in erkenntnistheoretischer Hinsicht sehr vorsichtig mit dieser Frage umgingen, leicht zu weltanschaulichen Bekenntnissen kamen. Ein Beispiel davon bietet der deutsche physikalische Chemiker Wilhelm Ostwald (1853-1931), Nobelpreisträger für Chemie im Jahr 1909, 1901-21 Herausgeber der „Annalen der Naturphilosophie“ und seit 1910 führende Figur des „Deutschen Monistenbunds“ und der damaligen „Kirchenaustrittsbewegung“⁷⁶⁰. Auch er veröffentlichte Vorträge und Werke zu

⁷⁵⁵ Von Nägeli, zit. in Reichenberger (2007), S. 82 und Von Engelhardt (2007), S. 102.

⁷⁵⁶ „In den 33 Texten, die inhaltlich und sprachlich auf einen größeren Lesekreis zugeschnitten sind, hatte der Forscher [...] eine Fülle von Stoffen und Gegenständen aus mehreren Gebieten der Physik, mit Exkursen in die Biologie, die Psychologie und die Anfänge der Verhaltensforschung, für wissbegierige Hörer und Leser dargestellt“ (Herneck 1987: „Vorwort“ zu Mach 1987 [1923], S. X).

⁷⁵⁷ „Wenn das Denken mit seinen begrenzten Mitteln versucht, das reiche Leben der Welt wiederzuspiegeln, von dem es selbst nur ein kleiner Teil ist, und *das zu erschöpfen es niemals hoffen kann...*“ (Mach 1987 [1923], S. 216; meine Hervorhebung). In einer anderen Vorlesung („Wozu hat der Mensch zwei Augen?“) wird der Begriff selbst von „Weltanschauung“ von Mach interessanterweise naturalisiert: „Verändern Sie das Auge des Menschen, und Sie verändern seine Weltanschauung. [...] Wie ganz anders muß die Natur den Tieren erscheinen, welche mit wesentlich anderen Augen versehen sind als der Mensch, etwa den Insekten“; „Es könnte in der Tat nicht schaden, wenn der Mensch seiner angeborenen und anerzogenen Beschränktheit dadurch zu Leibe ginge, dass er sich mit der Weltanschauung verwandter Wesen vertraut zu machen suchte“ (Mach 1987 [1923], S. 93 und S. 97).

⁷⁵⁸ „Freudig gönnen wir dem Schöpfer der *mécanique céleste* das erhebende Gefühl, welches ihm die mächtig wachsende Aufklärung erregt, der auch wir unsere geistige Freiheit danken. Allein heute bei ruhigem Gemüt und vor *neue* Arbeit gestellt, ziemt es der physikalischen Forschung, sich durch Erkenntnis ihrer Natur vor Selbsttäuschung zu schützen, um dafür aber desto sicherer ihre wahren Ziele verfolgen zu können“ (Mach 1987 [1923], S. 219-220).

⁷⁵⁹ Vgl. v. a. die Vorlesungen „Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung“ (Mach [1923] 1987), S. 217ff.) und „Werden Vorstellungen, Gedanken vererbt?“ (Mach 1987 [1923], S. 464ff.). Vgl. auch S. 283-284, wobei Mach das „Prophezeien“ als Aufgabe der Wissenschaft aberkennt und eine Art „Fetischismus“ in den Begriffen Ursache/Wirkung sieht.

⁷⁶⁰ Über Ostwald und die „Annalen der Naturphilosophie“ vgl. Ziche (2008), S. 12ff. Über die Tätigkeiten Ostwalds im Rahmen des Kampfes um die Weltanschauung vgl. Hernek (1960). Der 1906 von Ernst Haeckel gegründete Monistenbund verfocht eine auf den modernen Naturwissenschaften (insbesondere auf dem Darwinismus) Weltanschauung, die auch in einem gesellschaftlichen und politischen Engagement mündete: die Monisten engagierten sich z.B. für eine Säkularisierung des Staates und des Bildungssystems, für die

allerlei Themen, er engagierte sich in der Wissenschaftspopularisierung und entwickelte eine eigene Philosophie; auch er publizierte seine an der Universität Leipzig gehaltene *Vorlesungen über Naturphilosophie* (1902)⁷⁶¹. In diesen letzten rehabilitiert er den Begriff von „Naturphilosophie“⁷⁶² und stellt die „Energetik“ als die eigene Naturphilosophie dar⁷⁶³. Einerseits polemisiert Ostwald gegen philosophische „Systeme“, die „absolutes Wissen zu erlangen versuchte[n]“ und behauptet explizit, er wolle keine „umfassende Weltanschauung“ liefern⁷⁶⁴. Andererseits ist das, was er anbietet, wohl ein „energetisches *Weltbild*“⁷⁶⁵ - und das *Weltbild* Ostwalds kann man auch für eine „Weltanschauung“ halten, indem seine ethischen bzw. politischen Implikationen von dem Chemiker zunehmend entwickelt wurden⁷⁶⁶.

Auch was die Determinismusfrage betrifft, ergibt sich eine Spannung zwischen der Position Ostwalds in den *Vorlesungen* (1902) und seinen Aussagen als militanter Leiter des Monistenbunds⁷⁶⁷. In den *Vorlesungen* vertritt er eine gewissermaßen nicht-realistische bzw. pragmatische Auffassung der Kausalität und der Naturgesetze (wobei der Einfluss von Mach, dem die *Vorlesungen* gewidmet sind, erkennbar ist)⁷⁶⁸, er schwächt den Kausalbegriff (er behauptet immer wieder, dass er auf keinen Fall ein notwendiges Postulat der Naturwissenschaft ist) und er schließt seine Vorlesung über „Das Causalgesetz“ mit einer Ablehnung des Anspruches auf eine geschlossene Weltanschauung ab. Im Rahmen seiner monistischen und antiklerikalistischen Weltanschauung kommt allerdings der

Verbreitung der Naturwissenschaften durch eine reformierte Ausbildung und durch die Wissenschaftspopularisierung, für eine Liberalisierung der Sexualität usw. Daher waren im Monistenbund Sozialisten und fortschrittliche Sozialreformer stark vertreten.

⁷⁶¹ Ostwald (1902). Das Buch ist Ernst Mach gewidmet.

⁷⁶² Ostwald (1902), S. 1-13.

⁷⁶³ Ostwald (1902), 9. bis 21. Vorlesung.

⁷⁶⁴ Ostwald (1902), S. 4-5 und 310-311. Vgl. auch S. 12-13: „die Wissenschaft [sei] vergleichbar mit der *unaufhörlichen* Anstellung von Belastungsproben“ (meine Hervorhebung).

⁷⁶⁵ Ostwald (1902), Titel der 9. Vorlesung.

⁷⁶⁶ „Die Beschäftigung mit philosophischen und allgemeinwissenschaftlichen, darunter soziologischen Fragen trat gegenüber der Bearbeitung fachwissenschaftlicher Probleme eine Zeitlang ganz in Vordergrund, nachdem Ostwald 1906 [...] seine Lehrtätigkeit an den Leipziger Universität aufgegeben hatte, um sich in seinem Landhaus ‚Energie‘ in Großbothen als ‚freier Wissenschaftsmann‘ selbstgestellten Aufgaben zu widmen, deren Lösung er für wesentlich und vordringlich hielt“ (F. Hernek, „Einleitung“ zu Ostwald 1960, S. 16).

⁷⁶⁷ Texte „aus den Reden, Aufsätzen und Streitschriften“, die Ostwald im Rahmen seiner Tätigkeit im Monistenbund und in der Kirchnaustrittsbewegung lieferte, wurden 1960 in dem von F. Herneck herausgegebenen und eingeleiteten Band *Wissenschaft contra Gottesglauben* veröffentlicht (Ostwald 1960). Ostwalds Vortrag „Die Wissenschaft“, den er bei dem ersten Monisten-Kongress 1911 hielt, wurde schon im selben Jahr veröffentlicht (Ostwald 1911).

⁷⁶⁸ „[Wir] werden die Causalverknüpfung als ein *praktisches* Ergebniss unserer Bemühungen, für die Beurtheilung der Zukunft unsere Erfahrungen zu sammeln und in Begriffe zu ordnen, auffassen können“ (Ostwald 1902, S. 296). Später hebt Ostwald hervor, „dass wir bei der Begriffsbildung das *Causalgesetz selbst herstellen*. Unter einem Begriff fassen wir das zusammen, was übereinstimmende Eigenschaften hat, und das Ergebnis der Zusammenfassung nimmt dann je nach dem Falle die Gestalt eines Namens oder eines Naturgesetzes an. Es ist also nur von der Zweckmässigkeit dieser Begriffsbildung abhängig, wie gross die Sicherheit ist, mit der wir die Uebereinstimmung in neuen Fällen der Begriffsanwendung erwarten können“ (Ostwald 1902, S. 303).

Gesetzmäßigkeit der Welt eine zentrale Rolle zu. In seinem 1911 auf dem Ersten Monisten-Kongress gehaltenen Vortrag „Die Wissenschaft“ besteht er darauf, dass das „Prophezeien“ der Zukunft das wesentliche Merkmal der Wissenschaft ist⁷⁶⁹ und er ersetzt den allwissenden Blick Gottes (dessen Darstellung an den allwissenden Laplaceschen Dämon erinnert) durch die Wissenschaft, die als Ideal den Zustand hat, „in dem wir für jede Voraussetzung die daraus entspringenden Folgen werden voraussagen können“⁷⁷⁰. Tatsächlich liegt nach Ostwald der *wesentliche* Unterschied zwischen dem Gottesbegriff und der Wissenschaft darin, dass

*sie entscheidet unsern Wünschen gegenüber nicht nach Willkür, sondern nach dem, worauf unser eigenes Wesen gegründet ist, nach den Naturgesetzen*⁷⁷¹.

Drei Jahre später besteht Ostwald darauf:

*Das ist eben der entscheidende Unterschied zwischen Wissenschaft und religiösem Glauben, daß die Wissenschaft die Zukunft voraussagen und vorausgestalten kann, während der religiöse Glaube in dieser Beziehung vollkommen ohnmächtig ist*⁷⁷².

Bei einer solchen „wissenschaftlichen Weltanschauung“⁷⁷³ ist es zu beachten, dass die vollkommene Voraussagbarkeit der Welt laut Ostwald zwar nur ein „Ideal“ ist, die Naturwissenschaft kennt aber aus seiner Sicht keine prinzipielle Grenzen: „zahllose Dinge sind unerforscht, aber nichts ist unerforschlich“⁷⁷⁴. Darüber hinaus bringt die „naturwissenschaftliche Weltanschauung“ Kausalität und Naturgesetze mit den monistischen ethischen und politischen Zielen offensichtlich in Zusammenhang: die Kenntnis der „Gesetze der Natur“ und der „kausalen Beziehungen“ macht die Menschen „freier und kühner“⁷⁷⁵ und die Religion überflüssig⁷⁷⁶.

⁷⁶⁹ Vgl. Ostwald (1911), S. 20, 35 und 37.

⁷⁷⁰ Ostwald (1911), S. 49.

⁷⁷¹ Ostwald (1960), S. 52-53; Hervorhebung im Originaltext.

⁷⁷² Ostwald (1960), S. 65; Hervorhebung im Originaltext. 1911 fragt Ostwald in seiner „monistischen Sonntagspredigt“: „Was ist Wahrheit?“. Seine Antwort lautet: „Das, was uns die Zukunft voraussagen gestattet“ (Ostwald 1960, S. 104).

⁷⁷³ Die 1911 von Ostwald gegründete und herausgegebene Zeitschrift des Deutschen Monistenbunds hieß „Das monistische Jahrhundert. Wochenschrift für wissenschaftliche Weltanschauung und Weltgestaltung“.

⁷⁷⁴ Ostwald (1960), S. 68. Hier drückt Ostwald seine Stellungnahme zum „Ignorabimus-Streit“ aus, auf den ich zurückkommen werde.

⁷⁷⁵ Ostwald (1960), S. 105.

⁷⁷⁶ Ostwald (1960), S. 122-123. Hier möchte ich nochmal auf die von mir hervorgehobene Unterscheidung zwischen Determinismus und Mechanismus hinweisen: bei seinem Lob der Kausalität und der Vorhersagbarkeit

Ähnlich reagierte auf das von Du Bois-Reymond vertretene Konzept des *Ignorabimus* bzw. der „Welträtsel“ der Zoologe, Biologe, Arzt und ebenfalls Freidenker – sowie Begründer des Deutschen Monistenbunds – Ernst Haeckel (1834-1919): in seinem erstmals 1899 veröffentlichten Buch *Die Welträtsel. Gemeinverständliche Studien über monistische Philosophie* behauptet er durch eine monistische Philosophie alle Welträtsel lösen zu können⁷⁷⁷. In diesem Kontext formuliert er aber auch wiederholt seine Attacken gegen die Kirche und seine scharfe Kritik an dem damaligen deutschen Staat, sowie an dessen rechtliche Grundlagen und an dessen Bildungssystem⁷⁷⁸. Diesen aus seiner Sicht auf Dogma, Tradition, Konservatismus und Autorität basierten Institutionen setzt er eine monistische Religion und eine monistische Sittenlehre entgegen, die auf Vernunft, Erfahrung und moderner Naturerkenntnis basieren. Diese letzte lässt ihm keinen Zweifel darüber, wer im Kampf zwischen Deterministen und Indeterministen siegen muss: da die mechanischen Ursachen überall (d.h. in der belebten wie in der unbelebten Materie) nachzuweisen sind, gilt überall das „allgemeine Kausalgesetz“⁷⁷⁹. Somit ist aber auch das Welträtsel der Willensfreiheit gelöst:

Der gewaltige Kampf zwischen den Deterministen und Indeterministen, zwischen den Gegnern und den Anhängern der Willensfreiheit, ist heute [...] endgültig zugunsten der ersteren entschieden. Der menschliche Wille ist ebensowenig frei als derjenige der höheren Tiere, von welchem er sich nur dem Grade, nicht der Art nach unterscheidet.⁷⁸⁰

b. Mathematik, Philosophie, Religion

Mehrmals habe ich schon behauptet, dass der Glaube an eine uneingeschränkte allgemeine Kausalität sowie der Mechanismus zwar mit dem wissenschaftlichen Determinismus eng verbunden sind, dass man sie aber mit diesem letzten nicht ganz identifizieren sollte: der wissenschaftliche Determinismus ist zusätzlich von einem ausgeprägten mathematischen Charakter gekennzeichnet, denn er behauptet eine *Vorausberechenbarkeit* physikalischer

in der Wissenschaft spricht Ostwald ausdrücklich *nicht* vom Standpunkt einer „mechanistischen Weltanschauung“, die er im Gegenteil ablehnt (Ostwald 1960, S. 115).

⁷⁷⁷ Haeckel (ca. 1940 [1899]). Vgl. insb. S. 10-12.

⁷⁷⁸ Vgl. insb. Haeckel (ca. 1940 [1899]), Kap. 1 und Teil IV.

⁷⁷⁹ Vgl. Haeckel (ca. 1940 [1899]), S. 139-140.

⁷⁸⁰ Haeckel (ca. 1940 [1899]), S. 80. Zur Position Haeckels in Bezug auf die *Ignorabimus*-Rede von Du Bois-Reymond vgl. Mensching (2007), S. 33 und vor allem Reichenbaerger (2007), S. 69-74.

Zustände. Dieser Glaube an eine im Prinzip uneingeschränkte Vorausberechenbarkeit wurde jahrhundertlang *nicht explizit* als „wissenschaftlicher Determinismus“ bezeichnet, wie wir gesehen haben: so kann man für die Zeit bis der Mitte des 19. Jahrhunderts höchstens – und nur rückblickend – von einem „impliziten wissenschaftlichen Determinismus“ sprechen. Als aber der wissenschaftliche Determinismusbegriff gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts entstand, war sein mathematischer Charakter offensichtlich, wie wir im vorigen Absatz gesehen haben. 1877 findet man in einem Aufsatz des französischen Mathematikers Joseph Valentin Boussinesq (1842-1929)⁷⁸¹ den Zusammenhang zwischen dem wissenschaftlichen Determinismusbegriff und dem Glauben an die Vorausberechenbarkeit explizit formuliert, wobei er auch auf die schon erwähnte Entwicklung der Physiologie hinweist:

„Tous les phénomènes physiques ou physiologiques [...] comportent une représentation géométrique. [...] C'est de ce côté clair, susceptible d'être figuré, que le géomètre s'occupe, en lui imposant d'ailleurs la forme de son esprit, c'est-à-dire en assimilant les atomes à des simples points, mus dans un espace à trois dimensions, continu et divisible à l'infini. [...] DR] [L]es dérivées secondes, par rapport au temps, des coordonnées des divers atomes, mis en présence les uns des autres, égalent des fonctions, parfaitement déterminées par les lois physiques, de ces coordonnées elles-mêmes. *Telle est l'expression mathématique du déterminisme, principe qui fournit, [... DR] grâce aux lois physiques qui n'en sont que des applications particulières, les équations différentielles du mouvement des divers systèmes matériels*“⁷⁸²

Dieses Zitat fasst vieles von dem zusammen, das in den vorigen Kapiteln besprochen wurde: (i) der wissenschaftliche Determinismus basiert auf einer Reduktion der Phänomene auf geometrisch-mathematische Eigenschaften (vgl. oben, Kap. 2). (ii) Eine solche Darstellung der Realität ist kein eins-zu-eins Bild, sondern eine Konstruktion des Geistes (im Zitat, des Geistes des Geometrikers), der seinem Objekt eine spezielle Form gibt (vgl. oben, Kap. 3). (iii) Schließlich – was uns an dieser Stelle vor allem interessiert – wird der allgemeine Determinismus in der Physik speziell als Vorausberechenbarkeit der Entwicklung materieller Systeme aufgefasst.

Dass diese Vorausberechenbarkeit immer möglich sei, d.h. dass die in den Problemen der Mechanik involvierten Differentialgleichungen immer eine eindeutige Lösung hätten, hatte

⁷⁸¹ Boussinesq, Schüler und später Freund des Mathematikers, Physikers, Ingenieurs und Mechanik-Experte Adhémar Jean Claude Barré de Saint-Venant bekam 1873 auch dank dessen Unterstützung einen Lehrstuhl für Differential- und Integralrechnung an der Universität Lille. 1886 zog er nach Paris um, um dort einen Lehrstuhl an der *Académie des Sciences* sowie an der Universität Paris zu bekommen, wo er bis dem Ende seiner Karriere zuerst als Professor für physikalische (!) und experimentelle Mechanik, dann als Professor für mathematische Physik und Wahrscheinlichkeitstheorie wirkte.

⁷⁸² Boussinesq (1877), zit. in: Israel (1991), Fußnote 82; meine Hervorhebung.

man bis dem 19. Jh. einfach geglaubt⁷⁸³. Dieser implizite Glaube an die Existenz und Eindeutigkeit der Lösung der Differentialgleichungen war aber schon im frühen 19. Jh. mit Schwierigkeiten konfrontiert: das berichtet Boussinesq (1878) selbst – wie wir gleich sehen werden.

Wie wir oben, im Kap. 3., schon gesehen haben, war die Entwicklung der klassischen Mechanik ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts durch eine starke Formalisierung und Mathematisierung gekennzeichnet. Dadurch hatten die Differentialgleichungen, insbesondere im Rahmen der Arbeit an der Mechanik seitens französischer Mathematiker wie D’Alembert, Laplace und Fourier, eine zentrale Rolle eingenommen, was die Voraussetzung dafür war, dass der wissenschaftliche Determinismus später (im späten 19. Jahrhundert) mit den Existenz- und Eindeutigkeitsaussagen in Bezug auf die Differenzialgleichungen identifiziert werden wird⁷⁸⁴. Andererseits führte gerade diese Ausarbeitung der Mechanik *als Mathematik* dazu, dass einige Unstimmigkeiten bezüglich der Annahme der Existenz und Eindeutigkeit der Lösungen der Differentialgleichungen bemerkt wurden: Boussinesq (1878) listet sie auf und geht zurück bis zur Arbeit des französischen Mathematikers Siméon Denise Poisson Anfang des 19. Jahrhunderts⁷⁸⁵. Poisson hatte nämlich 1806 eine Arbeit über Differentialgleichungen veröffentlicht, in der er kurz bemerkt hatte, wie die Existenz nicht-eindeutiger Lösungen von Differentialgleichungen (eine mathematische Angelegenheit, die schon bekannt war⁷⁸⁶) mit Bezug auf die Mechanik eine noch nie berücksichtigte Schwierigkeit bedeutete: die Bewegung eines Körpers müsste im Prinzip aufgrund der Lösung der entsprechenden Differentialgleichungen vollkommen vorhersagbar sein – aber wie, wenn mehrere Lösungen mit denselben Anfangsbedingungen kompatibel sind?

⁷⁸³ Vgl. oben, §2.c.

⁷⁸⁴ Vgl. Israel (1991), S. 325 und 329. Über die zunehmende Formalisierung der Mechanik ab dem 18. Jh. vgl. oben, §3.a.

⁷⁸⁵ Wegen der Unmöglichkeit eines direkten Zugangs zu Boussinesq (1877), Boussinesq (1878) und Boussinesq (1879) muss ich mich auf den ausführlichen Zitaten aus diesen Werken basieren, die in Israel (1991) enthalten sind, sowie auf die Darstellungen von Deakin (1988), Israel (1991 und 1998) und Strien (unveröffentlicht), und schließlich auf den Besprechungen der dritten Ausgabe von Boussinesq (1878), die 1922 erschienen sind (unter Berücksichtigung des veränderten historischen Kontextes, in dem diese Erscheinung und die Besprechungen einzubetten sind): Shaw (1923), Guinet (1923), H.P.H. (1923).

⁷⁸⁶ „It was known since the eighteenth century that differential equations could have non-unique solutions: mathematicians like Clairaut, Euler, D’Alembert and Lagrange had studied so-called singular solutions of differential equations. Laplace himself had done important work on this issue [...]. This was an issue in pure mathematics; possibly it was intuitively clear to Laplace that the differential equations that appeared in physical problems had to be of a different kind, and always had a unique solution. But there was no clear mathematical foundation for this conviction” (Strien (unveröffentlicht), § 4).

„Le mouvement, dans l'espace, d'un corps soumis à l'action d'une force donnée, et partant d'une position et d'une vitesse aussi données, doit être absolument déterminé. C'est donc une sorte de *paradoxe*, que les équations différentielles dont le mouvement dépend puissent être satisfaites per plusieurs équations“⁷⁸⁷

Wir könnten dieses „Paradox“ als eine Art ‚mathematische Unter determiniertheit‘ betrachten: dieselben Anfangsbedingungen sind mit mehreren mathematischen Beschreibungen „zukünftiger“ Zustände kompatibel. Poisson versucht zwischen 1806 und 1833 zwei Argumentationslinien, um diese Schwierigkeit zu lösen⁷⁸⁸. Bei der ersten geht er davon aus, dass, auch falls es mathematisch mehrere Lösungen gibt, physikalisch nur eine von ihnen „die richtige“ sei (d.h. nur eine würde der realen Fortsetzung der Bewegung des Körpers entsprechen): zusätzliche (neben den Anfangsbedingungen und den Gesetzen der Mechanik) physikalische Überlegungen bezüglich des jeweiligen, individuell betrachteten Problems würden dann erlauben, die richtige Lösung herauszufinden⁷⁸⁹. Bei der zweiten Argumentationslinie (die die erste nicht ausschließt, sondern eher ergänzt) weist Poisson auf den Unterschied zwischen Mathematik und Realität hin: nicht-eindeutige Lösungen gäbe es nur bei theoretischen Problemstellungen, während eine solche paradoxe Situation sich nicht in der Realität ergäbe (eine Behauptung, die er nicht wirklich begründet⁷⁹⁰). Man merke übrigens, wie jenes Bewusstsein einer Kluft zwischen mathematisch formulierter Mechanik und Realität, das ich oben im Kap. 3 als Grund einer Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus dargestellt habe, in diesem Fall zugunsten des Determinismus ins Spiel gebracht wird: noch eine paradoxe Entwicklung der Determinismusfrage.

Die Argumentationslinien Poissons erscheinen wieder in zwei französischen Werken des Mathematikers (und Wirtschaftstheoretikers) Antoin-Augustin Cournot (Cournot 1841) bzw. des Mathematikers und Physikers Jean Marie Constant Duhamel (Duhamel 1845), die anscheinend die einzigen sind, die das Problem der ‚mathematischen Unter determiniertheit‘ (wie ich es bezeichnet habe) in den vier Jahrzehnten zwischen der Arbeit Poissons und den späten 1870er Jahren kurz behandeln: die Existenz mehrerer Lösungen der

⁷⁸⁷ Poisson (1806), zit. in Israel (1991), Fußnote 73. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass Poisson schon 1805 explizit von Determinismus spricht: im Rahmen des erwähnten Aufsatzes möchte er nämlich „signaler la difficulté que les intégrales singulières font naître au point de vue d'un *déterminisme* absolu“ (Poisson 1806, zit. in Israel 1991, Fußnote 71; meine Hervorhebung). Dies ist eine Ausnahme zur These von Cassirer/Hacking (die ich in dieser Arbeit übernehme und vertiefe), laut der der Determinismusbegriff im wissenschaftlichen Sinne erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entstand.

⁷⁸⁸ Vgl. Strien (unveröffentlicht), § 5.

⁷⁸⁹ Man merke jedoch, dass diese Lösung den wissenschaftlichen Determinismus als Annahme der Vorausberechenbarkeit späterer (oder früherer) Zustände aufgrund *ausschließlich* der Anfangsbedingungen und der mechanischen Gesetze (was die Leistung des Laplaceschen Geistes war) nicht rettet.

⁷⁹⁰ Vgl. Strien (unveröffentlicht), § 5.

Differentialgleichungen betrachten beide im Grunde wie eine Anomalie, die durch einen Bezug zu der physikalischen Realität wegzu erklären sei⁷⁹¹.

In den 1870er Jahren wird aber diese Frage plötzlich brisant, was wieder zugunsten der These spricht, dass die Determinismusfrage genau in dieser Zeit einen Höhepunkt erreichte. Boussinesq (1877; 1878; 1879) beruft sich nämlich auf die Möglichkeit der Existenz mehrerer Lösungen der Differentialgleichungen, und insbesondere auf die Existenz singularer Lösungen (*solutions particulières*), um der menschlichen Willensfreiheit Mitte im Bereich der mechanischen Gesetze, und ohne derer Gültigkeit zu leugnen, Platz zu schaffen. Die ‚mathematische Unter determiniertheit‘ scheint aus seiner Sicht tatsächlich auf eine physikalische Unter determiniertheit hinzuweisen: Die Entwicklung eines physikalischen Systems würde laut Boussinesq in seltenen Fällen, die vor allem im Bereich des Lebendigen vorkommen würden, „Bifurkationen“ (*pointes de bifurcation* oder *lieux de bifurcation d'intégrales*) zeigen, bei denen nicht die mechanischen Gesetze (die ja dafür offensichtlich nicht reichen), sondern ein *principe directeur* entscheiden würde, welchem Weg die Entwicklung des Systems tatsächlich folgen wird:

„S'il [= le sens pratique] nous apprend, d'une part, que les faits du monde inanimé se déroulent suivant des voies qui ne se bifurquent jamais, et où le géomètre n'a pas à craindre de rester indécis sur la vraie solution lorsqu'il a mis *completely* en équation les problèmes, il nous fait connaître, d'autre part, un principe *directeur*, le *moi* qui juge et qui veut, capable de changer à diverses reprises et en dehors de toute prévision humaine le cours des phénomènes visibles compris dans sa sphère d'activité. Puisque ces changements de direction se font sans contrevenir aux principes généraux de la Mécanique ni probablement sans rompre la continuité des faits, n'est-il pas naturel de penser que le rôle du libre arbitre s'y borne à utiliser des solutions singulières, qu'admettent alors les équations du mouvement, pour passer d'un système d'intégrales particulières à un autre système ? S'il en est ainsi, la liberté ne limite pas le déterminisme : elle ne fait que le compléter dans des cas où les lois physiques, tout en s'observant pleinement, sont impuissantes à déduire l'avenir du présent, à tracer aux phénomènes une voie complètement fixée [...]“⁷⁹²

Dieses Zitat zeigt die wichtigsten Facetten der Determinismusfrage, so wie sie seit ungefähr der Mitte des 19. Jahrhunderts behandelt wurde: sie ist an einer Zwischenstelle zwischen wissenschaftlichem und ethischem Determinismus zu verorten, und sie wird oft in Form einer Antinomie zwischen unumstrittener Geltung wissenschaftlicher Gesetze und erlebter Freiheit des Willens formuliert. Ganz jener Ambiguität entsprechend, die ich im vorigen Absatz mit

⁷⁹¹ Vgl. Israel (1991), S. 343 und Strien (unveröffentlicht), § 6.

⁷⁹² Boussinesq (1877), zit. in Israel (1991), Fußnote 83. Eine ausführlichere Darstellung der mathematischen Aspekte des Arguments von Boussinesq findet man in Strien (unveröffentlicht), § 7 und 8.

Bezug auf die Stellungnahmen der Physiologen mehrmals hervorgehoben habe, präsentiert Boussinesq eine Lösung, die beide Seiten der Antinomie „retten“ soll: die mathematischen Gesetze der Mechanik gelten *pleinement*, weil der *principe directeur* ohne Anwendung jeglicher physikalischen Kraft wirken würde, so dass der *géomètre* keinen Grund für Verunsicherung hat (man erinnere sich an Fechner, der schon viel früher den „Forscher“ mit der Behauptung beruhigen wollte, dass er niemals gegen Gesetzlosigkeit stoßen wird⁷⁹³); trotzdem würden die Bewegungsgleichungen, indem sie manchmal singuläre Lösungen zulassen, dem *principe directeur* (man merke, wie Boussinesq hier den Begriff der *idée directrice* von Claude Bernard wieder aufnimmt) eine Rolle einräumen, so dass die menschliche Freiheit innerhalb gewisser Grenzen als möglich erscheint. Auch bei Boussinesq mündet die Ambiguität in einen schwierig zu beweisenden Schluss: „S’il en est ainsi, la liberté ne limite pas le déterminisme : elle ne fait que le compléter [...]“.

Der erste Aufsatz, in dem Boussinesq anfänglich sein Konzept entwickelte (Boussinesq 1877) wurde von seinem ehemaligen Lehrer und Freund Saint-Venant in einer eigenen Version an der Académie des Sciences präsentiert: Saint-Venant (1878) spricht von Systemen, bei denen ein *travail décrochant* mit unendlich kleiner Energie eine sehr große Auswirkung auf die folgende Entwicklung des Systems hat⁷⁹⁴. Wie in dem Fall eines Loslösens des Wassers aus einem Damm oder im Fall einer von einem kleinen Funken ausgelösten Explosion könnte auch unser Gehirn nur mittels kleinster Vibrationen physikalische Prozesse wie die Bewegung unseres Körpers frei (von den mechanischen Gesetzen, die diesen Freiraum zulassen würden) steuern⁷⁹⁵. Boussinesq wird später den Unterschied zwischen der eigenen Version und der von Saint-Venant minimieren, so dass die beiden zusammen rezipiert wurden⁷⁹⁶: es ging allgemein darum, auf die Möglichkeit hinzuweisen, dass die Entwicklung einiger Systeme durch die mathematisch formulierten Gesetze der Mechanik (1) unterdeterminiert bleibt und (2) einen Freiraum für eine „außermechanische“, nicht vorherbestimmte Intervention lässt.

⁷⁹³ Vgl. oben, §6.a.

⁷⁹⁴ Hacking (1990, S. 155) macht die Ähnlichkeit zwischen dem Konzept von Boussinesq und dem von Saint-Venant klar, wie folgt: „The two men were fascinated by equations with singular points *a*, such that by substituting values arbitrarily close to and less than *a*, one got solutions wildly different from those of values arbitrarily close to but larger than *a*.“

⁷⁹⁵ Vgl. Deakin (1988), § 5, Israel (1991), S. 348-349. Deakin berücksichtigt auch die Ähnlichkeiten, die es zwischen diesem Konzept und der modernen Chaostheorie gibt.

⁷⁹⁶ Der wichtigste Unterschied ist, dass der *principe directeur* von Boussinesq überhaupt keine physikalische Kraft implizieren würde, während Saint-Venant von einer unendlich kleinen Kraft spricht. Während dieser Unterschied heutzutage als wichtig erscheint, um die Verwandtschaft dieser Konzepte mit der modernen Chaostheorie einzuschätzen, wurde er in der damaligen Diskussion selbst von Boussinesq als nicht wesentlich betrachtet (vgl. Strien (unveröffentlicht), § 10).

Das Konzept von Boussinesq / Saint-Venant, das heutzutage ziemlich in Vergessenheit geraten ist, löste damals eine Vielfalt an Reaktionen aus und bekam viel Aufmerksamkeit. Um diese Aufmerksamkeit zu erklären und um diese Reaktionen zu verstehen, muss man noch einmal den populärwissenschaftlichen und ideologischen Kontext rekonstruieren und berücksichtigen, in den das Konzept von Boussinesq fiel.

Dank Mary Jo Nye (1976) wissen wir, dass Boussinesq ein strenggläubiger Katholik und ein Mitglied der 1875 gegründeten *Société Scientifique de Bruxelles* war, die in Belgien sowie in Frankreich das Ziel verfolgte, die moderne Wissenschaft in die katholische Ausbildung einzuholen und sie mit dem katholischen Glauben, der den Glauben an die menschliche Freiheit implizierte, zu vereinbaren⁷⁹⁷. Die *Société* hatte auch eine eigene Zeitschrift, die *Revue des questions scientifiques*, die die Wissenschaftspopularisierung als Hauptzweck hatte⁷⁹⁸: in dieser Zeitschrift, in der auch die französische Übersetzung der *Ignorabimus*-Rede von Du Bois-Reymond erschien⁷⁹⁹, wurde der Arbeit von Boussinesq viel Aufmerksamkeit geschenkt⁸⁰⁰, was die Rezeption und Diskussion seines Konzepts auf internationaler Ebene begünstigte.

So schrieb z.B. Maxwell am 26. Februar 1879 in einem Brief an Francis Galton:

Do you take any interest in Fixt [sic] Fate, Free Will &c. If so Boussinesq [...] ‘Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l’existence de la vie et de la liberté morale’ (Paris 1878) does the whole business by the theory of the singular solutions of the differential equations of motion. Two other Frenchmen have been working on the same or a similar track. Cournot (now dead) and de St Venant [...]

There are certain cases in which a material system, when it comes to a phase in which the particular path which it is describing coincides with the envelope of all such paths may either continue in the particular path or take to the envelope (which in these cases is also a possible path) and which course it takes is not determined by the forces of the system (which are the same for both cases) but when the bifurcation of paths occurs, the system, ipso facto, invokes some determining principle which is extra physical (but not extra natural) to determine which of the two paths is to follow.

⁷⁹⁷ Vgl. Nye (1976), S. 274-277. Im selben Jahr der Gründung der *Société* wurde es der katholischen Kirche in Frankreich erlaubt, fünf katholische Universitäten zu gründen. Die *Société* hatte auch direkte Verbindungen zum Vatikan. Diese Tätigkeiten waren Teil der Selbstverteidigung der Kirche gegen die französische, antiklerikale Dritte Republik. Vgl. auch MacLeod (1982, S. 7): „In France, following the war of 1870-1871, the anti-clerical establishment had founded the central ideology of the Third Republic on the cult of reason and science, but by the 1890s their role was insecure and under repeated attack by the Catholic ‘anti-establishment’“. Was insbesondere die *Société Scientifique de Bruxelles* betrifft, würde ich aber nicht behaupten, dass sie *tout court* wissenschaftsfeindlich gewesen wäre, wie im Folgenden klar werden sollte.

⁷⁹⁸ „The *Revue des questions scientifiques* was primarily a journal for the popularization of science. In most cases the articles in the review are essays surveying contemporary investigations and theories in the various physical, biological, and social sciences, and seldom does an article summarize researches carried out by its writer“ (Nye 1976, S. 277).

⁷⁹⁹ Vgl. Nye (1976), S. 280.

⁸⁰⁰ Vgl. Nye (1976), S. 281.

[...]

In most of the former methods Dr. Balfour Stewart &c there was a certain small but finite amount of travail decrochant or trigger-work for the Will to do. Boussinesq has managed to reduce this to mathematical zero, but at the expense of having to restrict certain of the arbitrary constant of motion to mathematically definite values, and this I think will be found in the long run, very expensive.

But I think Boussinesq's method is a very powerful one against metaphysical arguments about cause and effect and much better than the insinuation that there is something loose about the laws of nature [...] ⁸⁰¹

Maxwell denkt also, dass das Konzept von Boussinesq "does the whole business" in Bezug auf die Frage nach der Willensfreiheit. Aber er macht uns auch darauf aufmerksam, dass auch andere in den 1870er Jahren in dieselbe Richtung wie Boussinesq gedacht haben. Bevor wir „Balfour Stewart &c“ in Betracht ziehen, lohnt es sich, zu merken, dass Maxwell selbst, in seinem von mir schon erwähnten (vgl. oben, §4.d), aber noch nicht besprochenen „Essay for the Eranus Club on Science and Free Will“ (1873) ⁸⁰² das Konzept von Boussinesq / Saint Venant teilweise vorwegnimmt. In diesem geistreichen Essay versucht Maxwell, die Folgen der letzten Entwicklungen der Physik für das philosophische Problem der Willensfreiheit einzuschätzen ⁸⁰³. Unter den genannten Entwicklungen hebt Maxwell jene der „molecular science“ besonders hervor, zusammen mit der *statistischen* Erkenntnis, die mit dieser verbunden ist ⁸⁰⁴. Diese Art Erkenntnis – betont Maxwell – ist asymmetrisch mit Bezug auf die Zeit: sie erlaubt sehr verlässliche (wenn auch nicht hundertprozentig sichere) Vorhersagen, lässt uns aber normalerweise die Vergangenheit nicht rekonstruieren. Umgekehrt gibt es Fälle – so setzt Maxwell fort –, bei denen es unmöglich wird, die zukünftige Entwicklung eines Systems tatsächlich vorherzusagen, weil unendlich kleine Unterschiede in den Werten der Variablen zu einem gewissen Zeitpunkt einen sehr großen Unterschied für den Zustand des Systems zu einem auch kurz darauffolgenden Zeitpunkt machen. Da unsere Erkenntnis der „Anfangsbedingungen“ notwendigerweise approximativ

⁸⁰¹ Maxwell (2002 [1879]), S. 756-758.

⁸⁰² Maxwell (1995 [1873a]). Der Titel des Essays ist: "Does the Progress of Physical Science Tend to Give Any Advantage to the Opinion of Necessity (or Determinism) Over That of the Contingency of Events and the Freedom of the Will?"

⁸⁰³ "There are certain questions [...] which form the *pieces de resistance* of philosophy, on which men of all ages have exhausted their arguments, and which are perfectly certain to furnish matter of debate to generations to come, and which may therefore serve to show how we are drifting. At a certain epoch of our adolescence those of us who are good for anything begin to get anxious about these questions, and unless the cares of this world utterly choke our metaphysical anxieties, we become developed in advocates of necessity or of free-will" (Maxwell 1995 [1873a], S. 815). "It is absolutely manifest [...] that any development of physical science is likely to produce some modification of the methods and ideas of philosophers, provided that the physical ideas are expounded in such a way that the philosophers can understand them" (Maxwell 1995 [1873a], S. 817).

⁸⁰⁴ Diese Aspekte der Arbeit Maxwells habe ich im vorigen Kapitel besprochen (§4.c.).

ist, wird es unmöglich, die Entwicklung solcher „instabilen“ Systeme vorherzusagen⁸⁰⁵. Maxwell spricht von „instability“ und „singularity“ in Bezug auf komplexe physikalische Systeme⁸⁰⁶, und merkt, dass im Fall dieser instabilen Systeme „the axiom about like causes producing like effects ceases to be true“⁸⁰⁷. Seine Veranschaulichung solcher Systeme erinnert schon an den (späteren) Begriff des *travail décrochant* von Saint Venant, aber sie ist durch den geistreichen Ton des Essays gekennzeichnet:

For example, the rock loosed by frost and balanced on a singular point of the mountain-side, the little spark which kindles the great forest, the little word which sets the world a fighting, the little scruple which prevents a man from doing his will, the little spore which blights all the potatoes, the little gemmule which makes us philosophers or idiots. [...] At this points, influences whose physical magnitude is too small to be taken account of by a finite being, may produce results of the greatest importance⁸⁰⁸.

An diesen „singular points“ verortet Maxwell schon vor Boussinesq die Determinismusfrage: nur, er lässt sie im Endeffekt offen⁸⁰⁹ und gibt sich damit zufrieden, durch den Hinweis auf die oft vorkommende tatsächliche Unmöglichkeit einer Vorhersage in der Physik das Vorurteil zugunsten des Determinismus zu beseitigen, das gerade aus der Orientierung an der Physik oft entsteht⁸¹⁰. Ein Grund, warum Maxwell die Frage offen lässt, ist auch in seiner anti-metaphysischen Einstellung zu finden: er weigert sich explizit, für die Beantwortung der

⁸⁰⁵ Maxwell (1995 [1873a]), S. 819-820.

⁸⁰⁶ Maxwell (1995 [1873a]), S. 819 und 821.

⁸⁰⁷ Maxwell (1995 [1873a]), S. 821-22.

⁸⁰⁸ Maxwell (1995 [1873a]), S. 822.

⁸⁰⁹ “In the course of this our mortal life we more or less frequently find ourselves on a physical or moral watershed, where an imperceptible deviation is sufficient to determine into which of two valleys we shall descend. The doctrine of free will asserts that in some such cases the Ego alone is the determining cause. The doctrine of Determinism asserts that in every case, without exception, the result is determined by the previous conditions of the subject, whether bodily or mental [...]” (Maxwell 1995 [1873a], S. 820). Durch den Ausdruck “whether bodily or mental” unterscheidet sich die Formulierung der Determinismusfrage seitens Maxwell von der Fragestellung von Boussinesq / Saint Venant, denn für die letzten die Grenzlinie zwischen Determinismus und Nicht-Determinismus gerade zwischen dem Körperlichen (Materiellen) und dem Mentalen verlief. Die Tatsache, dass ein „mentales“ Element manchmal die weitere Entwicklung eines Systems mitbestimmen „muss“ (weil die Gesetze der Mechanik dafür nicht reichen), interpretierten sie schon als Möglichkeit der Freiheit. Der Unterschied in der Fragestellung ist mit ein Grund, weswegen Maxwell die Frage „Determinismus oder Freiheit“ – so wie sie in den späten 1870er Jahren z.B. von Boussinesq und St. Venant aufgefasst wurde – nicht beantwortet.

⁸¹⁰ Der Essay endet nämlich so: “If, therefore, those cultivators of physical science from whom the intelligent public deduce their conception of the physicist, and whose style is recognized as marking with a scientific stamp the doctrines they promulgate, are led in pursuit of the arcana of science to the study of the singularities and instabilities, rather than the continuities and stabilities of things, the promotion of natural knowledge may tend to remove that prejudice in favour of determinism which seems to arise from assuming that the physical science of the future is a mere magnified image of that of the past” (Maxwell 1995 [1873a], S. 823). Man merke, wie auch dieses Zitat eine Praxis der Wissenschaftspopularisierung andeutet.

Determinismusfrage jegliches allwissende Wesen⁸¹¹ sowie jeglichen metaphysischen Satz, wie „from the same antecedents follow the same consequents“⁸¹², in Betracht zu ziehen. Sechs Jahre später hält Maxwell das Konzept von Boussinesq, wie wir gesehen haben, für „a very powerful one against metaphysical arguments about cause and effect“⁸¹³. In einer Zeit, in der viele Naturwissenschaftler außermechanische Begriffe (wie die der Vitalisten) als unbegründete Metaphysik zurückwiesen, warnte Maxwell umgekehrt vor dem metaphysischen Charakter deterministischer Konzepte.

Im zitierten Brief an Galton erwähnt Maxwell auch „Balfour Stewart &c“: auf wen bezieht er sich da? Balfour Stewart (1828-1887) war ein schottischer Physiker, der 1875 gemeinsam mit dem Physiker und langjährigen Freund von Maxwell Peter Guthrie Tait (1831-1901)⁸¹⁴ das Buch *The Unseen Universe: or Physical Speculations on a Future State* anonym veröffentlichte⁸¹⁵. Die beiden Physiker wollten u.a. durch dieses populärwissenschaftliche Buch den Materialismus, die säkularistische Wissenschaftsauffassung und den szientistisch motivierten Fortschrittsglaube opponieren, die Kollegen wie Thomas Henry Huxley und John Tyndall vertraten: Teil ihrer Strategie war dabei, die Idee einer Unversöhnlichkeit zwischen Wissenschaft und Religion zu widerlegen⁸¹⁶ – genau dasselbe Ziel der schon erwähnten *Société Scientifique de Bruxelles*, zu der Boussinesq gehörte.

Was die Frage nach dem Verhältnis zwischen Religion und Wissenschaft anbelangt, war Maxwell sehr vorsichtig und hielt den religiösen Glauben grundsätzlich für Privatsache⁸¹⁷. Trotzdem besprach er 1878 für *Nature* die Folge jenes Buchs: *Paradoxical Philosophy. A*

⁸¹¹ “Now, when we speak of causes and effects, we always imply some person who knows the causes and deduces the effects. Who is this person? Is he a man, or is he the Deity? [...] If he is the Deity, I object to any argument founded on a supposed acquaintance with the conditions of Divine foreknowledge.” (Maxwell 1995 [1873a], S. 820-821).

⁸¹² “It is a metaphysical doctrine that from the same antecedents follow the same consequents. No one can gainsay this. But it is not of much use in a world like this, in which the same antecedents never again concur, and nothing ever happens twice.” (Maxwell 1995 [1873a], S. 821). Hier argumentiert Maxwell interessanterweise ähnlich wie der schon erwähnte Fechner und wie der noch zu erwähnen Émile Boutroux.

⁸¹³ Über die Position Maxwells in Bezug auf die Determinismusfrage im wissenschaftlichen *und* im ethischen Sinne vgl. auch Porter (1986), S. 194-208 und Harman (1998), S. 197ff. Porter fokussiert insbesondere Thermodynamik und statistische Erkenntnis, während Harman die Debatte um den Begriff der Energie.

⁸¹⁴ Tait war mit Maxwell eng befreundet: eine Freundschaft, die schon während der Schulzeit anging (vgl. Seitz 2001, S. 9-10).

⁸¹⁵ Vgl. Harman (1998), S. 201.

⁸¹⁶ Vgl. Harman (1998), S. 200-201.

⁸¹⁷ Porter (1986, S. 194-208) behauptet: „A deeply religious man, Maxwell was sensitive to the limitations of natural science“; er scheint dafür zu argumentieren, dass Maxwell auch aus religiösen Gründen die indeterministische Seite der statistischen Erkenntnis hervorgehoben hätte, um der menschlichen Freiheit einen Platz einzuräumen. Mir scheint Maxwell, zumindest in seinen Veröffentlichungen, sehr vorsichtig zu sein – wie auch Harman (1998, S. 201-202) betont: „Any harmonisation between science and religion was personal, and, he wrote in March 1875, ‘ought not to be regarded as having any significance except for the man himself, and to him only for a time’. Unwilling to be drawn into public debate and to profess the accommodation of science and religion, he nevertheless made clear his difference with Tyndall”.

*Sequel to the „Unseen Universe“*⁸¹⁸, ebenfalls von Tait und Stewart geschrieben. Stewart hatte Maxwell schon in seinem „Essay for the Eranus Club“ als denjenigen erwähnt, der die Frage der Instabilität physikalischer Systeme in Zusammenhang mit der Frage des ethischen Determinismus gebracht hatte. In der Buchbesprechung für *Nature* erwähnt Maxwell wieder die Theorie der „singular points“ mit Bezug auf Stewart und diesmal auch auf Saint-Venant und Boussinesq⁸¹⁹. Er verrät in diesem Kontext aber auch, woher die Sorge kam, die die Theorie der Abzweigungen beruhigen hätte sollen: aus der Physiologie, oder aus der „Psychophysik“ – wie zu erwarten war⁸²⁰: „physiology may supply a continually increasing number of illustrations of the dependence of our actions, mental as well as bodily, on the condition of our material organs [...]“⁸²¹.

Die schon erwähnten Physiologen Claude Bernard und Emil Du Bois-Reymond, die von Boussinesq (1878) selbst ins Spiel gebracht worden waren⁸²², äußerten sich kritisch gegenüber der Strategie von Boussinesq, um den freien Willen zu „retten“: während der erste sofort jede angebliche Verwandtschaft seines Begriffs der *idée directrice* mit dem *principe directeur* von Boussinesq deswegen zurückwies, weil Boussinesq sich aus seiner Sicht vom *déterminisme scientifique* zu weit entfernt hatte⁸²³, merkt man hinter der ausführlichen Kritik von Du Bois-Reymond an dem Konzept von Boussinesq vor allem die Befürchtung gegenüber einem neu begründeten Vitalismus. In seinem Vortrag über „Die sieben

⁸¹⁸ Nicht ohne Verzögerung bespricht Maxwell die Folge dieses Buchs für *Nature*: „On opening this book, the general appearance of the pages, and some of the phrases on which we happened to light made us somewhat doubtful whether it lay within our jurisdiction, as it is not the practice of *Nature* to review either novels or theological works” (Maxwell 1878, S. 141). „*Nature* is a journal of science, and one of the severest tests of a scientific mind is to discern the limits of the legitimate application of scientific methods. We shall therefore endeavor to keep within the bounds of science in speaking of the subject-matter of this book, remembering that there are many things in heaven and earth which, by the selection required for the application of our scientific methods, have been excluded from our philosophy” (Maxwell 1878, S. 142).

⁸¹⁹ Maxwell (1878), S. 142: „The dynamical theory of a conservative material system shows us [...] that *in general* the present configuration and motion determines the whole course of the system, exceptions to this rule occurring only at the instants when the system passes through certain isolated and singular phases, at which a strictly infinitesimal force may determine the course of the system to any one of a finite number of equal possible paths, as the pointsman at the railway junction directs the train to one set of rails or another. Prof. B. Stewart has expounded a theory of this kind in his book ‘The Conservation of Energy’, and MM. de St. Venant and Boussinesq have examined the corresponding phase of some purely mathematical problems”.

⁸²⁰ Physiologie und Psychophysik werden beide von Maxwell erwähnt, der dann in Bezug auf ihre Entwicklungen bemerkt: “[...] men of science, speculating, in their non-scientific intervals, like other men on what science may possibly lead to, have prophesied that we shall soon have to confess that the soul is nothing else than a function of certain complex material systems” (Maxwell 1878, S. 142). Maxwell erwähnt auch Du Bois-Reymond, um eine gewisse wissenschaftliche Theorie von ihm zu kritisieren: bemerkenswert ist aber, dass er selbst im Rahmen dieser Besprechung eine ähnliche Stellungnahme wie das „Ignorabimus“ von Du Bois-Reymond vertritt. Er scheint nämlich immer wieder zu behaupten, dass es Fragen gibt, die „quite beyond the range of science“ hinausgehen (vgl. den Schluss seiner Buchbesprechung).

⁸²¹ Maxwell (1878), S. 142.

⁸²² Vgl. Israel (1991), S. 347 und Engelhardt (2007), S. 99.

⁸²³ Vgl. Israel (1991), S. 347-348.

Welträtsel“ (1880) warnte Du Bois-Reymond vor dem Versuch, „die Bande des mechanischen Determinismus durch den Nachweis zu sprengen, daß [...] ohne Kraftaufwand Bewegung erzeugt oder die Richtung der Bewegung geändert werden könne“⁸²⁴. Interessanterweise bezeichnet Du Bois-Reymond das von ihm kritisierte Konzept durch den Ausdruck „mechanischen Indeterminismus“⁸²⁵.

Auch der Mathematiker Joseph Bertrand kritisierte das Konzept von Boussinesq: Bertrand berief sich interessanterweise wieder auf die Kluft zwischen Mathematik und Physik (er war übrigens Schüler des schon erwähnten Duhamel), und behauptete einerseits, dass die „mathematische Unter determiniertheit“ bloß eine Folge des approximativen und idealisierten Charakters der Mathematik war und der (notwendigerweise deterministischen) physikalischen Realität nicht ganz entsprach, andererseits protestierte er dagegen, dass die menschliche Freiheit auf eine Eigenschaft der Differentialgleichungen zurückgeführt werde⁸²⁶. Schließlich scheint auch der Sekretär der *Société Scientifique de Bruxelles*, der Jesuit und Physiker Ignace Carbonelle, die argumentative Strategie von Boussinesq aufgegeben zu haben⁸²⁷.

Das Repertoire an Argumenten, die den französischen (und belgischen) Katholiken zu Verfügung stand, war mit Boussinesq überhaupt nicht erschöpft. Vor allem anhand der Arbeit von Nye (1976 und 1979) kann man ein Netzwerk von persönlichen und institutionellen Verbindungen rekonstruieren⁸²⁸, innerhalb dessen der wissenschaftliche Determinismus durch verschiedene Arten der Relativierung der Gültigkeit wissenschaftlicher Theorien und Gesetze zurückgewiesen wurde, ohne aber der Wissenschaft ihren Wahrheitsanspruch ganz abzusprechen, sondern in völliger Anerkennung ihres Werts.

Unter den Mitgliedern der *Société Scientifique de Bruxelles* war Paul Tannery (1843-1910), Ingenieur und Wissenschaftshistoriker⁸²⁹. Die Arbeit im Bereich der Wissenschaftsgeschichte war eine wichtige Angelegenheit innerhalb der *Société*, denn in den 1870er Jahren wurde eine Reihe antiklerikaler Arbeiten gerade in diesem Bereich veröffentlicht, die die Kirche als

⁸²⁴ Du Bois-Reymond (1912 [1886/87]), Bd. II, S. 88.

⁸²⁵ Du Bois-Reymond (1912 [1886/87]), Bd. II, S. 90. Du Bois-Reymond bezieht sich auch auf die Variante von Saint-Venant.

⁸²⁶ Mehr über den Streit zwischen Bertrand und Boussinesq in Strien (unveröffentlicht), § 9 und 10 und Israel (1991), S. 350-352.

⁸²⁷ Vgl. Nye (1976), S. 281.

⁸²⁸ Obwohl ich mich an die Arbeit von Nye für diese Rekonstruktion stütze, bin ich für diese selbst verantwortlich.

⁸²⁹ „By the 1880s Paul Tannery was pursuing two careers, one in engineering and administration, and a second in historical scholarship whereby he gave a *course libre* at the Sorbonne in 1884-85 on the history of mathematics“ (Nye 1979, S. 110).

wissenschaftsfeindliche und fortschritthemmende Institution präsentierte⁸³⁰. Dieser Strömung setzte die *Société* eine eigene Reihe wissenschaftshistorischer Arbeiten entgegen, die in der eigenen *Revue des questions scientifiques* veröffentlicht bzw. besprochen wurden. Diese verschiedenen Arbeiten haben einen gemeinsamen Zug: ohne der Wissenschaft ihren Wert abzusprechen, relativieren sie ihren Geltungsanspruch. Betont werden zum Beispiel die Kluft zwischen wissenschaftlichen Theorien und Realität, der konventionelle Ursprung wissenschaftlicher Begriffe, der approximative Charakter physikalischer Gesetze, die bloß symbolische Natur mathematischer Formeln, und die Underdeterminiertheit wissenschaftlicher Theorien durch die Erfahrung bzw. die Experimente. Unter den Namen der in diese Richtung arbeitenden Wissenschaftshistoriker sticht der Name von Pierre Duhem hervor, der 1892, 1893 und 1894 drei wichtige Artikel in der *Revue des questions scientifiques* veröffentlichte und für dieselbe Zeitschrift auch wichtige Werke (z.B. von Poincaré, Boltzmann, Maxwell und Hertz) besprach⁸³¹. Diese in vielen Hinsichten relativierende Auffassung der Gültigkeit wissenschaftlicher Theorien und Gesetze hat natürlich mehr oder weniger indirekt auch für die Determinismusfrage wichtige Folgen und wirkt normalerweise schwächend auf den wissenschaftlichen Determinismus⁸³².

Nicht zufällig steht der schon erwähnte Wissenschaftshistoriker Paul Tannery, der Mitglied der *Société Scientifique de Bruxelles* war, im Zusammenhang mit einem der wichtigsten antideterministischen Werke des 19. Jahrhunderts, dem 1874 erschienenen Buch *De la contingence des lois de la nature*, von Émile Boutroux (1845-1921). Das Buch war Boutroux' Doktorarbeit, die – wie er selbst erzählte – im kontinuierlichen Gespräch mit Paul Tannery und seinem Bruder, dem Mathematiker Jules Tannery, eine wichtige Inspirationsquelle

⁸³⁰ Vgl. Nye (1976), S. 282. Unter den antiklerikalen Wissenschaftshistorikern war der schon erwähnte John Tyndall.

⁸³¹ Diese höchstinteressante „Wurzel“ bzw. dieser Kontext des Konventionalismus von Duhem, die Nye (1976, insb. S. 284-285) in ihrem Aufsatz ans Licht bringt, würden m.E. weitere Forschung und mehr Aufmerksamkeit verdienen. MacLeod (1982, S. 9) sieht hinter „different labels as conventionalism, instrumentalism, and nominalism“ eine Art ‚Strategie der Bescheidenheit‘ seitens der Wissenschaftler, um sich von den damals immer üblicheren Angriffen auf die Wissenschaft zu verteidigen (auch Poincaré hätte laut MacLeod diese Strategie verfolgt. Zum ‚Kampf‘ von Poincaré gegen den Antiintellektualismus vgl. unten in diesem Absatz seine Kontroverse mit Le Roy).

⁸³² Nye sieht auch einen Zusammenhang zwischen der relativierenden bzw. nicht-realistischen Wissenschaftsauffassung, die sich um die *Société Scientifique de Bruxelles* entwickelte, und einer Renaissance der Kantischen Philosophie in Frankreich (Vgl. Nye 1976, Fußnote 56): dies würde meine These untermauern, dass ein Prozess der Schwächung des Determinismus durch eine nicht-realistische Auffassung wissenschaftlicher Theorien sich langsam aus der Kantischen Philosophie heraus entwickelte (vgl. oben., Kap. 3). Insbesondere schwächen alle Argumente, die auf eine Kluft zwischen wissenschaftlichen Theorien und Realität hinweisen, die „Tiefe“ der determinierenden Verhältnisse (vgl. oben., Kap. 3). Ausnahmen sind natürlich aus logischer Sicht möglich und historisch tatsächlich vorgekommen (z.B. im Fall der schon erwähnten Duhamel und Betrand): man kann durchaus auf eine Kluft zwischen mathematisch formulierten Gesetzen und Realität verweisen, um einen ontologisch aufgefassten Determinismus trotz z.B. dem approximativen oder nicht-deterministischen Charakter der Gesetze zu verteidigen.

fand⁸³³. Boutroux besprach mit seinen Freunden wieder die Frage, inwiefern wissenschaftliche (deterministische) Theorien und Gesetze der Realität entsprechen: es ging also um das schon mehrmals erwähnte „Anwendungsproblem“⁸³⁴. Übrigens beteiligte sich auch der Bruder von Paul Tannery, Jules, an jener Relativierung des Wahrheitsanspruchs der Wissenschaft, die so typisch für die *Société Scientifique de Bruxelles* war, und warnte immer wieder davor, den Realitätsbezug jener bloß symbolischen Konstruktion, die die Mathematik sei, zu überschätzen⁸³⁵.

Boutroux' *De la contingence des lois de la nature* – dessen Titel ursprünglich „Le Déterminisme dans ses rapports avec les sciences physiques et les sciences morales“ hätte sein sollen⁸³⁶ – ist für den Anti-Deterministen, der nicht unbedingt wissenschaftsfeindlich argumentieren will, eine ergiebige Quelle von Argumenten: die wichtigsten möchte ich nun versuchen, kurz und systematisch zu rekonstruieren, ohne mich in das Werk und die Philosophie von Boutroux im Detail zu vertiefen⁸³⁷.

Im Ansatz von Boutroux kann man die Entwicklungslinie erkennen, die ich im Kap. 3 dargestellt habe, und die ausgehend von dem Kantischen Bewusstsein der Existenz eines (später so genannten) „Anwendungsproblems“ zur Anerkennung einer Kluft zwischen determinierenden „Natur“gesetzen und Realität gelangt⁸³⁸:

⁸³³ “Especially thanks to conversations pursued at Caen with the Tannery brothers, I composed a philosophical thesis where I tried, in a precise way, to see in what measure the world of science coincides with the world of life.” (Boutroux, ins Englische übersetzt und zitiert in: Nye 1979, S. 110). Vgl. auch Nye (1979, S. 111): “For Boutroux, Paul Tannery was a man ‚qui savait tout‘, and it is no wonder that Boutroux in the ‘70s sketched to Paul Tannery the unfolding plan of his dissertation [...]”.

⁸³⁴ Vgl. oben, Kap. 3 und unten, § 7.b.

⁸³⁵ Vgl. Nye (1979, S. 112): “In his personal notes of the early 1870s, Jules Tannery reflected on the inability of the science to provide absolute or final answers to questions of nature or ethics: ‘That which gives to our sciences this apparent clarity which occasionally dazzles us, this show of rigor, of solidity on which we rest ourselves and of which we are so proud, is that we reason on signs, on symbols, as much as on ideas; we arrange words in an order which pleases us [... DR]’. Here Tannery demonstrated in the early 1970s his conviction that the theories of science are symbolic creations, a view which led him later to warn students that ‘Mathematicians are so used to their symbols and have so much fun playing with them, that it is sometimes necessary to take their toys away from them in order to oblige them to think’. In later years at the Ecole Normale, mathematicians like Borel, Pinlevé, and Picard, and physicists like Perrin and Langevin were to benefit from Jules Tannery’s insistence, as professor of mathematics and director of their scientific studies, that students rethink the logical foundations of the sciences they were to teach and practice”. Mit Bezug auf Boutroux erinnert Nye (1979, S. 112) auch daran, dass Jules Tannery bei der Defensio seiner Doktorarbeit über die Kontingenz der Naturgesetze im Publikum saß.

⁸³⁶ Vgl. Heidelberger (2009), Fußnote 9.

⁸³⁷ Das Buch von Boutroux wurde 1911 ins Deutsche übersetzt. Ein anderes wichtiges Werk, in dem Boutroux seine Auffassung der Gesetzmäßigkeit erklärt, das ich aber hier beiseite lassen werde, ist Boutroux (1895). Über die Philosophie Boutroux‘ mit speziellem Bezug auf seine Auffassung der Kontingenz der Naturgesetze vgl. Boelitz (1907), Nye (1979), S. 112-117, und vor allem Heidelberger (2009).

⁸³⁸ Während Nye (1979, S. 108) das Buch von Boutroux in den Kontext einer Renaissance des Interesses für die Kantische Philosophie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Frankreich einordnet, behauptet Heidelberger (2009, S. 102), dass Boutroux nur in einem sehr weiten Sinne als Kantianer bezeichnet werden kann, der keine substantielle Ähnlichkeit der Philosophie von Boutroux mit der Kants impliziert. Dass aber

Sie [der Verstand und die Sinne] arbeiten gemeinsam an der Erkenntnis der Welt. Die einen beobachten die Tatsachen, der andere verarbeitet sie zu Gesetzen. [...]

Ist die Wissenschaft, die der auf Grund der Angaben der Sinne arbeitende Verstand schaffen kann, fähig, vollständig mit dem zu erkennenden Objekte zusammenzufallen? [...]

Findet sich nun diese dem Verstande eingeborene Kategorie notwendiger Verknüpfung wirklich in den Dingen selbst wieder? [...]

Wenn man [...] nachweisen könnte, dass die gegebene Welt einen bestimmten Grad von Kontingenz zeigt, die sich in Wahrheit nicht auf die Notwendigkeit zurückführen läßt, so würde ein Anlaß gegeben sein zu der Annahme, dass die Naturgesetze sich nicht selbst genügen [...] ⁸³⁹

Aus der „Einleitung“ (Boutroux 1911, S. 4) geht es auch hervor, welche Gesichtspunkte Boutroux gegen die rationalistische Anmaßung des lückenlosen Determinismus gelten lassen will: er möchte verhindern, dass „das Gefühl der Freiheit unseres Willens auf die Unkenntnis der Ursachen unserer Handlungen zurückgeführt [wird]“; außerdem will er einen empiristischen Standpunkt verteidigen - auch im Bereich der Wissenschaft: er behauptet, dass „die Lehre, die den obersten Gesichtspunkt der Erkenntnis in den Verstand setzt, [...] nicht genügend die absolute Unentbehrlichkeit der Beobachtung und des Experimentes [...] erklärt“. Die Sinne liefern nämlich dem erkennenden Subjekt ein Bild der Welt „von unendlicher Mannigfaltigkeit“, in der „von fester Ordnung unter den Vorgängen nicht die Rede [ist]“ (Boutroux 1911, S. 1):

Der Fortschritt der Beobachtung enthüllt immer da, wo der äussere Anschein nur gleichförmige und ununterschiedene Massen zeigte, einen Reichtum von Eigentümlichen, Mannigfaltigkeit, Individualität, Leben. ⁸⁴⁰

Die Welt, die die Sinne erkennen lassen, ist eine Welt der Qualitäten: Boutroux bestreitet jene Reduktion der Qualitäten auf homogene Quantitäten, die wir im Kap. 2 als wesentliche

Boutroux schon während des Studiums lange Perioden in Deutschland verbrachte, und dass er dort einen engen Kontakt mit den Neukantianern Zeller und Riehl pflegte, scheint mir anhand des hier betrachteten Werkes nicht ohne Folgen geblieben zu sein: Boutroux benutzt hier wenigstens die Terminologie und die Hauptbegriffe von Kant immer wieder als Ausgangspunkt, auch wenn er sie dann oft einer Kritik unterzieht. Heidelberger (2009, §2) hebt stattdessen den Einfluss des späten Idealismus auf Boutroux hervor. In diesem Sinne wurde die Philosophie Boutroux auch von seinem deutschen Übersetzer interpretiert, der in seinem Vorwort zu Boutroux (1911a) schreibt: „Möge die vorliegende Uebersetzung auch die Bestrebungen der deutschen Vertreter des Kampfes um eine neue, den Anforderungen des modernen Lebens entsprechenden idealistischen Weltauffassung fördern“ (Boutroux 1911, S. VIII). Da ich jedenfalls die nicht-realistische – und in diesem Sinne idealistische – Seite der kantischen Philosophie in Bezug auf die Determinismusfrage hervorhebe, ergibt sich für mich keinen starken Gegensatz zwischen den kantischen und den späteidealistischen Elementen in der Philosophie von Boutroux (was die Determinismusfrage betrifft).

⁸³⁹ Boutroux (1911a), S. 3-5: „Einleitung“. Ich benutze hier aus pragmatischen Gründen (wegen der einfacheren Zugänglichkeit des Textes) die deutsche Übersetzung von Boutroux (1908⁶ [1874]).

⁸⁴⁰ Boutroux (1911a), S. 22.

Voraussetzung des wissenschaftlichen Determinismus identifiziert haben, „denn die Vorstellung von Gleichförmigkeit und Unwandelbarkeit ist dem gegebenen Sein als solchem fremd, das wesentlich in einer Vielheit von verschiedenen Erscheinungen besteht“ (Boutroux 1911, S. 19). Ganz im Sinne des Skeptizismus von Jules Tannery bezüglich des Realitätsbezugs der Mathematik behauptet also Boutroux: „Die exakte Wissenschaft hat mithin zum Gegenstand eine rein abstrakte und äussere Form, die über die innere Natur des Seins schlechterdings nichts aussagt“⁸⁴¹. Das erste Argument gegen den Determinismus besteht also in einer Bestreitung seines Realitätsbezugs. Der ‚negative‘ Teil der Argumentationslinie schafft den Platz für einen ‚positiven‘ – wie aus folgendem Zitat hervorgeht:

Alles was ist, besitzt Qualitäten und nimmt eben deshalb teil an der Indeterminiertheit und an der Veränderlichkeit, die zum Wesen der Qualität gehören. Mithin lässt sich das Prinzip des absoluten Beharrens der Quantität nicht streng auf die wirklichen Dinge anwenden: *diese haben einen Gehalt von Leben und Veränderlichkeit*, der sich niemals erschöpft. Die eigentümliche Gewissheit, die die Mathematik als abstrakte Wissenschaft an sich trägt, berechtigt uns nicht, die mathematischen Abstraktionen selbst in ihrer starren und eintönigen Form für ein genaues Abbild der Wirklichkeit anzusehen.⁸⁴²

Der Relativierung des Wahrheitsanspruchs der mathematischen Gesetze folgt also die Anerkennung eines „Gehaltes von Leben und Veränderlichkeit“, das die „wirklichen Dinge“ charakterisiert. Dieser Gehalt nimmt zu, je höher man in der Hierarchie von Welten hinaufsteigt, die den Emergentismus von Boutroux charakterisiert⁸⁴³: der Mensch, sein Denken und sein Wille lassen sich laut Boutroux so wenig auf gesetzmäßige, materielle Prozesse reduzieren, wie das organische Leben sich auf das unorganische reduzieren lässt⁸⁴⁴. Boutroux widmet dementsprechend ein ganzes Kapitel seines Buchs (das siebte) einer Relativierung (die aber keine Widerlegung oder Herabsetzung ist) der Ergebnisse der

⁸⁴¹ Boutroux (1911a), S. 22. Der kantische Ursprung dieser Position bei Boutroux ist m.E. unverkennbar: „Die exakte Wissenschaft hat zum Gegenstand das Studium der Erscheinungen: sie wird sich selbst untreu, wenn sie damit anfängt, dass sie sich von den Erscheinungen eine Vorstellung macht, die sie in Dinge an sich umwandelt.“ (Boutroux 1911a, S. 31).

⁸⁴² Boutroux (1911a), S. 58; meine Hervorhebung.

⁸⁴³ „Man kann im Universum mehrere Welten unterscheiden, die gleichsam übereinander aufgerichtete Stockwerke bilden. Über der Welt der reinen Notwendigkeit, der Quantität ohne Qualität [...] erhebt sich die Welt der Ursachen, die Welt der Begriffe, die mathematische Welt, die physische Welt, die Welt des Lebendigen und endlich die Welt des Gedankens. Jede dieser Welten scheint zunächst streng von den niederen Welten wir von einer äusseren Schicksalsmacht abhängig zu sein und von ihnen ihr Dasein und ihre Gesetze zu erhalten [...] Indessen, wenn man die Begriffe der Grundformen des Seins einer vergleichenden Prüfung unterzieht, so sieht man, dass es unmöglich ist, die höheren Formen an die niederen durch ein Band der Notwendigkeit zu knüpfen“ (Boutroux 1911a, S. 128).

⁸⁴⁴ Vgl. Boutroux (1911a), Kap. VI und VII.

Physiologie, der experimentellen Psychologie, aber auch des statistischen Determinismus (vgl. oben, §4.b)⁸⁴⁵. Sein Emergentismus führt übrigens auch direkt zu einer expliziten Widerlegung des wissenschaftlichen Determinismus:

Im Grunde gibt es kein wirkliches Verhältnis des Vorangegangenen zum Nachfolgenden, so allgemein man es sich auch vorstelle, das als notwendig gedacht werden könnte. Denn Notwendigkeit kann nur in dem quantitativen Verhältnis des Vorangegangenen zum Nachfolgenden bestehen. Nun kann aber die Quantität nur als Mass der Qualität, *als der Qualität untergeordnet*, begriffen werden [...]⁸⁴⁶

Die Mathematik erschöpft nicht die Welt der Qualitäten: das scheint mir das Hauptargument von Boutroux gegen den wissenschaftlichen Determinismus zu sein. Ein Element der Kontingenz bleibt übrig, das nicht mit dem Zufall zu identifizieren sei (Boutroux unterscheidet explizit zwischen *hazard* und *contingence*), und auch nicht mit der Abwesenheit von Ursachen: es handelt sich eben um etwas, das eher *ex negativo* charakterisiert wird, und zwar als das, was auf die Notwendigkeit und Allgemeingültigkeit der mathematischen Gesetze nicht zurückführbar sei (Boutroux spricht auch von einer „Indeterminiertheit“⁸⁴⁷)⁸⁴⁸.

Boutroux ist der mathematische Kern des wissenschaftlichen Determinismus sehr bewusst. Ein interessantes und bisher meines Wissens nicht untersuchtes Merkmal seiner antideterministischen Argumentationslinie ist die Berücksichtigung des Ausmaßes, in dem der wissenschaftliche Determinismus von der rationalistischen, systematischen und deduktivistischen Einstellung der klassischen Naturphilosophie abhängt (vgl. oben, §§ 2.c und

⁸⁴⁵ In diesem Rahmen argumentiert Boutroux u.a. ähnlich wie Du Bois-Reymond, dass die Physiologie das Bewusstsein nicht erklären kann: „Es kommt übrigens nicht darauf an, dass man in der Empfindung, im Gedanken und in der Begierde Elemente finden kann, die es gestatten, sie mit den physiologischen Erscheinungen zu vergleichen. Was in der Physiologie ohne Analogie ist, das ist eben das Bewusstsein der Empfindung, des Gedankens, der Begierde.“ (Boutroux 1911a, S. 98-99). Dieses Bewusstsein unterscheidet laut Boutroux den Menschen von den anderen lebendigen Organismen. Boutroux' antireduktionistischer Einstellung bezüglich der verschiedenen „Welten“ entspricht seine pluralistische Einstellung in Bezug auf die verschiedenen Wissenschaften: vgl. Heidelberger (2009), §3: „The Disunity of Science“.

⁸⁴⁶ Boutroux (1911a), S. 132.

⁸⁴⁷ Vgl. z.B.: „Die Welt [...] zeigt eine radikale Indeterminiertheit, die gewiss zu schwach ist, um als Erscheinung sich aufzudrängen, wenn man die Dinge nur während eines sehr kleinen Teils ihres Laufes beobachtet, die aber manchmal sichtbar wird, wenn man Tatsachen vergleicht, die durch eine lange Reihe von Zwischengliedern voneinander getrennt sind.“ (Boutroux 1911a, S. 27).

⁸⁴⁸ Insgesamt findet man in Boutroux (1911a) fast die ganze Bandbreite der antideterministischen Argumente der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts: (1) das Argument, laut dem die determinierenden Gesetze der Realität nicht ganz entsprechen; (2) einen ähnlichen Emergentismus wie der von Fechner: die Gesetze, die in einer „Welt“ oder „Schicht“ herrschen, gelten nicht auch gleich für die oberen Welten, in denen ein schöpferisches Element etwas radikal Neues hervorbringt; (3) das *Ignorabimus*-Argument à la Du Bois-Reymond; (4) das Argument der (mit heutiger Benennung) „Nichtlinearität“ à la Maxwell / St. Venant: „Uebrigens gibt es bestimmte Fälle, in denen an sich selbst unbedeutende und unmerkliche Schwankungen ausreichen, um endgültig durch eine Reihe rein mechanischer Rückwirkungen bedeutsame Resultate zu erlangen. [...] Das Korn, das aus dem Schnabel eines Vogels auf einen mit Schnee bedeckten Berg fällt, kann eine Lawine erzeugen, die ganze Täler verschüttet“ (Boutroux 1911a, S. 59).

2.d). Im Kap. 2 habe ich darauf hingewiesen, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus der Neuzeit mit einer Wissenschaftsauffassung zusammenhing, die wissenschaftliche Theorien als ein auf notwendigen und allgemeingültigen Prinzipien beruhendes deduktives System betrachtet hat, so dass die Notwendigkeit und Allgemeingültigkeit der Prinzipien auf alle abgeleitete Sätze übertragbar wäre. Nun aber behauptet Boutroux umgekehrt:

Selbst wenn die Wissenschaft die deduktive Form hat annehmen können, so ergibt sich daraus nicht, dass die Schlüsse daraus objektiv notwendig seien. Der Wert der Schlüsse ist genau derjenige der zugrunde liegenden Prinzipien, und wenn die letzteren kontingent sind, so überträgt sich diese Kontingenz notwendig auf alle Sätze, die der Syllogismus aus ihnen ableitet. Nun hat aber alle deduktive Wissenschaft einen abstrakten und subjektiven Charakter. Die genauen Definitionen sind nur um diesen Preis möglich. Sie sind künstlichen Synthesen von Begriffen, die so verarmt worden sind, dass sie völlig begreiflich werden können. Man kann also die den Definitionen der deduktiven Wissenschaft inhärierende Determination nicht auf die Dinge selbst anwenden.⁸⁴⁹

Was meint aber Boutroux hier, wenn er behauptet, dass „all rein deduktive Wissenschaft einen [...] *subjektiven* Charakter“ hat, und dass nur um diesen Preis Definitionen möglich sind? Ich wage die Hypothese, dass sich hier eine Verbindung zum französischen Konventionalismus feststellen lässt.

Die zwei großen französischen Konventionalisten Pierre Duhem und Henri Poincaré gehörten zum selben Netzwerk wie Boutroux. Der erste, wie schon erwähnt, gehörte zu jener *Société Scientifique de Bruxelles*, zu der auch Boutroux' enger Freund Paul Tannery gehörte: übrigens gehörten zu der *Société* auch der Student von Boutroux Maurice Blondel, der ebenfalls die

⁸⁴⁹ Boutroux (1911a), S. 129. Boutroux relativiert konsequent die Hauptbegriffe, auf denen die klassische deduktive Wissenschaftsauffassung (oder die klassische mathematische Naturphilosophie, wie Pulte sie nennt – vgl. oben, Kap. 2 und Anfang des Kap. 3) basierte, und die den wissenschaftlichen Determinismus hervorbrachten: System, Prinzipien, Kausalgesetz. Vgl. z.B. Boutroux (1911a), S. 31: „Von der Ueberzeugung durchdrungen, dass die Dinge sich in Definitionen fassen lassen, erhebt der Naturforscher die Formeln, zu denen seine Untersuchungen geführt haben, zu absoluten Prinzipien. Das ist der Ursprung der Systeme, der stolzen, starren Stümpfe, aus denen der Saft sich ganz allmählich zurückzieht, und die dem Tode geweiht sind. Und wenn der Naturforscher mit grösserer Umsicht, um seine Formeln zu Prinzipien zu erheben, darauf wartet, dass sie mit der Wirklichkeit vollkommen übereinstimmen, so sieht er, wie der Gegenstand seiner Untersuchung in der Masse, als er sich ihm nähert, vor ihm flieht: die Vollkommenheit der Forschungsmethoden und –Instrumente selbst überzeugt ihn nur immer mehr von dem bloss annähernden Charakter der von ihm erlangten Resultate“. Und bezüglich des Kausalgesetzes: „Das Kausalgesetz in seiner absoluten und abstrakten Form kann also mit gutem Rechte die praktische Regel der exakten Wissenschaft sein, deren Aufgabe es ist, den Fäden der unendlichen Verschlingung einem nach dem anderen nachzugehen; aber es erscheint nur noch als eine unvollständige und relative Wahrheit, wenn man sich die allgemeine Verflechtung, die gegenseitige Durchdringung der Veränderung und des Beharrens vorzustellen versucht, die das Leben und das wirkliche Dasein ausmacht“ (*Ibidem*, S. 27).

menschliche Freiheit gegen den Determinismus verteidigte⁸⁵⁰, und Edouard Le Roy, selbst ein katholischer Verteidiger des freien Willens gegen den Determinismus⁸⁵¹, der Nachfolger auf den Philosophie-Lehrstuhl von Henri Bergson war. Dieser letzte wiederum hatte bei Boutroux 1878-81 studiert⁸⁵².

Henri Poincaré gehörte nicht zu der *Société Scientifique*, er hatte aber ein direktes, persönliches Verhältnis zu Boutroux (der sein Schwager war) und über ihn höchstwahrscheinlich auch ein Verhältnis zu den Brüdern Tannery⁸⁵³. In welchem Ausmaß der Konventionalismus von Poincaré von jenen Relativierungen des Wahrheitsanspruchs wissenschaftlicher Gesetze beeinflusst wurde, die das Netzwerk um die *Société Scientifique* u.a. dem wissenschaftlichen Determinismus entgegensetzte, sei dahingestellt⁸⁵⁴. Sicherlich kommen in den Werken von Poincaré Relativierungen des Wahrheitsanspruchs wissenschaftlicher Theorien vor, die an die schon erwähnten sehr stark erinnern, und die auch einen Bezug auf die Determinismusfrage enthalten.

⁸⁵⁰ Vgl. Nye (1976), S. 287.

⁸⁵¹ Vgl. Nye (1976), S. 285-86.

⁸⁵² Bergson war kein Katholik, sondern stammte aus einer jüdischen Familie, auch wenn er sich später dem Katholizismus teilweise annäherte (ohne aber seine jüdische Herkunft zu verleugnen). Jedenfalls zeigt er sich auch in seinem ersten wichtigen Werk, *Essai sur les données immédiates de la conscience* (1889), von dem wissenschaftlichen Determinismus beunruhigt, und insbesondere von seiner Übertragung auf mentale und emotionale Phänomene. In einem Abschnitt über „Le déterminisme physique“, äußert er so der Grund seiner Sorge: „Or, si tous les corps, organisés ou inorganisés, agissent et réagissent ainsi entre eux dans leurs parties élémentaires, il est évident que l'état moléculaire du cerveau à un moment donné sera modifié par les chocs que le système nerveux reçoit de la matière environnante; de sorte que les sensations, sentiments et idées qui se succèdent en nous pourront se définir des résultantes mécaniques [...]“ (Bergson 1963 [1889], S. 95). Bergson scheint hier die neuste Entwicklung der Wissenschaft aus primären Quellen zu kennen – er zitiert fachliche Aufsätze von Physikern, sowie auch von Soziologen, Philosophen, Wissenschaftshistorikern usw. Er versucht, Argumente gegen den ‚psychophysischen Determinismus‘ zu liefern. Er stellt die unbewiesenen Voraussetzungen in Frage, die hinter diesem seiner Meinung nach stecken, und zwar vor allem die Annahme, dass die psychischen Zustände den physikalischen Entsprechen. Er verweist außerdem interessanterweise an die historische Relativität und Vorläufigkeit der naturwissenschaftlichen Gesetze (*Ibidem*, S. 100-01). Schließlich behauptet er (S. 102): „A vrai dire, ce n'est pas la nécessité de fonder la science, c'est bien plutôt une erreur d'ordre psychologique qui a fait ériger ce principe abstrait de mécanique en loi universelle.“ Bergson setzt außerdem wie Boutroux den Akzent auf Begriffe wie „Freiheit“, „Individualität“, „Spontaneität“, um gegen den Determinismus zu argumentieren. Im Titel seiner Schrift *L'évolution créatrice* (1907; 1912 ins Deutsche übersetzt) kann man schon ein antideterministisches Argument erahnen, das auch bei Boutroux (aber auch bei Fechner, sowie, wie wir sehen werden, bei Pierce) vorhanden ist: die Natur bzw. ihre Gesetze entwickeln sich auf eine Weise, die etwas ganz Neues und auf das „Alte“ Irreduzibles zur Existenz bringt, etwas das also weder vorherbestimmt noch vorhersagbar ist. Es ist vor allem das Lebendige, das sich jedem Determinismus sowie jeder „intellektuellen“ Erkenntnis entzieht, indem es von einem „élan vital“ („Lebensschwung“ bzw. „Lebensenergie“ bzw. „Lebenskraft“) hervorgetrieben wird, das nur der Intuition zugänglich ist. Bemerkenswert ist, dass die Argumente von Bergson ein breites Publikum erreichten, denn nachdem er 1900 Professor am Collège de France geworden war, wurden seine Vorlesungen nicht nur von anderen berühmten Philosophen besucht, sondern auch von Schriftstellern und Künstlern (vgl. Albert 1995, S. 86). 1927 erhielt Bergson den Nobelpreis für Literatur.

⁸⁵³ Nye (1979, S. 117ff.) bringt ans Licht die vielen Gemeinsamkeiten zwischen Poincaré und den Brüdern Tannery (und Boutroux) in Bezug auf ihre Interessen und auf ihre Gedanken (die Unterschiede lässt Nye aber auch nicht unbeachtet).

⁸⁵⁴ Oben, im Kap. 3, habe ich gewissermaßen gezeigt, wie die Entstehung des Konventionalismus auch von den Entwicklungen der wissenschaftlichen Erkenntnistheorie seit Kant und vor allem im 19. Jh. „vorbereitet“ wurde.

Dass das Laplacesche Ideal der uneingeschränkten Vorausberechenbarkeit in der wissenschaftlichen (mathematischen!) Praxis an unüberwindbare Grenzen stoßen muss, hat Poincaré in den 1890er Jahren im Bereich der mathematischen Physik gezeigt. Im Rahmen seiner Lösung des sogenannten Problems der drei Körper⁸⁵⁵ hat er bewiesen, dass es unmöglich ist, die weitere Entwicklung eines physikalischen Systems beliebig weit in der Zukunft und mit einer beliebig kleinen Approximation vorauszuberechnen, wenn dieses System aus mehr als zwei Körpern besteht. Für jedes solche System gilt nämlich, dass die Nicht-Integrabilität der Bewegungsgleichungen zu einer Approximation zwingt, die mit der Zeit nicht-linear wächst, so dass innerhalb einer möglicherweise sehr kurzen Zeit jede Information über den Zustand des Systems verloren geht. Diese Nicht-Linearität, die im Prinzip *alle* realen physikalischen Systeme betrifft (denn alle Körper des Universums interagieren miteinander) wird Poincaré später wie folgt beschreiben:

Une cause très petite, qui nous échappe, détermine un effet considérable que nous ne pouvons pas ne pas voir, et alors nous disons que cet effet est dû au hasard. Si nous connaissions exactement les lois de la nature et la situation de l'univers à l'instant initial, nous pourrions prédire exactement la situation de ce même univers à un instant ultérieur. Mais, lors même que les lois naturelles n'auraient plus de secret pour nous, nous ne pourrions connaître la situation initiale qu'*approximativement*. Si cela nous permet de prévoir la situation ultérieure *avec la même approximation*, c'est tout ce qu'il nous faut, nous disons que le phénomène a été prévu, qu'il est régi par des lois ; mais il n'en est pas toujours ainsi, il peut arriver que de petites différences dans les conditions initiales en engendrent de très grandes dans les phénomènes finaux ; une petite erreur sur les premières produirait une erreur énorme sur les derniers. La prédiction devient impossible et nous avons le phénomène fortuit.⁸⁵⁶

Durch seine Arbeit über nicht-lineare Systeme hat Poincaré der schon besprochenen Intuition von Maxwell, St. Venant usw. eine präzisere Form gegeben. Ähnlich wie Maxwell weist Poincaré darauf hin, dass für uns Menschen das Ziel der vollkommenen Vorausberechenbarkeit *de facto* ein unerreichbares Ideal darstellt: laut Poincaré (1920 [1908]) sind (1) die Nicht-Linearität und (2) die Komplexität, die dazu führen, dass es *zufällige*

⁸⁵⁵ Obwohl die Newtonsche Physik gerade im Bereich der Astronomie ihre wichtigsten und erstaunlichsten empirischen Bestätigungen gefunden hatte, waren mathematische Physiker mit dem Problem konfrontiert, dass die Differentialgleichungen, die die Bewegungen z.B. des Systems Sonne-Erde-Mond beschrieben, schwer zu lösen waren. Poincaré beschäftigte sich mit dem Problem in Bezug auf n Körper (wobei $n \geq 3$) im Rahmen eines Wettbewerbs, das 1887 vom schwedischen König Oskar II ausgeschrieben wurde. Die Ergebnisse von Poincaré (die erste Version der Lösung, Poincaré (1890), wurde in den *Acta Mathematica* veröffentlicht; eine verbesserte und erweiterte Behandlung des Problems befindet sich in Poincaré (1892-97)) waren ein entscheidender Beitrag zur Forschung nicht-linearer Systeme und markierten die Anfänge der sogenannte Chaostheorie. Über die Arbeit Poincarés zu dem n -Körper-Problem vgl. Barrow-Green (1997).

⁸⁵⁶ Poincaré (1920 [1908]), S. 68-69. Dieses Kapitel über *Le hasard*, aus seinem Buch *Science et méthode*, wird 1912 in *The Monist* in englischer Übersetzung erscheinen (Poincaré 1912).

Ereignisse gibt⁸⁵⁷. Wären diese nun auch für die von Laplace beschriebene übermenschliche Intelligenz zufällig? Oder, anders gesagt: sind sie *an sich* zufällig? Diese Frage – die Frage um den wissenschaftlichen Determinismus im realistischen Sinne – kümmert Poincaré so wenig wie Maxwell: er behauptet, der Zufall sei in dem Sinne objektiv, dass *alle* Menschen von der Unmöglichkeit der exakten Vorausberechenbarkeit physikalischer Phänomene betroffen sind. Der Zufall ist also objektiv im Sinne von intersubjektiv gültig⁸⁵⁸ – und das ist Poincaré (sowie Maxwell) genug.

Sowieso kann die Wissenschaft laut Poincaré kein Eins-zu-eins-Abbild der Realität liefern: sie liefert „bloß“ unterschiedliche Theorien, die auf verschiedene Art und Weise bestimmte Verhältnisse ans Licht bringen: was die Wissenschaft erfassen kann, „ce ne son pas les choses elles-mêmes, comme le pensent les dogmatistes naïfs, ce sont seulement les rapports entre les choses“ (Poincaré 2003 [1902], S. 4). Und was die „rapports entre les choses“, und insbesondere die mathematischen Verhältnisse betrifft, die – wie wir gesehen haben – in hohem Maße den wissenschaftlichen Determinismus ausmachen, behauptet Poincaré:

Comparant les données brutes de nos sens et ce concept extrêmement complexe et subtil que les mathématiciens appellent grandeur, nous sommes bien forcés de reconnaître une divergence ; ce cadre où nous voulons tout faire rentrer, c'est donc nous qui l'avons fait [...] ⁸⁵⁹

Dass *wir* diejenigen sind, die die mathematischen Verhältnisse konstruiert haben, mit denen wir alles erklären wollen, bedeutet für Poincaré nicht, dass diese Verhältnisse willkürlich seien: ihre „Erfindung“ verdankt der Erfahrung einen wesentlichen Impuls und sie müssen sich in der Erfahrung als praktisch (*commode*⁸⁶⁰) genug bewähren⁸⁶¹. Wenn das der Fall ist,

⁸⁵⁷ Auf Nicht-Linearität und Komplexität („leurs causes sont trop compliquées et trop nombreuses“; S. 76) führt Poincaré auch das Problem zurück, dass wir beim Feststellen der Anfangsbedingungen nur einen beschränkten Teil der Welt berücksichtigen können, und wir können nie ausschließen, dass wir Bedingungen vernachlässigt haben, die dann doch für die Entwicklung des in Frage kommenden Systems einen großen Unterschied machen (vgl. Poincaré 1920 [1908], §5).

⁸⁵⁸ Vgl. Poincaré (1920 [1908]), S. 87 und 90 „Nous avons cherché à définir le hasard, et il convient maintenant de se poser une question. Le hasard [...] a-t-il un caractère objectif? [...]“, „[...] s'il conserve un caractère objectif, c'est parce que tous les hommes ont à peu près les mêmes sens, que la puissance de leurs instruments est limitée et qu'ils ne s'en servent d'ailleurs qu'exceptionnellement.“. Vgl. auch Poincaré (1902), S. 288: „Ce que nous garantit l'objectivité du monde dans lequel nous vivons, c'est que ce monde nous est commun avec d'autres êtres pensants“.

⁸⁵⁹ Poincaré (2003 [1902]), S. 6. Der erste Satz dieses Zitats erinnert sehr stark an die Position von Boutroux.

⁸⁶⁰ Berühmt ist der Satz von Poincaré, der sich auf die Geometrie bezieht: „Une géométrie ne peut pas être plus vraie qu'une autre; elle peut seulement être *plus commode*.“ (Poincaré 2003 [1902], S. 86). Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang der Titel des letzten philosophischen Werks von Poincaré, das infolge eines Plans von Louis Rougier von Laurence Rollet *posthum* herausgegeben wurde: *L'opportunisme scientifique* (Poincaré 2002).

⁸⁶¹ Vgl. das, was oben, §3.c, über die Mechanikauuffassung von Poincaré gesagt wurde. Übrigens fährt das letzte Zitat so fort: „[ce cadre ... c'est donc nous qui l'avons fait] ; mais nous ne l'avons pas fait au hasard, nous

können wir davon ausgehen, dass die mathematischen Verhältnisse strukturelle Eigenschaften der Realität erfassen, auch wenn sie die Realität nicht erschöpfen und auch wenn dieselben realen Eigenschaften von verschiedenen theoretischen Konstrukten erfasst werden können. In diesem Sinne war es z.B. Poincaré ein Anliegen, seine Position von jener des schon genannten Edouard Le Roy zu unterscheiden, der seine antirealistische Wissenschaftsauffassung bis zu einem ausgeprägten Antiintellektualismus zugespitzt hatte⁸⁶². Und eben der Artikel, in dem Poincaré seine Ansichten denen von Le Roy entgegensetzt, enthält einen Absatz mit dem Titel „Contingence et Déterminisme“ (Poincaré 1902, §5).

Hier wird zuerst der Wahrheitsanspruch wissenschaftlicher Gesetze relativiert: Poincaré bemerkt, dass diese (1) nur approximativ gelten, und (2) in einem bestimmten Sinne unvollkommen sind: sie sind Verallgemeinerung des Satzes „wenn A, dann B“, aber bei dieser Formulierung kann niemals der Fall sein, dass unter „A“ *alle* Bedingungen, d.h. der Zustand des ganzen Universums bis ins Detail, berücksichtigt worden sind⁸⁶³. Somit ist aber der wissenschaftliche Determinismus nicht widerlegt, wie Poincaré an dieser Stelle klar macht:

Pour toutes ces raisons, aucun loi particulière ne sera jamais qu'approchée et probable. Les savants n'ont jamais méconnu cette vérité ; seulement ils croient, à tort ou à raison, que toute loi pourra être remplacée par une autre

l'avons fait pur ainsi dire sur mesure et c'est pur cela que nous pouvons y faire rentrer les faits sans dénaturer ce qu'ils ont d'essentiel“. Vgl. auch Poincaré (1902), S. 290: „Un ensemble absolument désordonné ne saurait avoir de valeur objectif puisqu'il serait inintelligible, mais un ensemble bien ordonné peut n'en avoir non plus aucune, s'il ne correspond pas à des sensations effectivement éprouvées“.

⁸⁶² In einem Artikel für die *Revue de métaphysique et de morale*, in dem Poincaré die Philosophie von Le Roy im Vergleich zu der eigenen einschätzt (Le Roy hatte in derselben Zeitschrift 1899 einen Artikel mit dem Titel „Science et philosophie“ veröffentlicht), fasst er die Position des Kollegen zusammen, wie folgt: „Pour M. Le Roy, la science n'est que une règle d'action. Nous sommes impuissants à rien connaître et pourtant nous sommes embarqués, il nous faut agir, et à tout hasard, nous nous sommes fixé [sic] de règles. C'est l'ensemble des ces règles que l'on appelle la science“ (Poincaré 1902, S. 264-265). Le Roy war von der *Revue des questions scientifiques* positiv rezipiert worden: „As a recent science graduate from the Ecole normale supérieure, Le Roy attended an international philosophy meeting in 1900 where he read a paper on 'Positive science and the philosophies of liberty'. Georges Lechalas analyzed the paper in the *Revue des questions scientifiques* as an outgrowth of Boutroux's thesis that determinism is not absolute in the organic world and of Poincaré's conclusion that scientific theories are neither true nor false, but useful. Le Roy's view was that theories are only symbolic languages [...]. According to Le Roy, the scientist not only makes scientific laws, but also scientific facts“ (Nye 1976, S. 285-86). In seinem „Antwort“ auf Le Roy setzt Poincaré (1902) die Grenzen seines Konventionalismus fest: wissenschaftliche Konventionen seien nicht willkürlich, der Wissenschaft muss einer gewissen Fähigkeit des Vorhersagens anerkannt werden (auch wenn sie nicht unfehlbar ist), und es sei nicht korrekt zu sagen – wie Le Roy gemacht hatte – dass die Wissenschaftler die „wissenschaftlichen Tatsachen“ selbst schaffen. Am Ende des Aufsatzes behauptet Poincaré: „On dira que la science n'est qu'une classification et qu'une classification ne peut être vraie, mais commode. Mais il est vrai qu'elle est commode, il est vrai qu'elle l'est non seulement pour moi, mais pour tous les hommes ; il est vrai qu'elle restera commode pour nos descendants ; il est vrai enfin que cela ne peut pas être par hasard“ (Poincaré 1902, S. 293).

⁸⁶³ Poincaré (1902), S. 281. In einem gewissen Sinne kann man sagen, dass die Gesetze nur *deswegen* gelten, weil sie unvollkommen sind: wenn wir mit „A“ den Zustand des ganzen Universums bis ins Detail meinen würden, würde „A“ wahrscheinlich nie wieder vorkommen; dann hätte es keinen Sinn, einen Satz als „Gesetz“ zu bezeichnen, der nur einmal gilt.

plus approchée et plus probable, que cette loi nouvelle ne sera elle-même que provisoire, mais que le même mouvement pourra continuer indéfiniment, de sorte que la science en progressant possédera des lois de plus en plus approchées et de plus en plus probables, que l'approximation finira par différer aussi peu que l'on veut de l'exactitude et la probabilité de la certitude.

Si les savants qui pensent ainsi avaient raison, devrait-on dire encore que *les* lois de la nature sont contingentes [...] ?

Ou bien devra-t-on exiger, avant de conclure à la contingence *des* lois naturelles, que ce progrès ait un terme, que le savant finisse un jour par être arrêté dans sa recherche d'une approximation de plus en plus grande et qu'au-delà d'une certaine limite, il ne rencontre plus dans la Nature que le caprice ?⁸⁶⁴

Auch wenn einerseits der Determinismus einem Glaubensakt gleicht, müsste man andererseits laut Poincaré diesen Glauben widerlegen können, um auf die Kontingenz der Naturgesetze zu schließen, wie Boutroux es gemacht hatte. Auch die Idee einer Evolution der Naturgesetze, die auf verschiedene Weisen Fechner, Boutroux und Le Roy vertreten hatten, benötigte laut Poincaré einen schwierigen Beweis: auch wenn wir feststellen (würden), dass ein „altes“ Gesetz nicht mehr gilt, könnten wir nicht so schnell zum Schluss kommen, dass das Gesetz selbst sich verändert hat. Es könnte nämlich sein, dass wir nicht alle relevanten Bedingungen berücksichtigt haben, oder dass wir die Approximation nicht genug verringert haben usw.⁸⁶⁵. Wenn also einerseits der Konventionalismus den Determinismus schwächt, indem er die bloß konventionelle Natur und die Unvollkommenheit der deterministischen Gesetze ans Licht bringt, kann man sich andererseits offensichtlich auch auf den Konventionalismus beziehen, um indeterministische Konzepte wie jenes der „Kontingenz“ der Naturgesetze oder jenes der „Evolution“ der Naturgesetze zu hinterfragen. Wenn wissenschaftliche Theorien und Gesetze *unsere* Konstrukte sind, und wenn wir annehmen – wie Poincaré es macht – dass wir darüber hinaus nichts erkennen können⁸⁶⁶, müssen wir in Bezug auf die Determinismusfrage in *realistischem* Sinne agnostisch bleiben. Wobei Poincaré eigentlich die Bedeutung von „real“ explizit auf jene von „objektiv“ reduziert, und er behauptet auf eine Kantische Weise, dass nur da, wo eine intersubjektiv erkannte Ordnung bzw. intersubjektiv erkennbare Verhältnisse sind, somit die objektive, d.h. reale Welt entsteht. Nur das intersubjektiv Erkennbare ist real, und nur das „Geordnete“, und in *diesem* Sinne – könnte man sagen – „Determinierte“ ist intersubjektiv erkennbar, *ergo* nur das Determinierte (wenn wir es so nennen wollen) ist real,

⁸⁶⁴ Poincaré (1902), S. 282.

⁸⁶⁵ Vgl. Poincaré (1902), S. 284-85.

⁸⁶⁶ “[...] ce qu'elle [la science] peut atteindre, ce ne sont pas les choses elles-mêmes, comme le pensent les dogmatistes naïfs, ce sont seulement les rapports entre les choses ; en dehors de ces rapports, il n'y a pu de réalité connaissable“ (Poincaré 2003 [1902], S. 4).

ist die reale Welt⁸⁶⁷. Aus diesem Gesichtspunkt – gibt Poincaré zu – „on comprend que je ne sais plus qui se soit lassé entraîner à dire que le monde n'est qu'une équation différentielle“ (Poincaré 1902, S. 289). Ob es laut Poincaré über *diese* so definierte Welt, über diese so definierte „Realität“ hinaus noch etwas gibt, das die Ordnung bzw. die Determiniertheit ausbrechen könnte, ist aus meiner Sicht nicht ganz klar⁸⁶⁸.

Vom wissenschaftlichen Determinismus bleibt bei Poincaré jedenfalls nur eine sehr geschwächte Version übrig: wenn wir die ganze Entwicklung des ganzen Universum auffassen könnten – stellt sich Poincaré vor – würden wir einige Reihenfolgen bzw. einige Verhältnisse der Form „Antezedens-Konsequenz“ identifizieren, die sich ähnlich oder approximativ wiederholen: keine zwei Reihenfolgen wären ganz gleich, und Poincaré möchte in dieser Hinsicht nicht einmal von Gesetzen sprechen⁸⁶⁹.

Auch scheint Poincaré den Begriffen von Kontingenz und Freiheit in einem wichtigen Sinne zuzustimmen:

Les lois expérimentales ne sont qu'approchée, et si quelques-unes nous apparaissent comme exactes, c'est que nous les avons artificiellement transformées en ce que j'ai appelé plus haut un principe. Cette transformation, nous l'avons faite librement, et comme le caprice qui nous a déterminés à la faire est quelque chose d'éminemment contingent, nous avons communiqué cette contingence à la loi elle-même. C'est en ce sens que nous avons le droit de dire que le déterminisme suppose la liberté, puisque c'est librement que nous devenons déterministes.⁸⁷⁰

⁸⁶⁷ Vgl. Poincaré (1902), S. 288ff.

⁸⁶⁸ Beim schon erwähnten Zitat aus *La science et l'hypothèse*, „[...] en dehors de ces rapports, il n'y a pu de réalité connaissable“, ist es nicht deutlich, ob es bedeutet, dass es außerhalb der objektiven Verhältnisse keine Realität gibt, die wir erkennen könnten, oder dass es außerhalb der objektiven Verhältnisse keine Realität überhaupt gibt. In seiner Erwiderung auf Le Roy (Poincaré 1902) äußert sich Poincaré sehr skeptisch gegenüber der Idee, dass man über die intersubjektiv erkennbaren Verhältnisse zwischen Dingen hinaus auch die *Natur* der Dinge erkennen könnte („je me demande même si nous comprenon bien la question“, S. 291). Andererseits spricht Poincaré sehr wohl z.B. von Empfindungen (*sensations*) und Emotionen als etwas, das nicht intersubjektiv erkennbar ist: es *gibt* also etwas, was für Poincaré über die mit der Objektivität identifizierte Realität hinaus geht.

⁸⁶⁹ Vgl. Poincaré (1902), S. 287-288: „Supposons que nous puissions embrasser la série de tous les phénomènes de l'univers dans toute la suite des temps. Nous pourrions envisager ce que l'on pourrait appeler des séquences, je veux dire des relations entre antécédent et conséquent; je ne veux pas parler de relations constantes ou de lois, j'envisage séparément (individuellement pour ainsi dire) les diverses séquences réalisées.“

Nous reconnaitrions alors que parmi ces séquences il n'y en a pas deux qui soient tout à fait pareilles. Mais, si le principe d'induction tel que nous venons de l'énoncer est vrai, il y en aura qui seront à peu près pareilles et qu'ont pourra classer les unes à côté des autres. En d'autres termes, il est possible de faire une classification des séquences.

C'est à la possibilité et à la légitimité d'une pareille classification que se réduit en fin de compte le déterminisme. C'est tout ce que l'analyse précédente en laisse subsister. Peut-être sous cette forme modeste semblera-t-il moins effrayant au moraliste.“

⁸⁷⁰ . Poincaré (1902), S. 286. Vgl. auch S. 288: „On dira sans doute que c'est revenir par un détour à la conclusion de M. Le Roy que tout à l'heure nous semblions rejeter: c'est librement qu'on est déterministe. Et en effet toute classification suppose l'intervention active du classificateur. J'en conviens, cela peut se soutenir [...]“.

So kann man anscheinend bei Poincaré auch eine Spur jenes französischen „voluntarist bias“⁸⁷¹ entdecken, der – wie im nächsten Absatz zu klären ist – durch Charles Renouvier auch die klassischen amerikanischen Pragmatisten James und Peirce beeinflusste, und der gegen den wissenschaftlichen Determinismus wirkte⁸⁷².

c. Voluntaristische Erkenntnistheorie und pragmatische Metaphysik

Im ersten Absatz dieses Kapitels habe ich erwähnt, wie Hacking auf die Tatsache hingewiesen hat, dass Charles Renouvier sich schon gegen Mitte des 19. Jahrhunderts mehrmals mit dem Konzept des *déterminisme* beschäftigt hatte⁸⁷³. Ich möchte diesen Hinweis gewissermaßen weiter verfolgen, denn Renouvier beeinflusste mehr oder weniger indirekt die Auseinandersetzungen des frühen klassischen Pragmatismus mit der Determinismusfrage im späten 19. Jh. - was ebenfalls im Folgenden thematisiert werden soll.

Charles Renouvier (1815-1903), politisch engagierter und sehr produktiver Französischer Philosoph, wird in der heutigen Philosophie kaum noch erwähnt⁸⁷⁴ und auch seinerzeit bekam er erst gegen Ende seines langen Lebens öffentliche Anerkennung und institutionelle Anbindung⁸⁷⁵. Nach seinem Studium an der École Polytechnique (u.a. bei Comte) und einer Zeit großen politischen Engagements für die Sozialisten im Kontext der heftigen politischen Ereignisse um 1848 zog er sich nämlich – nach dem *coup d'état* von Napoleon III – in seinen

⁸⁷¹ Vgl. Nye (1976, S. 280), die in Bezug auf die katholische Gruppe um die *Revue des questions scientifiques* schreibt: „Indeed, French Catholic philosophy here converged with the neo-Kantian and voluntarist bias of contemporary French secular philosophy, for example that of Charles Renouvier, Jules Lachelier, and Emile Boutroux“.

⁸⁷² Die Philosophie von Poincaré ist natürlich komplex und facettenreich, und ich habe sie hier nur beschränkt und nur in Bezug auf die Determinismusfrage in Betracht gezogen. In der Sekundärliteratur herrscht über einige Aspekte der Philosophie Poincarés keinen Konsensus: eine solche Thematik kann ich aber im Rahmen vorliegender Arbeit nicht vertiefen. Unter den wichtigen neuesten Arbeit zu Poincaré möchte ich hier nur kurz auf die folgenden hinweisen: Stump (1991) hat sich mit dem Verhältnis zwischen dem Konventionalismus und dem Begriff einer Übersetzbarkeit (z.B. zwischen euklidischer und nicht-euklidischen Geometrien) beschäftigt und dadurch einige Aspekte der poincareschen Art des Apriorismus geklärt; Zahar (2001) interpretiert die Philosophie der Physik Poincarés als „structural realism“ und seine Philosophie der Mathematik als „Kantian constructivism“, ohne aber das Verhältnis zwischen diesen zwei Positionen genügend zu klären. Ben-Menahem (2001) bietet ein differenzierendes Bild der Philosophie Poincarés im Vergleich sowohl mit ähnlichen Konzepten als auch mit Gegenargumenten anderer gegenwärtigen Philosophen. Während diese Analysen für eine allgemeine Einschätzung der Philosophie Poincarés hilfreich sind, sind zwei andere Werke hier zu nennen, die speziell mit unserer Fragestellung zu tun haben: Schyns (1923), der die Unterschiede zwischen Boutroux und Poincaré kurz bespricht (S. 223-226; zit. in Nye 1979, Fußnote 57), und Fortino (1993), die der Position Poincarés in Bezug auf die Problematik Kontingenz / Determinismus ein ganzes Kapitel (Kap. III) widmet.

⁸⁷³ Vgl. Hacking (1983), S. 460 und Hacking (1990), S. 153. Vgl. auch Porter (1986), S. 222-223.

⁸⁷⁴ Eine wichtige Ausnahme ist Schmaus (2011), der Renouvier in Zusammenhang mit der Wissenschaftsphilosophie bespricht.

⁸⁷⁵ Über Leben und Werk von Renouvier vgl. Gunn (1932a) und (1932b).

Besitz im Wald von Fontainebleu zurück und schrieb jahrelang an seinen neokritizistischen *Essais de Critique générale*: es handelt sich um ein riesiges Werk in mehreren Bänden, das er 1854 bis 1864 schrieb und 1854 bis 1897 überarbeitete. Ich möchte hier auf den ersten *Essai* fokussieren, der eine neokritizistische Erkenntnistheorie entwickelt, um im Rahmen der Determinismusfrage im *wissenschaftlichen* Sinne zu bleiben: Renouvier beschäftigte sich in seinen Schriften oft mit dem Begriff des *déterminisme*, aber er bezog sich dabei oft nur auf die Frage der Willensfreiheit, die ich nicht an sich in Betracht ziehen möchte, sondern nur dann, wenn sie im Zusammenhang mit dem wissenschaftlichen Determinismus steht.

Es sei an die These Cassirers erinnert, laut der der wissenschaftliche Determinismus im Sinne von Laplace erst um 1872 ernst genommen wurde: wir haben schon gesehen, dass es erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Diskussion über den Determinismusbegriff im wissenschaftlichen Sinne gegeben hat. Renouvier steht also chronologisch am Anfang dieses Prozesses, wenn er schon 1854, in seinem ersten *Essai*, die berühmte Darstellung des Determinismus aus Laplace zitiert, diese mit der Laplaceschen Wahrscheinlichkeitsauffassung (die den Zufall bzw. jede Form von „Indeterminiertheit“ auf einen Mangel an Wissen zurückführt) in Zusammenhang bringt, und schließlich dieses gesamte Laplacesche Konzept einer Kritik unterzieht⁸⁷⁶. Die Position von Laplace – bemerkt Renouvier – entspricht einer Einstellung, die typisch für die Wissenschaftler ist, und die von einem Glauben an die Notwendigkeit geprägt ist, der sich nicht rechtfertigen lässt, oder – genauer – der „nutzlos“ ist⁸⁷⁷. Ebenso wenig bewiesen – setzt Renouvier fort – ist die Tatsache, dass alles Zufälliges verschwinden würde, wenn die Physik es schaffen würde, die Finalursachen zugunsten der „wahren Ursachen“ zu eliminieren: es ist nicht einmal klar, was mit „wahrer Ursache“ gemeint sein soll, und ob jede Art Wirkursache unbedingt etwas weniger Geheimnisvolles als die Finalursachen sei⁸⁷⁸. Auch nicht durch den Hinweis auf den Satz vom hinreichenden Grunde kann man laut Renouvier den Determinismus rechtfertigen: dieser Satz – von dem wir

⁸⁷⁶ Vgl. Renouvier (1854), S. 587ff.

⁸⁷⁷ Nach einer kurzen Rekonstruktion der Position von Laplace in Bezug auf Determinismus und Wahrscheinlichkeit durch eine Wiedergabe der entsprechenden Zitate kommentiert Renouvier: „Cette exposition des principes est de tout point conforme à l'esprit des sciences, ou plutôt des savants, qui tous ou presque tous sont prêts à l'avouer et à la reproduire. On y trouve une notion claire et concise de la probabilité [...], mais défigurée par une profession de foi dans la nécessité, qui me semble à moins inutile, et par conséquent arbitraire.“ (Renouvier 1854, S. 589).

⁸⁷⁸ „J'accorde sans peine au géomètre que le hasard recule avec les bornes de nos connaissances ; je lui accorde que les causes finales ne sont pas l'objet positif de l'étude de la nature ; mais je demande si le hasard ne peut pas reculer dans plusieurs directions et se maintenir imperturbablement dans une ; si, de cela que les causes finales sont éliminées de la physique où elles font place aux *véritables causes*, il est prouvé qu'elles *disparaissent entièrement* du système complet de l'univers. J'ignore aussi ce qu'on peut appeler ici une véritable cause : la cause efficiente des théologiens est encore plus étrangère que la cause finale à l'ordre des rapports positifs“ (Renouvier 1854, S. 589).

gesehen haben, dass er mit dem (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus in engem Zusammenhang war – ist laut Renouvier keineswegs selbstverständlich und auch über den Kausalitätsbegriff herrscht kein Konsensus⁸⁷⁹. Bei aller Wertschätzung und Bewunderung für die Naturgesetze – behauptet Renouvier – bleibt die Frage offen, ob sie ihre Gültigkeit nicht nur auf alle Körper, sondern auch auf alle Zeiten erstrecken⁸⁸⁰. Nicht nur kann die Wahrscheinlichkeitstheorie von Laplace diese Frage nicht beantworten, sondern sie ist sowohl in sich selbst und als auch mit Bezug auf den Determinismus nicht ganz konsequent, wie Renouvier durch eine detaillierte Analyse der Laplaceschen Wahrscheinlichkeitstheorie zu zeigen versucht.⁸⁸¹

Der Infragestellung des wissenschaftlichen Determinismus im ersten *Essai* folgt im zweiten *Essai*⁸⁸² eine Verteidigung der Willensfreiheit. Auch wenn diese Verteidigung bei Renouvier nicht unmittelbar mit dem wissenschaftlichen Determinismus zusammenhängt, möchte ich einige ihrer Aspekte kurz erwähnen, und insbesondere diejenigen, die einen Unterschied zu der Kantischen Philosophie ausmachen und diejenigen, die den Einfluss von Renouvier auf den Pragmatismus beleuchten⁸⁸³.

Die Philosophie Renouviers in der langen Phase der Arbeit an den *Essais* ist eine Art Neukantianismus, die (wahrscheinlich unter Einfluss des Positivismus) den Kantischen Unterschied zwischen *phenomenon* und *noumenon* abschafft⁸⁸⁴: dementsprechend kann Renouvier bei seiner Verteidigung des Freiheitsbegriffes offensichtlich nicht dieselbe argumentative Strategie wie Kant verfolgen, der sich zu diesem Zweck auf jene Unterscheidung wesentlich gestützt hatte. Tatsächlich will Renouvier den Freiheitsbegriff (1)

⁸⁷⁹ Renouvier (1854), S. 589-590.

⁸⁸⁰ „La conception d’une loi générale des mouvements est belle est bien exprimée, et s’étend fort légitimement aux trajectoires des moindres molécules : la grandeur ne fait rien à l’affaire ; toute la question est de savoir si le domaine de cette loi que est véritablement l’idéal de la science, embrasse le passé, l’avenir, tous les ordres de faits et tous les possibles“ (Renouvier 1854, S. 590).

⁸⁸¹ Vgl. Renouvier (1854), S. 590-593.

⁸⁸² Dieser erschien erstmals 1859 mit dem Titel *L’Homme, la Raison, la Passion, la Liberté, la Certitude, la Probabilité morale*.

⁸⁸³ Dabei werde ich aber nicht ins Detail gehen und ich werde mich hauptsächlich auf der Rekonstruktion der Philosophie von Renouvier seitens Gunn (1932a und 1932b) basieren.

⁸⁸⁴ Renouvier verfolgte (nach seinen Worten, wie von Gunn 1932b, S. 185) auf English wiedergegeben) „the ejection of indeterminate substance and the unknowable ‚thing-in-itself‘ from the Kantian philosophy“, nachdem er aber im originalen Vorwort zu den *Essais* zugegeben hatte: „I frankly confess that I carry on the work of Kant and my aim would be that of pursuing seriously in France the work of criticism“ (zit. in Gunn 1932b, S. 185). Die Abschaffung des Noumenon und die Einschränkung auf das Phänomen könnte u.a. eine Folge des Einflusses des Positivismus gewesen sein: zwar war Renouvier gegenüber dem Positivismus und Comte (bei dem er studiert hatte) kritisch, „Yet one primary principle he accepted from Comte: ‚I here declare‘ (he says in his preface to the *Essais*) ‚that I accept one fundamental principle of the Positivist School, namely, the reduction of knowledge to the laws of phenomena“ (Gunn 1932b, S. 187).

auf der Ebene der *Phänomene* und (2) *nicht a priori* behaupten⁸⁸⁵. Er muss aber einsehen, dass die Existenz der Freiheit sich nicht wie die Existenz einer Tatsache beweisen lässt: er argumentiert also von einem psychologischen und moralischen Standpunkt aus, indem er auf einige Implikationen des Freiheitsbegriffes auf diesen Ebenen hinweist⁸⁸⁶.

Erstens müssen wir der Philosophie von Renouvier zufolge den freien Willen des Menschen annehmen, um darüber Rechenschaft zu geben, dass der Mensch Überzeugungen hat. Schon im ersten *Essai* vertritt Renouvier eine Art voluntaristischer Erkenntnistheorie: um überhaupt zum Wissen, zur Gewissheit, zu Überzeugungen zu gelangen, müssen die Menschen nicht nur den Verstand, sondern auch den Willen (und das Gefühl) zum Einsatz bringen⁸⁸⁷. Selbst unser Wahrheitsbegriff ist laut Renouvier ein Produkt der Freiheit des Denkens⁸⁸⁸. Zweitens brauchen wir laut Renouvier die Annahme der Freiheit, um die Taten des Menschen zu erklären: die Zurückführung der jeweiligen Tat auf determinierende Ursachen führt zu einem unendlichen *regressus* oder impliziert den Begriff einer unendlichen Reihe von Ursachen, die die infrage kommende Tat erklären würde. Einen solchen Begriff hält Renouvier für unmöglich⁸⁸⁹, so dass wir aus seiner Sicht lieber die Spontaneität (im Kantischen Sinne, d.h. die Fähigkeit, eine Reihe von Dingen oder Zuständen von selbst anzufangen) des Handelns annehmen sollten. Die praktische Vernunft hat in der Philosophie von Renouvier also offensichtlich den absoluten Vorrang, oder genauer gesagt: die Vernunft ist nur praktisch, denn „sie ist der Mensch, und der Mensch ist nie anders als praktisch, d.h. handelnd“⁸⁹⁰.

⁸⁸⁵ Vgl. Gunn (1932b) und insb. S. 186, wo er ein sehr langes Zitat wiedergibt, in dem Renouvier die Hauptthesen seiner *Essais* insgesamt zusammenfasst.

⁸⁸⁶ Vgl. Gunn (1932b) S. 195: „From a strictly demonstrative point of view, Renouvier thinks it is impossible to prove freedom as a fact. However, he lays before us with intense seriousness various considerations of a psychological and a moral character which have an important bearing upon the problem.”

⁸⁸⁷ Vgl. Gunn (1932b), S. 193. Die Notwendigkeit des Einsatzes des Willen beim Erkennen folgt offensichtlich bei Renouvier aus der Einsicht, die er schon im ersten *Essai* darstellt, dass die Beweisbarkeit von Sätzen und Thesen sich in Grenzen hält: „Attacking the self-confident and dogmatic attitude in the scientists, Renouvier reminds them that it is impossible to demonstrate *every* proposition, and in an important note on ‚Induction and the sciences‘ he points out that induction always implies a certain ‚croyance‘. This is no peculiar, mystical thing; it is a fact, he remarks, which colours all the interesting acts of human personality“ (Gunn 1932b, S. 198). In Bezug auf diesen erkenntnistheoretischen Voluntarismus ist erwähnenswert, dass Renouvier, der in einer katholischen Familie aufgewachsen war, die katholische Kirche zugunsten des Protestantismus vehement ablehnte: „His religious attitude was no less clearly defined than his political attitude. Renouvier showed very marked hostility to the Roman Catholic Church, and to the clerical party and its power in France. *La critique philosophique* [die philosophische Zeitschrift, die er 1872 gründete] was aggressively Protestant. He urged all Catholic readers of his paper, indeed, all true republicans, to quit the Catholic for the Protestant Church. [...] ‘Criticism’, he had said, ‘is in philosophy what Protestantism is in religion’. Certitude is, he held, the fruit of intelligence, heart, and will, consequently it can never come about by the coercion of authority” (Gunn 1932a, S. 50).

⁸⁸⁸ Vgl. Gunn (1932b), S. 195.

⁸⁸⁹ Genau so wie Kant, lehnt er den Begriff einer vollkommenen Synthese aller Phänomene in einem Ganzen ab (vgl. Gunn 1932b, S. 197-8).

⁸⁹⁰ Zit. auf Englisch in: Gunn (1932b), S. 195.

Man versteht also, wie Renouvier dem frühen, klassischen Pragmatismus wichtige Denkanstöße gegeben hat: konkret geschah es über seine persönliche Beziehung zu William James (1842-1910) und wahrscheinlich über einen mehr oder weniger indirekten Einfluss auch auf den guten Freund von James und Mitbegründer des Pragmatismus, Charles S. Peirce (1839-1914)⁸⁹¹. Auch zu Boutroux und Bergson hatte James Beziehungen⁸⁹². Die Verhältnisse zwischen James und Peirce einerseits und den genannten französischen Denkern andererseits können im Sinne eines *gegenseitigen* Einflusses oder einer parallelen Entwicklung gewesen sein⁸⁹³.

Jedenfalls bekannte sich James, der in seinen Werken Renouvier als Inspirationsquelle mehrmals nennt, in einer 1893 in *The Philosophical Review* erschienenen Rezension des dritten *Essai* von Renouvier (*Les Principes de la Nature*) zu dessen erkenntnistheoretischen Voluntarismus, und zu der Überzeugung, dass eine Untermauerung des Freiheitsbegriffes aus diesem folgt:

[...] nothing can be finer than the manner in which Renouvier [...] shows, in an admirably true account of the natural history of belief, that, if free-will be admitted at all into the Universe, it must be left as a legitimate 'methodological' factor in the construction of philosophy. For philosophies are acts. Whether men admit or deny the fact, passion always plays some part in making them reject or hold to systems, and volition, whether predestinate or unpredestinate, always will play a part in deciding when to encourage and when to suppress one's doubt. [...] The question of universal predestination [...] is theoretically insoluble. But if our wills *be* ever free

⁸⁹¹ William James hatte viel Kontakt mit Europa, wo er auch Teile seiner Ausbildung absolvierte. Schon als Student, während eines Studienaufenthalts in Deutschland, fing er an, sich mit der Philosophie Renouviers intensiv zu beschäftigen. Der erste persönliche Kontakt geht wahrscheinlich auf die Beiträge zurück, die James für die von Renouvier gegründete philosophische Zeitschrift *La Critique philosophique* schrieb. 1880 trafen sich die beiden Philosophen persönlich in Avignon. James schrieb mehrere Rezensionen von Werken von Renouvier – eine davon ist unter seinen frühesten Publikationen (sie erschien 1876). Wichtige Schriften von James – wie „The Dilemma of Determinism“ (1884) und „The Will to Believe“ (1896) – enthalten Hinweise auf Renouvier; ihm ist James' Buch *Some Problems of Philosophy* gewidmet. Schließlich hatten James und Renouvier auch einen teilweise veröffentlichten Briefaustausch. Diese und weitere Informationen über das Verhältnis zwischen Renouvier und James sind in Gunn (1932a), S. 47-49, Hacking (1990), S. 153, und Pape (2002), S. 108 enthalten. Was Peirce betrifft, behauptet Porter (1986, S. 222), dass Peirce sowohl Renouvier, als auch Boussinesq, St. Venant und andere französische Autoren gelesen hatte. Hacking (1990, S. 157) vermutet, dass Peirce über seinen Freund James mit der Philosophie Renouviers vertraut war und fügt hinzu (S. 158): „Peirce had at least professional contacts with Renouvier, who published the French versions of two of Peirce's most celebrated essays“ (Hacking verrät nicht, welche). Was die Verhältnisse Zwischen Peirce und James betrifft, bietet Pape (2002, Erster Teil) einen guten Einblick, sowie eine Vergleich ihrer philosophischen Positionen.

⁸⁹² Boutroux schrieb 1911 eine Biographie von James (Boutroux 1911b), und Hacking (1990, S. 158) verweist auf eine „substantial unpublished James-Boutroux correspondence“. Über das Verhältnis zwischen James und Bergson vgl. Gunn (1920), Kap. 1.

⁸⁹³ Vgl. Hacking (1990), S. 158: „We may query whether the relationship between Boutroux and Renouvier in France, and James and Peirce in Cambridge, was one of influence or of parallel development“.

from antecedent determination, what is more fit than that they should have a voice in acknowledging that truth, which by acting they create? We may, then, without shame postulate our freedom [...] ⁸⁹⁴

Eine klassische Rechtfertigung des wissenschaftlichen Determinismus (wahrscheinlich Kantisches Ursprungs) stellte ihn als notwendige Voraussetzung beim Streben nach wissenschaftlicher Erkenntnis dar: James unterstützt nun hier das Argument Renouviers, nach dem wir umgekehrt einen freien Willen postulieren müssen, wenn wir über die Möglichkeit der Erkenntnis überhaupt Rechenschaft geben möchten.

Die „rationale Einbettung von Willensfreiheit und Moralität“ war ein Hauptinteresse von James, das hinter seiner ganzen Arbeit stand ⁸⁹⁵. Hier möchte ich nur auf die Aspekte seiner Position eingehen, die in Zusammenhang mit dem *wissenschaftlichen* Determinismus gebracht werden können, und ich möchte versuchen, die allgemeine Einstellung von James in Bezug zur wissenschaftlichen Determinismusfrage aufgrund mehrerer seiner Schriften und mehrerer Aspekte seiner Arbeit zu rekonstruieren ⁸⁹⁶.

Erstens kann man aufgrund der oben (§ 6.a.) durchgeführten Kontextualisierung der Determinismusfrage die Tatsache nicht übersehen, dass James - ausgebildeter Mediziner, 1873-76 Professor für Anatomie und Physiologie, und 1876 zum Professor für Psychologie ernannt - derjenige war, der 1875 die erste Lehrveranstaltung über *experimentelle Psychologie* in den USA anbot ⁸⁹⁷. 1878 opponiert er in seinem Aufsatz „Some Remarks on Spencer's Definition of Mind as Correspondence“ (James [1878] 1920) gegen jegliche mechanistische und deterministische Auffassung des Geistes: er lässt also in diesem Sinne den wissenschaftlichen Determinismus sich nicht auf das Gebiet des Geistes erstrecken. Diese Position vertritt er auch in seinem einflussreichen Hauptwerk als Psychologe, *The Principles of Psychology*, erstmals 1890 erschienen und zwei Jahre später in stark verkürzter Form als *Psychology: A Briefer Course* herausgegeben. Im letzten Kapitel des zweiten Bandes des erstgenannten Werks vertritt James die Auffassung, „dass die Psychologie als empirische Wissenschaft keinen Begriff des Geistes entwickeln kann, der das Problem der Unvereinbarkeit mechanistischer Determiniertheit mit der Freiheit des Willens löst“ ⁸⁹⁸. Aber

⁸⁹⁴ James (1893), S. 214. Auch Peirce bekennt sich im selben Jahr zu einer voluntaristischen Erkenntnistheorie, indem er sogar die Geltung der deduktiven Schlussfolgerung vom Handeln (d.h. vom Willen) abhängen lässt: „[...] all deductive reasoning [...] requires an act of choice; because from a given premise, several conclusions, - in some cases an infinite number - can be drawn“ (Peirce 1893b, S. 533).

⁸⁹⁵ Vgl. Pape (2002), S. 110.

⁸⁹⁶ Ich werde mich also nicht nur auf den berühmten Aufsatz über „The Dilemma of Determinism“ konzentrieren, wie z.B. Porter (1986, S. 222) und Hacking (1990, S. 153) machen.

⁸⁹⁷ Vgl. Pape (2002), S. 108.

⁸⁹⁸ Vgl. Pape (2002), S. 120.

erst im „Epilogue“ des Buchs *Psychology: A Briefer Course* erklärt James diese Auffassung einleuchtend und bettet sie in seine allgemeine Erkenntnistheorie ein:

Let psychology frankly admit that *for her scientific purposes* determinism may be *claimed*, and no one can find fault. If, then, it turns out later that the claim has only a relative purpose, and may be crossed by counter-claims, the readjustment can be made. Now ethics makes a counter-claim; and the present writer, for one, has no hesitation in regarding her claim as the stronger, and in assuming that our wills are ‘free’. For him, then, the deterministic assumption of psychology is merely provisional and methodological.⁸⁹⁹

Vom pragmatischen Gesichtspunkt James’ aus gibt es kein absolut geltendes Wissen: die Geltung und die Bedeutung des Wissens wird von ihm in Bezug auf seine praktischen Zwecke und seine Konsequenzen für das Leben relativiert. So gesehen, sind das wissenschaftliche Wissen und der wissenschaftliche Determinismus nur eine Perspektive unter möglichen, die nur in Bezug auf bestimmte Zwecke gilt⁹⁰⁰. Interessanterweise spricht James in seinem Aufsatz „The Sentiment of Rationality“ (James 1927 [1879]) von einer Philosophie, die mit der Tätigkeit der Klassifizierung zu identifizieren sei, und die den Zweck der Voraussage mit der Wissenschaft teilt: “[...] the first practical requisite which a philosophic conception must satisfy: *It must, in a general way at least, banish uncertainty from the future*” (James 1927 [1879], S. 77). Die Möglichkeit der Prognose präsentiert James in diesem Aufsatz als Ziel jeglichen theoretischen Denkens, ein Ziel, das er wiederum durch Hinweis auf die seinerzeit populäre evolutionäre Erkenntnistheorie erklärt⁹⁰¹. Sowohl die Wissenschaft als auch die Philosophie tendieren dementsprechend dazu, den freien Willen zu leugnen:

⁸⁹⁹ James (1984 [1892]), S. 395.

⁹⁰⁰ In seinem berühmten Aufsatz “The Will to Believe” (James 1927 [1896]) opponiert James gegen die Forderung, jede Art von Überzeugung dem wissenschaftlichen Rechtfertigungsverfahren zu unterziehen. So kommentiert Pape (2002, S. 114) die Position James’: „In den ihm wohlvertrauten Naturwissenschaften gibt es eine auf allgemeine Gültigkeit zielende Methodik der Beweisführung für die beanspruchten Theorien und empirischen Aussagen. Nun ist eine personen-, zeit- und ortsunabhängige Begründung und Prüfung des Anspruchs auf Erkenntnis in den Wissenschaften gewiß angebracht. Doch gegen ihre Ausdehnung auf alle Lebensbereiche und ihre Priorität vor allen Überzeugungen erhebt James Einspruch. [...] Später, um 1908, wünscht sich James, er hätte in dieser Arbeit [d.h. „The Will to Believe“] von einem ‚Recht auf Überzeugung‘ gesprochen – und den Aufsatz auch so benannt“.

⁹⁰¹ Vgl. James 1927 [1879], S. 78-79, und insb.: “It is of the utmost practical importance to an animal that he should have prevision of the qualities of the objects that surround him”. Es sei kurz daran erinnert, dass auch Mach eine evolutionäre Erkenntnistheorie vertrat (vgl. oben, § 3.c). Mach hatte Kontakte mit James und Pierce (vgl. Stadler 2001, S. 401): dem ersteren wollte Mach sogar eine Ausgabe seiner populärwissenschaftlichen Vorlesungen widmen. In Thiele (1969, S. 535) ist der Brief von Mach an James wiedergegeben, mit dem er James nach einer Erlaubnis zu dieser Widmung fragt.

The wrath of science against miracles, of certain philosophers against the doctrine of free-will, has precisely the same root, - dislike to admit any ultimate factor in things which may rout our prevision or upset the stability of our outlook.⁹⁰²

Das theoretische Denken kann aber die Realität niemals erschöpfen – James argumentiert hier in dieselbe Richtung wie Boutroux und die Brüder Tannery:

No abstract concept can be a valid substitute for a concrete reality except with reference to a particular interest in the conceiver. The interest of theoretic rationality [...] is but one of a thousand human purposes. When others rear their heads, it must pack up its little bundle and retire till its turn recurs.⁹⁰³

Wie wir gesehen haben, muss sich insbesondere das Interesse der theoretischen Rationalität laut James „zurückziehen“, wenn das Interesse der Ethik mit ihm in Konflikt gerät. Der ethische Standpunkt hat die Priorität, denn es ist die theoretische Vernunft, die von der praktischen abhängt, und nicht umgekehrt: wie wir gesehen haben, teilt James mit Renouvier eine voluntaristische Erkenntnistheorie⁹⁰⁴. Diese macht klar, dass eine Überzeugung wie der wissenschaftliche Determinismus genau so abhängig vom Erkenntnissubjekt - von seinen Bedürfnissen, Vorlieben, und Zwecken - ist, wie der Glaube an die menschliche Freiheit: Nachdem James am Anfang seines Aufsatzes über „The Dilemma of Determinism“ (James 1927 [1884]) zugegeben hat, dass er die Determinismusfrage durch keinen zwingenden Beweis⁹⁰⁵ lösen kann, schickt er aber der folgenden Besprechung des Problems eine erkenntnistheoretische Mahnung voraus:

But if anyone pretends that while freedom and variety are, in the first instance, subjective demands, necessity and uniformity are something altogether different, I do not see how we can debate at all.⁹⁰⁶

⁹⁰² James (1927 [1879]), S. 80.

⁹⁰³ James (1927 [1879]), S. 70.

⁹⁰⁴ “Pretend what we may, the whole man within us is at work when we form our philosophical opinions. Intellect, will, taste, and passion co-operate just as they do in practical affairs; and lucky it is if the passion be not something as petty as a love of personal conquest over the philosopher across the way. [...] It is almost incredible that men who are themselves working philosophers should pretend that any philosophy can be, or ever has been, constructed without the help of personal preference, belief, or divination” (James 1927 [1879], S. 92-93).

⁹⁰⁵ Hier ist James sehr subtil: „I [...] disclaim openly on the threshold all pretension to prove to you that the freedom of the will is true. The most I hope is to induce some of you to follow my own example in assuming it true, and acting as if it were true. [...] Its truth ought not to be forced willy-nilly down our indifferent throats. It ought to be freely expoused by men who can equally well turn their backs upon it. In other words, our first act of freedom, if we are free, ought in all inward property to be to affirm that we are free. This should exclude, it seems to me, from the freewill side of the question all hope of a coercive demonstration [...]” (James 1927 [1884], S. 146).

⁹⁰⁶ James (1927 [1884]), S. 147-148.

James lässt offensichtlich unterschiedliche Formen von Rationalität gelten (er spricht von „conceptions of moral[,] of mechanical [and] of logical rationality“⁹⁰⁷), die alle – eben – rational sind und die auch Überzeugungen umfassen, die nicht beweisbar sind. Einen solchen Charakter hat z.B. das Kausalprinzip:

The principle of causality, for example, - what is it but a postulate, an empty name covering simply a demand that the sequence of events shall some day manifest a deeper kind of belonging of one thing with another than the mere arbitrary juxtaposition which now phenomenally appears? It is as much an altar to an unknown god as the one that Saint Paul found at Athens. All our scientific and philosophic ideals are altars to unknown gods. Uniformity is as much so as is free-will.⁹⁰⁸

Diese „paritätische“ Lage ist aber für James nur der Ausgangspunkt in diesem Aufsatz: aus den vorigen Zitaten ging schon hervor, dass James aufgrund des Primats, das er der praktischen Rationalität zuerkennt, für den Glauben an den freien Willen Partei nehmen *will*. Determinismus und Indeterminismus sind nämlich inzwischen offensichtlich schon zwei „Parteien“ geworden: wahrscheinlich ist der Text von James unter den ersten, wenn nicht der erste, der die Dichotomie „Determinismus vs. Indeterminismus“ als solche präsentiert. Man bedenke dabei einen Aspekt, auf den ich im vorliegenden Kapitel aufmerksam gemacht habe: James war ein öffentlich bekannter und geschätzter Redner, der sehr gerne seine philosophischen und wissenschaftlichen Überzeugungen der Öffentlichkeit präsentierte⁹⁰⁹. Nun werden die „Parteien“ Determinismus und Indeterminismus von James wie folgt definiert:

[Determinism] professes that those parts of the universe already laid down absolutely appoint and decree what the other parts shall be. [...]

Indeterminism, on the contrary, says that the parts have a certain amount of loose play on one another, so that the laying down of one of them does not necessarily determine what the others shall be.⁹¹⁰

Der Aspekt der mathematischen Vorausberechenbarkeit, der den wissenschaftlichen Determinismus oft ausmachte, erscheint in dieser Definition nicht: stattdessen schreibt James gleichermaßen dem Determinismus und dem Indeterminismus einen „mathematical sound“ zu⁹¹¹. James betrachtet die Determinismusfrage eher von einem logischen (sie beträfe das

⁹⁰⁷ James (1927 [1884]), S. 147

James (1927 [1884]), S. 147.

⁹⁰⁹ Vgl. Pape (2002), S. 109-110 und 112-113.

⁹¹⁰ James (1927 [1884]), S. 150-151.

⁹¹¹ Vgl. James (1927 [1884]), S. 150.

Problem der Existenz von „echten“, und nicht nur scheinbaren *Möglichkeiten*⁹¹²) und vor allem von einem psychologischen Standpunkt aus: dem Einen erscheint eine deterministische Welt rationaler, dem Anderen wird eine indeterministische Welt rationaler erscheinen. Viele haben eine „Antipathie“ gegenüber dem Begriff des Zufalls und entscheiden sich aus diesem Grund für den Determinismus. Laut James gibt es aber keine Evidenz, auf die wir verweisen könnten, um die Determinismusfrage zu lösen (die Wissenschaft beschäftigt sich nur mit Tatsachen, und kann uns nicht verraten, ob diese notwendigerweise so sein mussten oder nur eine Möglichkeit unter anderen waren), und wir besitzen auch kein objektives Kriterium, um *a posteriori* zu entscheiden, ob ein Ereignis zufällig geschehen ist oder aufgrund einer strengen Notwendigkeit. Im zweiten Teil des Aufsatzes wendet sich James aber der Determinismusfrage fast ausschließlich vom Standpunkt der Ethik aus zu (nachdem er sehr entschlossen die Annahme des Zufalls als Möglichkeitsbedingung des Glaubens an die menschliche Freiheit erklärt hat⁹¹³), und dementsprechend entfernt er sich von unserem Hauptthema⁹¹⁴.

Charles S. Peirce soll sich im Gegenteil – wenigstens laut Porter (1986, S. 220) und Hacking (1990, Kap. 23) – gerade von seiner eigenen wissenschaftlichen Praxis des Messens und Rechnens ausgehend mit der Determinismusfrage beschäftigt haben: 30 Jahre lang hatte er eine Anstellung bei der amerikanischen Vermessungs- und Küstenschutz-Behörde (*Coast and Geodetic Survey*), die sein Vater leitete⁹¹⁵. Das bedeutet, dass er mit den statistischen

⁹¹² Vgl. James (1927 [1884]), S. 151-53. Diesbezüglich ist folgende Stelle aus Pape (2002, S. 14) erwähnenswert: „Fast alle Spielarten des Pragmatismus betonen die entscheidende Bedeutung, die das Künftige, das bloß Mögliche hat. Während der Gegenstand der Philosophie traditionellerweise das Notwendige, Überzeitliche und Wesentliche war, unternimmt es der Pragmatismus, das Mögliche, Zeitgebundene und Zufällige ... zum Ausgangspunkt des Philosophierens zu machen.“

⁹¹³ Oder so interpretiere ich ihn jedenfalls, wenn er behauptet: „Determinism denies the ambiguity of future volitions, because it affirms that nothing future can be ambiguous. [...] Indeterminate future volitions *do* mean chance. Let us not fear to shout it from the house-tops if need be [...] (James ([1884] 1927), S. 158).

⁹¹⁴ Insbesondere beschäftigt sich James ausführlich mit dem Problem, dass der Determinismus mit der Möglichkeit sinnvoller Werturteile schwer kompatibel sei. Interessanterweise erwähnt James auch Zola, indem er denkt, dass seine „experimentelle Romane“ die Möglichkeit ausschließen, Werturteile über das Geschehen zu formulieren (was James kritisch sieht). Schließlich argumentiert James zugunsten des Indeterminismus aus moralischen Gründen (vgl. James 1927 [1884], S. 177: [...] determinism [...] violates my sense of moral reality through and through.“): „What interest, zest, or excitement can there be in achieving the right way, unless we are enabled to feel that the wrong way is also a possible and a natural way[...]? And what sense there can be in condemning ourselves for taking the wrong way, unless the right way was open to us as well? I cannot understand the willingness to act, no matter how we feel, without the belief that acts are really good and bad. I cannot understand the belief that an act is bad, without regret it at its happening. I cannot understand regret without the admission of real, genuine possibilities in the world.“ (James 1927 [1884], S. 175). Dabei soll man sich die pragmatische Bedeutungstheorie James' vor Augen halten: „Die pragmatische Methode behauptet, dass das, was ein Begriff bedeutet, seine Konsequenzen sind“ (zit. aus einem unveröffentlichten Vortrag, in: Pulte 2002, S. 111). Der Begriff vom moralisch Bösen lässt sich also z.B. von James nur im Lichte der Konsequenz verstehen, dass ich es bedauere: wenn ich aber wie der Determinist glaube, dass alles nach notwendigen Gesetzen geschieht, dann kann ich nichts bedauern, und ein Grundbegriff der Ethik wird damit sinnlos.

⁹¹⁵ Vgl. Porter (1986), S. 220, Hacking (1990), S. 202-203, und Pape (2002), S. 41.

Verfahren der Messtheorie (vgl. oben, § 4.a.) und mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung vertraut war, und dies wiederum hatte zur Folge – so behauptet Hacking –, dass er die Existenz des Zufalls oder wenigstens eines Grads an Unbestimmtheit einfach vor Augen hatte⁹¹⁶. Tatsächlich ist es so, dass Peirce jene Ungenauigkeit, die im Rahmen der klassischen Messtheorie auf Beobachtungsfehler zurückgeführt wird und die man durch statistischen Verfahren zu reduzieren suchte, darüber hinaus auch als Hinweis auf eine tiefere, reale Unbestimmtheit interpretiert:

Just as, when we attempt to verify any physical law, we find our observations cannot be precisely satisfied by it, and rightly attribute the discrepancy to errors of observation, so we must suppose far more minute discrepancies to exist owing to the imperfect cogency of the law itself, to a certain swerving of the facts from any definite formula.⁹¹⁷

So schreibt Peirce 1891 in einem Aufsatz, der seine kurz darauf folgende Polemik gegen „the doctrine of necessity“ schon ahnen lässt⁹¹⁸: mit dieser Polemik löste Peirce ab 1892 eine Debatte über die Determinismusfrage in *The Monist* aus, an der auch Paul Carus und John Dewey teilnahmen⁹¹⁹. In den teilweise sehr komplizierten Aufsätzen von Peirce, in denen er

⁹¹⁶ „He [Peirce] did argue against the doctrine of necessity, but it was not an argument that convinced him that chance is an irreducible element of reality. *He opened his eyes, and chance poured in* - from a world which, in all its small details, he was seeing in a probabilistic way. (Hacking 1990, S. 201). Vgl. auch *ibidem*, S. 214: “I have not been presenting an interpretation of Peirce, an attempt to explain or to highlight what he really meant. I have aimed only at describing a man whose professional life as a measurer was immersed in the technologies of chance and probability, and who, in consequence of the daily experience, finally surrendered to the idea that there is absolute chance in the universe. He poured this experience of chance into most aspects of his philosophy, including those that we now find esoteric”.

⁹¹⁷ Peirce (1891), S. 165.

⁹¹⁸ Vgl. z.B. folgende Stelle im abschließenden Teil des Aufsatzes: „It is evident [...] that we can have no reason to think that every phenomenon in all its minutest details is precisely determined by law. That there is an arbitrary element in the universe we see, - namely, its variety. This variety must be attributed to spontaneity in some form” (Peirce 1891, S. 174).

⁹¹⁹ Peirce (1891) umriss eine evolutionäre Kosmogonie (er spricht von einer „Cosmogonic Philosophy“: Peirce 1891, S. 175-176), in der der Zufall eine entscheidende Rolle spielt, während Peirce (1892) war speziell einer ausführlichen Widerlegung der „doctrine of necessity“ gewidmet. Auf diese reagierte der Philosoph und Herausgeber der Zeitschrift Paul Carus mit zwei Artikeln (Carus 1892a und 1892b). Peirce (1893a) entwickelte seine evolutionäre, indeterministische Kosmogonie weiter, während Peirce (1893b) eine extrem genaue Antwort auf alle Einwände von Carus lieferte. Schließlich beteiligte sich auch John Dewey an der Diskussion mit einem Aufsatz, in dem er auch den Begriff der Notwendigkeit als eine Art nützlichen Aberglaubens darstellt (Dewey 1893). Dewey (1893) fasst den Begriff der Notwendigkeit epistemisch, oder nicht-realistisch auf, und bezieht ihn auf Vorgänge der Analysis und Synthesis im Erkenntnisprozess: in diesem Rahmen ist der Begriff der Notwendigkeit *nützlich*, erstens weil er uns erlaubt, isolierte (abstrahierte) Tatsachen in einen größeren Zusammenhang einzubetten (wir verbinden dabei Tatsachen miteinander, indem wir einige als notwendige für das Entstehen der anderen interpretieren), und, zweitens, weil der Begriff der Notwendigkeit uns hilft, über die Mittel zu denken, die wir in Bezug auf ein gewisses Ziel brauchen („Necessary means *needed*“ – *ibidem*, S. 372). Dementsprechend definiert er auch den Begriff des Zufalls: „Chance [...] stands for the irrelevancy as the matter at first presents itself to consciousness“ (*ibidem*, S. 376). Dewey (1893) werde ich im Folgenden nicht weiter besprechen, denn er bezieht sich nie auf die Argumente von Peirce und Carus, und in diesem Sinne bleibt ein „isoliertes Stück“.

nicht immer verständliche und vollkommene Argumente liefert⁹²⁰, lassen sich eine *pars destruens* und eine *pars construens* erkennen, wobei die erste aus Argumenten gegen die „Lehre der Notwendigkeit“ besteht, während die zweite aus der Darstellung einer evolutionären, indeterministischen Kosmogonie besteht (die den sogenannten „Tychism“, d.h. die Behauptung der Existenz des absoluten Zufalls⁹²¹ umfasst). Ich werde nun versuchen, entsprechend dieser Einteilung die Argumente von Peirce kurz und systematisch zu rekonstruieren⁹²².

Ich ziehe also zuerst die Argumente gegen die „doctrine of necessity“ in Betracht, wobei ich die Lehre der Notwendigkeit mit dem wissenschaftlichen Determinismus identifizieren werde, denn Peirce definiert diese Lehre durch eine *variazione sul tema* von Laplace:

The proposition in question is that the state of things existing at any time, together with certain immutable laws, completely determine [sic] the state of things at any other time (for a limitation to *future* time is indefensible). Thus, given the state of the universe in the original nebula, and given the laws of mechanics, a sufficiently powerful mind could deduce from these data the precise form of every curlicue of every letter I am now writing.⁹²³

Gegen diese Lehre der Notwendigkeit formuliert Peirce ein Argument, das uns inzwischen vertraut sein sollte, auch wenn es gleich am Anfang des ersten seiner polemischen Aufsätze eher „getarnt“ auftritt und fast nebenbei formuliert wird: mit Bezug auf die Lehre der Notwendigkeit behauptet Peirce nämlich:

It must not be supposed that this is a doctrine accepted everywhere and at all times by all rational men. Its first advocate appears to have been Democritus the atomist [...] [H]aving restricted his attention to a field where no influence other than mechanical constrain could possibly come before his notice, he straightaway jumped to the

⁹²⁰ Vgl. z.B. folgende geheimnisvolle Stelle aus Peirce (1892, S. 335): „But I must leave undeveloped the chief of my reasons [für seine indeterministische Kosmogonie], and I can only adumbrate it. The hypothesis of chance-spontaneity is one whose inevitable consequences are capable of being traced out with mathematical precision into considerable detail. Much of this I have done and find the consequences to agree with observed facts to an extent which seems to me remarkable. But the matter and the methods of reasoning are novel, and I have no right to promise that other mathematicians shall find my deductions as satisfactory as I myself do, so that the strongest reason for my belief must for the present remain a private reason of my own [...]“.

⁹²¹ Vgl. Peirce (1893a), S. 188. In diesem Aufsatz behauptet er die Überlegenheit des „tychasticism“, einer Theorie der Evolution, die dem Zufall die primäre Rolle zuschreibt, über den „anancasticism“, eine Theorie der Evolution, die die primäre Rolle der Notwendigkeit zuschreibt. Jedoch behauptet Peirce auch die Überlegenheit seines neulich ausgedachten „agapasticism“ (Theorie der Evolution durch Liebe) über den „tychasticism“.

⁹²² Sehr hilfreich für das Verständnis der Theorien und der Argumente von Peirce (in Bezug auf die Determinismusfrage) sind Turley (1969), Porter (1986, S. 219-227), und Coscullela (1992). Eine sehr verständliche und, wie es mir scheint, faire Zusammenfassung der „positiven Thesen“ von Peirce bietet Carus (1892b, S. 95) – um sie zu kritisieren.

⁹²³ Peirce (1892), S. 323.

conclusion that throughout the universe that was the sole principle of action, - a style of reasoning so usual in our day with men not unreflecting as to be more than excusable in the infancy of thought.⁹²⁴

Eigentlich bringt Peirce an dieser Stelle gleich *zwei* Argumente gegen den Determinismus vor. Das erste wendet sich gegen die angebliche Selbstverständlichkeit, die dem Determinismus oft zugeschrieben wird⁹²⁵: es weist auf Epochen und Denker hin, die ihn nicht vertreten haben. Das zweite ist uns aus der französischen antideterministischen Tradition und von James schon bekannt, obwohl Peirce uns hier mit seiner eigenen Version konfrontiert: der Determinist kann seine Position nur insofern gelten lassen, als er nur ein partielles und verarmtes Bild der Realität in Betracht zieht („[H]aving restricted his attention to a field where no influence other than mechanical constrain could possibly come before his notice...“). Wenn er aber dann seine These auf die ganze Realität beziehen will, macht er einen Denkfehler („he straightaway jumped to the conclusion that throughout the universe that was the sole principle of action“).

Dann widerlegt Peirce die Behauptung (kantischen Ursprungs), dass der Determinismus eine notwendige Voraussetzung der Wissenschaft sei. Erstens, wendet Peirce ein, würde die Tatsache, dass er vorausgesetzt wird, noch nicht bedeuten, dass er *wahr* ist⁹²⁶. Zweitens basiert die Wissenschaft laut Peirce, der sich an seine wissenschaftliche Praxis stützen kann, auf eine probabilistische und fallibilistische Epistemologie, die die Annahme des Determinismus leicht entbehren kann⁹²⁷. Dieses Argument ist interessant, weil es *ex negativo* bezeugt, wie wichtig für den Determinismus das aristotelische Wissenschaftsverständnis war, laut dem die Wissenschaft ein deduktives System sei, das aus allgemeingültigen und notwendigen Prinzipien ebenso allgemeingültige und notwendige Sätze ableiten lässt. Umgekehrt behauptet Peirce, dass die Wissenschaft auf nicht-deduktiven Inferenzen

⁹²⁴ Peirce (1892), S. 321.

⁹²⁵ Vgl. Cosculluela (1992), S. 742.

⁹²⁶ Vgl. Peirce (1892), S. 323: „When I have asked thinking men what reason they had to believe that every fact in the universe is precisely determined by law, the first answer has usually been that the proposition is a ‚presupposition‘ or postulate of scientific reasoning. Well, if that is the best that can be said for it, the belief is doomed. Suppose it be ‚postulated‘: that does not make it true, nor so much as afford the slightest rational motive for yielding it any credence“.

⁹²⁷ Peirce (1892), S. 324ff., und insb. „Considering, too, that the conclusions of science make no pretense to being more than probable, and considering that a probable inference can at most only suppose something to be most frequently, or otherwise approximately, true, but never that anything is precisely true without exception throughout the universe, we see how far this proposition in truth is from being so postulated“.

basiert⁹²⁸, die alle nur mit Bezug auf tatsächliche Erfahrung (*experientially*) und nur vorläufig (*provisionally*) gelten⁹²⁹: somit wird die Annahme des Determinismus gleich überflüssig⁹³⁰.

Schließlich zieht Peirce die Hypothese in Betracht, dass die These des wissenschaftlichen Determinismus aus der Beobachtung der Natur untermauert wird⁹³¹. Peirce stützt sich hier offensichtlich wieder auf seine wissenschaftliche Praxis als Angestellter der *Coast and Geodetic Survey*, um diese Hypothese abzuweisen:

For the essence of the necessitarian position is that certain continuous quantities have certain exact values. Now, how can observation determine the value of such a quantity with a probable error absolutely *nil*? To one who is behind the scenes, and knows that the most refined comparisons of masses, lengths, and angles, far surpassing in precision all other measurements, yet fall behind the accuracy of bank-accounts, and that the ordinary determinations of physical constants, such as appear from month to month in the journals, are about on a par with an upholsterer's measurements of carpets and curtains, the idea of mathematical exactitude being demonstrated in a laboratory will appear simply ridiculous. [...] any statement to the effect that a certain continuous quantity has a certain exact value, if well-founded at all, must be founded on something other than observation.⁹³²

Tatsächlich habe ich versucht, zu zeigen (vgl. oben, insb. Kap. 2), dass der wissenschaftliche Determinismus aus einer rationalistischen Epistemologie entstand, die von der Erfahrung und der Beobachtung eher *absah*⁹³³. Peirce spitzt aber seinen Einwand noch zu:

Those observations which are generally adduced in favor of mechanical causation simply prove that there is an element of regularity in nature, and have no bearing whatever upon the question of whether such regularity is exact and universal, or not. Nay, in regard to this *exactitude*, all observation is directly *opposed* to it; [...] Try to verify any law of nature, and you will find that the more precise your observations, the more certain they will be

⁹²⁸ „Non-deductive, or ampliative inference is of three kinds: induction, hypothesis, and analogy. [...] All are essentially inferences from sampling” (Peirce 1892, S. 324).

⁹²⁹ Vgl. Peirce (1892), S. 324.

⁹³⁰ Insbesondere – wie Cosculluela (1992, S. 743) mit Bezug auch auf andere Schriften von Peirce klar macht: (1) Induktion ist laut Peirce dadurch gerechtfertigt, dass sie „self-correcting“ ist; (2) „Hypothese“ bzw. Abduktion ist durch „Verzweiflung“ gerechtfertigt (d.h., wir haben keine andere Möglichkeit, das in Frage kommende Phänomen zu erklären); (3) Analogie hält Peirce für eine Mischform von Deduktion, Induktion und Abduktion – jedenfalls wird sie in Peirce (1892) nur kurz erwähnt, und gleich vergessen. Also, nirgendwo ist Determinismus als Rechtfertigung oder Voraussetzung für die Inferenzen der Wissenschaft gefragt.

⁹³¹ „[...] the principle of universal necessity cannot be defended as being a postulate of reasoning. But then the question immediately arises whether it is not proved to be true, or at least rendered highly probable, by observation of nature” (Peirce 1892, S. 327).

⁹³² Peirce (1892), S. 328.

⁹³³ So erwidert auch Carus (1892a, S. 563) Peirce: „Mr. Peirce is right when saying that necessitarianism must be founded on something other than observation. Observation is *a posteriori*; [...] The doctrine of necessity, let us not be afraid to pronounce it clearly, is of an *a priori* nature.”

to show irregular departures from the law. We are accustomed to ascribe these, and I do not say wrongly, to errors of observation; yet we cannot usually account for such errors in any antecedently probable way.⁹³⁴

Diesen letzten Satz, der nicht ganz klar ist, interpretiere ich, wie folgt: wir können vor der Formulierung irgendeiner Annahme bzw. *a priori* („antecedently“) keine wahrscheinliche („probable“) Erklärung für die Irregularitäten angeben. Das heißt, wenn wir sie auf Beobachtungsfehler zurückführen, ist es deswegen, weil wir die Gültigkeit des Determinismus schon angenommen haben – was einer *petitio principii* gleichkommt⁹³⁵.

Gegen den Determinismus spricht aber auch – laut Peirce – die Existenz von Phänomenen oder Tatsachen, die sich anhand des Determinismus nicht erklären lassen, und für die im Gegenteil die „philosophische Kosmogonie“ von Peirce – die die Existenz des absoluten Zufalls voraussetzt – eine Erklärung liefert⁹³⁶. In diesem Sinne scheint es mir, dass die deduktiven Argumente (*reductio ad absurdum* des Determinismus) sowie die induktiven (Schlussfolgen aus der eigenen wissenschaftlichen Praxis), von Peirce eigentlich in eine größere, allgemeine Argumentationsstrategie eingebettet werden, die eher eine abduktive ist.

Die Tatsachen, die sich unter der Voraussetzung des Determinismus schwer erklären lassen, sind laut Peirce folgende⁹³⁷: (a) Wachstum und zunehmende Komplexität (*growth, increasing complexity*), wie sie jede Wissenschaft, die sich mit zeitlichen Phänomenen beschäftigt, ans Licht bringt⁹³⁸. (b) Vielfalt, Verschiedenheit, Spontaneität (*variety, diversity, spontaneity*), wobei Peirce (1982a, S. 334) damit „the really *sui generis* and new“ meint⁹³⁹. (c) Unregelmäßigkeit (*irregularity*), im Sinne von kleinen Abweichungen vom Gesetz, aber auch Regelmäßigkeit, d.h. Konstanz und Uniformität der Naturgesetze. (d) Der Geist (inklusive seiner Willensfreiheit), das Bewusstsein, die Empfindung (*mind, consciousness, feeling*).

⁹³⁴ Peirce (1892), S. 329.

⁹³⁵ Cosculluela (1992, S. 744) scheint, das Argument Peirce auf ähnliche Weise zu interpretieren.

⁹³⁶ Wichtig finde ich diese Präzisierung: es ist nicht die Behauptung des Zufalls an sich, die laut Peirce erklärungsfähig ist, sondern seine allgemeine Kosmogonie, die wiederum die Existenz des Zufalls voraussetzt. Vgl. z.B. Peirce (1892, S. 336): „To undertake to account for anything by saying boldly that it is due to chance would, indeed be futile. But this I do not do. I make use of chance chiefly to make room for a principle of generalization, or tendency to form habits, which I hold has produced all regularities“ (die Bedeutung dieses letzten Satzes soll im Folgenden klar werden).

⁹³⁷ Ich versuche hier eine sinnvolle Auflistung, die v.a. auf Peirce (1892, S. 333-334) und Peirce (1893b, S. 561) basiert: Peirce erwähnt aber diese Tatsachen immer wieder und in verschiedenen Anordnungen und Kombinationen.

⁹³⁸ „Question any science which deals with the course of time. Consider the life of an individual animal or plant, or of a mind. Glance at the history of states, of institutions, of language, of ideas. Examine the successions of forms shown by paleontology, the history of the globe as set forth in geology, of what the astronomer is able to make out concerning the changes of stellar systems. Everywhere the main fact is growth and increasing complexity (Peirce 1982a, S. 333).

⁹³⁹ Vgl. auch Peirce (1891), S. 174.

Dass der Determinismus (a) und (b) nicht erklären kann, scheint auf den Voraussetzungen zu basieren, dass, erstens, der Determinismus mit dem Energieerhaltungssatz wesentlich verbunden sei, und, zweitens, dass der Energieerhaltungssatz (a) und (b) verbieten würde⁹⁴⁰. Was (c) betrifft, scheint Peirce den Determinismus so aufzufassen, dass er jene Unregelmäßigkeit *per definitionem* ausschließt, indem er die Möglichkeit jeglicher Abweichung von den Gesetzen leugnet. Gleichzeitig lässt der Determinismus auch die Existenz der Naturgesetze und deren Uniformität unerklärt, während Peirce die Naturgesetze – ihre Eigenschaften, ihre unerwartete Ähnlichkeiten mit einander – für erklärungsbedürftig hält⁹⁴¹. (d) führt unmittelbar zu der Fragestellung, die – wie wir gesehen haben – überhaupt zur Entstehung des wissenschaftlichen Determinismusbegriffes wesentlich beigetragen hat: die Frage nach dem Verhältnis zwischen physikalischen und psychischen Phänomenen, und insbesondere die Frage nach der Möglichkeit, den Gültigkeitsbereich von mathematisch formulierten „Natur“gesetzen auf den menschlichen Geist und auf den menschlichen Willen zu erstrecken. Bei der Betrachtung von (d) tendiert Peirce dazu, den Determinismus (die „doctrine of necessity“) mit dem Materialismus und mit dem Mechanismus⁹⁴² zu identifizieren, zwei Positionen, die er mehrmals und mit verschiedenen Argumenten zugunsten seines „objektiven Idealismus“ widerlegt⁹⁴³, der wiederum in seine evolutionäre und indeterministische Kosmogonie einfließt.

⁹⁴⁰ Vgl. Peirce (1892a), S. 332-33. Auch Carus (1892a, S. 566 und 1892b, S. 76), indem er bei seiner Verteidigung des Determinismus auf das „law of the conservation of matter and energy“ verweist, macht die Verwandtschaft zwischen Determinismus und Energieerhaltungssatz klar. Was (a) betrifft, vgl. auch Peirce (1891, S. 165): „[...] because the law of the conservation of energy is equivalent to the proposition that all operations governed by mechanical laws are reversible; so that an immediate corollary from it is that growth is not explicable by those laws [...]“. Peirce (1893b, S. 562-64) bezieht sich auf die Reduktion thermodynamischer Phänomene auf die statistische Mechanik, und behauptet: „we cannot help suspecting that the simulated violation of the law of energy has a real violation of the same law as its ultimate explanation. Now, growth *appears* to violate the law of energy. To explain it, we must, at least, suppose a simulate, or *quasi*, chance [...]. It may be there is no real violation of the law, and no real chance; but even if there be nothing of the sort in the immediate phenomenon, can the conditions upon which the phenomenon depends have been brought about except by real chance?“. Was (b) betrifft, vgl. auch Peirce (1891), S. 165: “[...] exact law obviously never can produce heterogeneity out of homogeneity; and arbitrary heterogeneity is the feature of the universe the most manifest and characteristic”.

⁹⁴¹ Vgl. insb. Peirce (1893b), S. 564-565: “These things call for explanation; yet no explanation of them can be given, if the laws are fundamentally original and absolute. Moreover, law itself calls for explanation. But how is it to be explained if it is as fundamentally original and absolute as it is commonly supposed to be?”.

⁹⁴² “Necessitarianism cannot logically stop short of making the whole action of the mind a part of the physical universe. Our notion that we decide what we are going to do, if as the necessitarian says, it has been calculable since the earliest times, is reduced to illusion. Indeed, consciousness in general thus becomes a mere illusory aspect of a material system” (Peirce 1892, S. 335). “Mechanical causation, if absolute, leaves nothing for consciousness to do in the world of matter” (Peirce 1893b, S. 566). Genau in diesem letzten Aufsatz behauptet aber Peirce auch: “By ‘mechanical’ causation, I mean a causation entirely determinative, like that of dynamics, but not necessarily operating upon matter” (Peirce 1893b, S. 530).

⁹⁴³ „The one intelligible theory of the universe is that of objective idealism, that matter is effete mind [...]“ (Peirce 1892, S. 170). Einige Argumente von Peirce gegen Materialismus und Mechanismus: „The materialistic doctrine seems to me quite as repugnant to scientific logic as to common sense; since it requires us to suppose

Es geht nun also darum, die von Peirce vorgeschlagene „cosmogonic philosophy“ kurz und mit speziellem Bezug auf unsere Fragestellung (d.h. auf die Determinismusfrage) zu rekonstruieren. Die Bausteine seiner kosmogonischen Philosophie listet Peirce (1891, S. 175) in fast orakelhafter Form auf, wie folgt. „Chance is First, Law is Second, the tendency to take habits is Third. Mind is First, Matter is Second, Evolution is Third”.⁹⁴⁴ Nach diesen „Richtlinien“ formuliert Peirce seine Kosmogonie⁹⁴⁵: erste Stufe (Zufall und Geist):

[...] in the beginning, - infinitely remote, - there was a chaos of unpersonalised feeling, which being without connection or regularity would properly be without existence.

Zweite Stufe (Gesetz und Materie):

This feeling, sporting here and there in pure arbitrariness, would have started the germ of a generalising tendency. Its other sporting would be evanescent, but this [vermutlich “the germ of a generalizing tendency”] would have a growing virtue.

Dritte Stufe (die Tendenz, Gewohnheiten herauszubilden bzw. die Evolution):

Thus, tendency to habit would be started; and from this with the other principles of evolution all the regularities of the universe would be evolved. At any time, however, an element of pure chance survives and will remain until the world becomes an absolutely perfect, rational, and symmetrical system, in which mind is at last crystallized in the infinitely distant future.⁹⁴⁶

Diese Kosmogonie kommt einer echten indeterministischen Weltanschauung gleich, sicherlich eine der wenigen, die jemals so detailliert ausgedacht wurden, und vielleicht die erste überhaupt in der Geschichte der Determinismusfrage – mit Ausnahme von Epikur, den Peirce in seinen Schriften oft erwähnt. Am Anfang war also – laut Peirce – der Geist, und

that a certain kind of mechanism will feel, which would be a hypothesis absolutely irreducible to reason” (Peirce 1891, S. 170). Außerdem gelten die „laws of mind“ nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, während jene der Mechanik beanspruchen für sich eine absolute und exakte Gültigkeit (Peirce 1891, S. 169-70; vgl. auch Peirce 1893b, S. 563-64). Darüber hinaus “[...] from the state of feeling at any instant, there is no reason to suppose the states of feeling at all other instants are thus exactly calculable” (Peirce 1892, S. 335).

⁹⁴⁴ Peirce setzte fort: „Such are the materials out of which chiefly a philosophical theory ought to be built, in order to represent the state of knowledge to which the nineteenth century has brought us“ (Peirce 1891, S. 175).

⁹⁴⁵ Die drei Zitate, die folgen, folgen aufeinander ununterbrochen im Originaltext: Peirce (1891), S. 176.

⁹⁴⁶ Peirce setzt fort: “That idea has been worked out by me with elaboration [das ist nicht schwer, zu glauben!]. It accounts for the main features of the universe as we know it, - the characters of time space, matter, force, gravitation, electricity, etc. It predicts many more things which new observation can alone bring to the test. May some future student go over this ground again, and have the leisure to give his results to the world” (Peirce 1891, S. 176).

insbesondere „feeling“: offensichtlich dachte Peirce, dass es einfacher sei, die Entstehung der Materie aus dem Geist zu erklären, als umgekehrt die Entstehung des Geistes aus der Materie – das ist aber nicht unser Hauptthema, und soll uns hier nicht weiter beschäftigen⁹⁴⁷. Relevant ist im Gegenteil der indeterministische Charakter des „Anfangs“⁹⁴⁸: am Anfang war ein „Chaos [...] ohne Zusammenhang oder Regelmäßigkeit“: Peirce erscheint es einfacher, die Regelmäßigkeit aus dem Chaos abzuleiten, als umgekehrt die Unregelmäßigkeit (sowie Komplexität, Vielfalt, Spontaneität, Wachstum usw.) mittels der Naturgesetze zu erklären. Er verfügt tatsächlich über eine genaue Vorstellung darüber, wie Regelmäßigkeit aus Zufällen entstehen kann: die statistischen Gesetze, und insbesondere die frequentistische Wahrscheinlichkeitsauffassung. Die zweite Stufe entspricht nämlich genau dem Bild der Stabilisierung der Frequenzen (Häufigkeiten) zufälliger Ereignisse in der Statistik. Die Naturgesetze existieren laut Peirce nicht *trotz* des Zufalls, sondern gerade *dank* des Zufalls – er erklärt sie aus dem Zufall heraus: ganz im Sinne des Frequentismus⁹⁴⁹ sieht er die Annahme des zufälligen Charakters der Einzel- oder Mikroereignisse⁹⁵⁰ gerade als notwendig, um das Auftauchen der Regelmäßigkeiten erklären zu können:

Everybody is familiar with the fact that chance has laws, and that statistical results follow therefrom. Very well: I do not propose to explain anything as due to the action of chance, that is, as being lawless. [...] But I only propose to explain the regularities of nature as consequences of the only uniformity, or general fact, there was in the chaos, namely, the general absence of any determinate law.⁹⁵¹

Auch was die dritte Stufe betrifft, können wir hinter der Darstellung von Peirce einen schon erwähnten (z.B. in Bezug auf Boutroux) Gedanken wiedererkennen: dass die Gesetze selbst einer Evolution unterzogen sind: „the only possible way of accounting for the laws of nature

⁹⁴⁷ Erwähnenswert in Bezug auf die Determinismusfrage ist nur die Tatsache, dass der „objektive Idealismus“ von Peirce zum Indeterminismus führt: die Kosmogonie von Peirce ist eigentlich eine Darstellung der Entfaltung des Geistes (das ist z.B. in Peirce (1893a) ganz klar), und der Geist folgt laut Peirce Gesetzen, die nur approximativ und im Durchschnitt gelten (vgl. Peirce 1891, S. 169: „[...] no exact conformity is required by the mental law. [...] The law of mind only makes a given feeling *more likely* to arise“).

⁹⁴⁸ Auch die paradoxe Behauptung Peirces möchte ich hier nicht vertiefen, laut der es am Anfang etwas („a chaos of unpersonalised feeling“) gab, dem im gleichen Satz die Existenz aberkannt wird. Peirce wird es zwei Jahre später so „erklären“: „I go back to a chaos so irregular that in strictness the word existence is not applicable to it merely germinal state of being“ (Peirce 1893b, S. 559).

⁹⁴⁹ Vgl. oben, § 4.c und unten, § 7.c.

⁹⁵⁰ In seinen Aufsätzen weist Peirce auch auf die neue Molekularphysik und statistische Mechanik, mit der er vertraut zu sein scheint (immerhin war er ausgebildeter Chemiker): vgl. z.B. Peirce 1891, S. 163-164, wo er auch zukunftsweisend behauptet: „There is room for serious doubt whether the fundamental laws of mechanics holds good for single atoms [...]“. Vgl. auch Peirce (1892), S. 322 („For now we see clearly that the peculiar function of the molecular hypothesis in physics is to open an entry for the calculus of probability“), sowie S. 330; Peirce (1893a), S. 183-184; Peirce (1893b), S. 561- 564.

⁹⁵¹ Peirce (1893b), S. 552.

and for uniformity in general – behauptet Peirce (1891, S. 165) – is to suppose them results of evolution“. Peirce stellt sich diese Evolution nach dem Modell der darwinschen Evolutionstheorie vor, d.h. nach dem Modell einer „evolution by the operation of chance“⁹⁵². Auch bei der dritten Stufe der peirceschen Kosmogonie spielt also der Zufall eine wesentliche Rolle.

Der letzte Satz des letzten Zitats erinnert uns daran, dass Peirce die Existenz von Regelmäßigkeiten – er spricht problemlos gar von Naturgesetzen – überhaupt nicht leugnet⁹⁵³, im Gegenteil: seine Kosmogonie sieht eine Konvergenz (ebenfalls ein typisches Konzept der Stochastik) gegen einer vollständigen Gesetzmäßigkeit „in the infinitely distant future“ vor. Vor diesem unendlich entfernten Zeitpunkt aber – behauptet Peirce – „an element of pure chance survives“. Mit dem Ausdruck „*pure chance*“ betont Peirce, dass er an die Existenz des *absoluten* Zufalls glaubt, d.h. eines Zufalls, der nicht auf einen Erkenntnismangel zurückzuführen sei⁹⁵⁴.

[...] chance [...] is not the mere creature of our ignorance. It is that diversity and variety of things and events which law does not prevent. Such is that real chance upon which the kinetical theory of gases, and the doctrines of political economy, depend. To say that it is not absolute is to say that it, - this diversity, this specificalness, - can be explained as a consequence of law. But this is [...] logically absurd.⁹⁵⁵

⁹⁵² Peirce (1891, S. 166). Hier wird das Modell erklärt, wie folgt: „Wherever there are large numbers of objects, having a tendency to retain certain characters unaltered, this tendency, however, not being absolute but giving room for chance variations, then, if the amount of variation is absolutely limited in certain directions by the destruction of everything which reaches those limits, there will be a gradual tendency to change in directions of departure from them. Thus, if a million players sit down to bet at an even game, since one after another will get ruined, the average wealth of those who remain will perpetually increase. Here is indubitably a genuine formula of possible evolution [...]“. Dieses Bild macht klar, warum das Konzept einer Evolution der Gesetze voraussetzt, dass diese nicht absolute und genau gelten (wie Peirce 1891, S. 165) behauptet). Nicht ganz geklärt wird aber die Frage, was im Fall der Evolution der Gesetze jener „Vernichtung“ der zu großen Abweichungen entspricht, die im darwinschen Bild zur Evolution beiträgt. Jedenfalls ist laut Peirce „the idea, that chance begets order“ den Eckpfeiler sowohl der modernen Physik, als auch der darwinschen Evolutionstheorie (vgl. Peirce 1893a, S. 183). Wie schon erwähnt, entwickelt Peirce 1893 eine neue teleologische Evolutionstheorie („agapasticism“), bei der er das Konzept einer Evolution durch Liebe als dem Konzept der Evolution durch Zufall überlegen präsentiert (Peirce 1893a).

⁹⁵³ Vgl. z.B. Peirce (1893b), S. 526: „Like everybody else, I admit that there is regularity: I go further; I maintain the existence of law as something *real and general*. But I hold there is no reason to think that there are general formulae to which the phenomena of nature *always* conform, or to which they *precisely* conform“.

⁹⁵⁴ Diese ist immer die Standard-Zufallauffassung der Deterministen, die auch z.B. Carus (1892b, 81-86) teilt. Die klassische Zurückführung des Zufalls auf Erkenntnismangel vertritt auch Laplace, und auf seinen „Dämon“ weist implizit Carus hin: „To a being who not only might be supposed to know the intrinsic nature of existence, but could have present before his mind every event of the great interacting cosmos in its entire complexity, [...] chance would, of course, [...] disappear. To him all states of things would appear throughout as *eindeutig bestimmt*“ (Carus 1892b, S. 85). Peirce rebelliert gegen diese Auffassung von Zufall: vgl. insb. Peirce (1893b), S. 543-544.

⁹⁵⁵ Peirce (1893b), S. 560. Bemerkenswert ist der Vergleich zwischen physikalischen und gesellschaftlichen Prozessen, der schon bei Quetelet, Maxwell und Boltzmann auf verschiedene Weise präsent war (vgl. oben, Kap. 4), und das auch bei Zilsel ein Thema sein wird (vgl. unten, §7.d)

Er weist all die (damals) üblichen Einwände gegen den Begriff des absoluten Zufalls zurück: er sei z.B. keineswegs unbegreiflich oder unverständlich⁹⁵⁶, und es sei falsch, dass der Zufallsbegriff keine Hilfe bei der Erklärung der Phänomene bieten würde. Peirce behauptet im Gegenteil, dass seine indeterministische Kosmogonie die erwähnten Phänomene (a)-(d), die dem Determinismus Schwierigkeiten bieten, zu erklären vermag⁹⁵⁷. (a) ist in seinem Konzept der Evolution inbegriffen; (b) scheint das Ergebnis von dem zu sein, was er „(evanescent) sporting“ nennt, und wurde dem biologischen Begriff der „Mutation“ entsprechen⁹⁵⁸; (c) folgt vom statistischen Charakter seiner Kosmogonie; (d) wird von der Vorstellung erklärt, dass die Kosmogonie eigentlich aus einer Entwicklung des Geistes besteht, dass dieser im Vergleich zur Materie primär sei, und dass er außerdem mit der Eigenschaft der Spontaneität ausgestattet sei⁹⁵⁹.

Paul Carus, in seiner Verteidigung des Determinismus gegen Peirce⁹⁶⁰, will den Determinismus und die Kausalität⁹⁶¹ *a priori* gelten lassen: dementsprechend hätten sie dieselbe formale und universelle Gültigkeit der mathematischen (gültigen) Sätze⁹⁶² oder des Satzes vom zureichenden Grunde⁹⁶³. Somit führt die Determinismusfrage noch einmal zum Anwendungsproblem:

⁹⁵⁶ Vgl. Peirce (1892), S. 331.

⁹⁵⁷ Vgl. Peirce (1892), S. 336-337. Peirce erklärt nicht genau und systematisch, *wie* seine Kosmogonie die Tatsachen (a)-(d) erklärt: was folgt ist also eher meine Rekonstruktion.

⁹⁵⁸ Interessant ist aber der Einwand von Carus (1892b, S. 81), der im Gegenteil zu Peirce die Vielfalt und die Verschiedenheit (sowie auch die Irregularität) sehr wohl durch *notwendige*, formale Verhältnisse (also sehr wohl im Sinne des Determinismus, wie er ihn auffasst) erklären will: „Every specificallness or particularity is such by possessing a certain form and standing in a definite relation (in time as well as space) to all other things of the universe. [...] Proportions, relations, forms – these are what account for the diversification and specificallness of all things in the universe; they are what explain the irregularities of individual cases and of all those events which appear as chance to him who, although he may be well informed about the nature of a thing, does not know the relation of its complex surroundings“. Peirces Erklärung der Vielfalt durch eine allgemeine Tendenz zur Diversifikation (vgl. Peirce 1893b, S. 566) scheint mir, keine bessere Erklärung zu sein. Nur, die erste (von Carus) scheint epistemischer, die zweite (von Peirce) realistischer Natur, zu sein.

⁹⁵⁹ Carus (1892b, S. 86-87) kritisiert mit guten Gründen die Idee, die die Aufsätze von Peirce suggerieren könnten, dass die Annahme des Zufalls eine sinnvolle Voraussetzung für die Behauptung der menschlichen Freiheit sein könnte. Das scheint mir aber auch nicht das Argument von Peirce zu sein.

⁹⁶⁰ Vgl. Carus (1892a und 1892b).

⁹⁶¹ Teilweise argumentiert Carus, ohne zwischen Determinismus und Kausalität zu unterscheiden. Manchmal scheint er aber sehr wohl, zwischen ihnen zu unterscheiden, z.B. wenn er zwischen Ursache und Grund unterscheidet und den Determinismus eher mit dem Satz vom zureichenden Grunde zu identifizieren scheint (vgl. Carus 1892a, §VII).

⁹⁶² Vgl. z.B. Carus (1892a), S. 568: “Mr. Peirce does not object to necessity in certain cases, he objects to necessity being a universal feature of the world.[...] We answer that form is a quality of this world, not of some samples of it, but throughout, so far as we know of existence even in the most superficial way, and thus we know beforehand or *a priori* that the laws of form hold good so far as our telescopes sweep through space. We are ignorant as to the qualities dependent upon special forms of matter or energy, and we can acquire any knowledge thereof only through experience; but that is no reason to doubt the validity of causation in general [...]”. Vgl. auch Carus (1892b, S. 77-78).

⁹⁶³ Vgl. Carus (1892a), § VII. Außerdem entwickelt Carus (1892b) eine Auffassung der Notwendigkeit, die diese auf die formale Eigenschaft der Identität zurückführt. Diese Ableitung müsste auch zeigen, dass die

The universality and necessity of formal knowledge are as a rule taken for granted by scientists. But philosophy can take nothing for granted, and the problem rises: How is the belief in the universality and necessity of formal knowledge to be justified? Mr. Peirce's onslaught on the doctrine of necessity is a challenge to answer this question.⁹⁶⁴

Dabei kehrt Peirce (1893b) die Argumentationsstrategie von Carus um: gerade deswegen, weil der Determinismus bloß formal ist, gerade wegen seines rein abstrakten Charakters sei seine Gültigkeit als beschränkt zu sehen:

[...] the propositions of arithmetic, which Dr. Carus usually adduces as examples of formal law (§15), are, in fact, only corollaries from definitions. They are certain *only as applied to ideal construction* [...]⁹⁶⁵

Dr. Carus argues that whatever is unequivocally determinate is necessary. [...] But the expression used, *eindeutig bestimmt*, merely expresses a mathematical determination, and therefore no real necessity ensues.⁹⁶⁶

Dabei betont Peirce: „There is all the difference between the ideal and the real“⁹⁶⁷. Darin erkennen wir ein typisches Argument gegen den Determinismus wieder, das im vorliegenden

Notwendigkeit nicht nur eine formale, *a priori* Gültigkeit hat, sondern den Tatsachen entspricht, denn die Identität zwischen Dingen sei – so Carus – offensichtlich eine reale Eigenschaft. Das Ergebnis dieser umständlichen Argumentationsstrategie ist aber, (1) dass Carus die erwähnte Ableitung auf keine klare Weise durchführt, und (2) dass Carus sich in Widersprüche verwickelt, was die *a priori* und/oder *a posteriori* Rechtfertigung bzw. die rein formale und/oder die empirische Geltung des Determinismus gilt. Beide Probleme entgehen nicht Peirce, der die Position Carus teilweise ironisch kommentiert: „But the *a priori* itself can ‘be based on the firm ground of experience’ (§14). In that case, it is not prior to experience, after all! ‘The idea of necessity is based upon the conception of sameness, and ... the existence of sameness is a fact of experience’ (§87). If absolute necessity can be irrefragably demonstrated from the fact that two things are alike, it is a pity Dr. Carus should not state this demonstration in a form that I, and men like me, can understand” (Peirce 1893b, S. 538. Vgl. auch *ibidem*, S. 545).

⁹⁶⁴ Carus (1892a), S. 555. Komischerweise, nachdem Carus (1892a, S. 570-575) Determinismus und Kausalität als *a priori* gültig verteidigt hat, präsentiert sich plötzlich als „Positivist“, der nicht aus abstrakten Ideen (was Carus an Peirce nun kritisiert), sondern rein aus empirischen Tatsachen heraus philosophiert (vgl. Carus 1892a, § VI und Carus 1892b, S. 69).

⁹⁶⁵ Peirce (1893b), S. 534; meine Hervorhebung. Interessanterweise betrachtet Peirce nicht mal die analytischen Sätze als wirklich „gewiss“: „Deduction is really a matter of perception and of experimentation, just as induction and hypothetic inference are; only, the perception and experimentation are concerned with imaginary objects instead of with real ones. The operations of perception and of experimentation are subject to error, and therefore it is only in a Pickwickian sense that mathematical reasoning can be said to be perfectly certain.” (Peirce 1892b, S. 534).

⁹⁶⁶ Peirce (1893b), S. 537.

⁹⁶⁷ Peirce (1892b), S. 536. Vgl. auch S. 558: „Forms may indulge in whatever eccentricities they please in the world of dreams, without responsibility; but when they attempt that kind of thing in the world of real existence, they must expect to have their conduct inquired into”. Auch in einem anderen Sinne macht Peirce auf die Mängel der Idealisierung aufmerksam: er hinterfragt eine der Voraussetzungen des wissenschaftlichen Determinismus, auf die ich im Kap. 1 aufmerksam gemacht habe (vgl. oben, §1.a), und zwar die Identifizierbarkeit von diskreten, aufeinander folgenden Zuständen der Welt (oder eines gewissen Systems): im Rahmen einer Kritik des Kantischen Kausalitätsbegriffes bemerkt er: „He [Kant] deals with those awkward chunks of phenomenon, called ‘events’. He represents one such ‘event’ as determined by certain others, definitely, while the rest have

Kapitel auf Boutroux und seine Freunde zurückzuführen ist, und das den Gipfel der Entwicklungen darstellt, die ich oben, im Kap. 3, rekonstruiert habe: es gibt eine Kluft zwischen den determinierenden Verhältnissen einer mathematischen, idealen Welt und der Realität. Sogar der Determinist Carus scheint von der Idee beeinflusst gewesen zu sein, dass die Realität sich nicht auf Mechanik oder Mathematik reduzieren lässt:

The different spheres of mechanical, physical, chemical, physiological, and psychical actions being *abstractions*, it is obvious that science when dealing with so-called purely mechanical phenomena, *has to do with a fiction*. There are no pure mechanical phenomena. There are *features of reality* which are purely mechanical [...] ⁹⁶⁸

Die Determinismufrage führt noch einmal zum Anwendungsproblem: inwiefern sprechen die formalen bzw. mathematischen Verhältnisse, die den Kern des wissenschaftlichen Determinismus ausmachen, von der Realität?

Dem Anwendungsproblem wird sich 1916 der Wiener Philosoph Edgar Zilsel in seinem ersten Buch widmen - was uns im Folgenden beschäftigen soll.

[sic] nothing to do with it (Peirce (1893b), S. 540. Dabei scheint Peirce die Kantische Kausalitätsauffassung im realistischen Sinn zu interpretieren – eine Interpretation, die sich von meiner (vgl. oben, Kap. 3) entfernt). Interessant ist, dass auch Dewey (1893, S. 378-9), in seinem Beitrag zu der Determinismus-Debatte in *The Monist*, dieselbe Voraussetzung (auf eigene Weise) hinterfragt: bezüglich der Begriffe von Ursache und Wirkung bemerkt er: „And yet this abstraction of certain phases of fact, the erection of the parts thus abstracted into distinct entities, which, though distinct, are still dependent in their mode of existence, is precisely the point needing examination. Und so setzt er fort: „It is but another instance of the supreme importance of our practical interests. The effect is the end, the practical outcome, which interests us; the search for causes is but the search for the means which would produce the result. We call it ‘means and end’ when we set up a result to be reached in the future and set ourselves upon finding the causes which put the desired effect in our hands; [...]”. Here scheint Dewey jene “manipulative” oder “aktionistische” Kausalitätsauffassung vorwegzunehmen, die neulich u.a. von Woodward, Price und Menzies vertreten wird (einen guten Überblick über diese Art der Kausalitätsauffassung bietet Campaner 2007, S. 36-42).

⁹⁶⁸ Carus (1892b), S. 89.

7. Indeterminismus des Verstandes, Determinismus des Willens. Die wissenschaftliche Determinismusfrage bei Edgar Zilsel (1891-1944)

Pessimismus des Verstandes, Optimismus des Willens.⁹⁶⁹

Gegeben ist also das Irrationale; das Rationale ist nicht gegeben, sondern aufgegeben.⁹⁷⁰

a. Einleitung und Kontextualisierung: „Wiener Indeterminismus“

Trotz aller Schwächungen des wissenschaftlichen Determinismus, die ihn sogar schon getroffen haben, bevor er eine erkennbare, definierte Position geworden ist (vgl. oben, Kap. 3 und 4), und trotz der Entwürfe nicht-deterministischer, oder sogar indeterministischer Weltbilder bzw. Weltanschauungen, die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts formuliert wurden (vgl. oben, Kap. 6), suggerieren einige Quellen, dass der wissenschaftliche Determinismus bis wenigstens zum ersten Weltkrieg, die wissenschaftliche Weltanschauung oder die philosophische Einstellung der Naturwissenschaftler immer noch überwiegend charakterisierte. 1907 definierte Dilthey die „naturalistische Weltanschauung“ als diejenige, in der „der Begriff der Kausalität regiert“⁹⁷¹. 1908 schrieb Poincaré:

[...] nous sommes devenus des déterministes absolus, et ceux mêmes qui veulent réserver les droits du libre arbitre humain laissent du moins le déterminisme régner sans partage dans le monde inorganique. Tout phénomène, si minime qu'il soit, a une cause, et un esprit infiniment puissant, infiniment bien informé des lois de la nature, aurait pu le prévoir dès le commencement des siècles. Si un pareil esprit existait, on ne pourrait jouer avec lui à aucun jeu de hasard, on perdrait toujours.⁹⁷²

⁹⁶⁹ Gramsci (1999 [1935]), S. 2232.

⁹⁷⁰ Zilsel (1916), S. 157.

⁹⁷¹ Dilthey (1990 [1907]), S. 402. Die Klassifizierung Diltheys von „Typen der philosophischen Weltanschauung“ zeigt, wie der Bezug auf Kausalität und Notwendigkeit für die naturwissenschaftliche Weltanschauung eine identitätsstiftende Rolle spielte: Dilthey bezeichnet nämlich die „materialistische“ bzw. „naturalistische“ Weltanschauung, als diejenige, in der „der Begriff der Kausalität regiert“, und unterscheidet sie z.B. von der Weltanschauung „des objektiven Idealismus“, in der eine „teleologische Kausalität die Erscheinungen bestimmt“, und von der Weltanschauung des „Idealismus der Freiheit“, in der „das Willensverhalten die Weltauffassung bestimmt“.

⁹⁷² Poincaré (1920 [1908]), S. 65.

Noch 1916 schrieb Zilsel (1916, S. 9), „wir pflegen heute Deterministen zu sein, zu meinen, dass es streng genommen keinen Zufall gibt“. 1932 behauptete Schrödinger rückblickend, 15 Jahre früher hätte niemand an dem Determinismus gezweifelt⁹⁷³.

Auch die Sozialwissenschaften waren von starken deterministischen Strömungen durchzogen: neben der quantitativen Sozialforschung, die wir im Kap. 4 im Zusammenhang mit dem statistischen Determinismus näher betrachtet haben, hatte sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts jener historischer Materialismus marxistischen Ursprungs entwickelt, der oft deterministische Züge in die Gesellschaft- und Geschichtsauffassung der Sozialwissenschaftler brachte⁹⁷⁴.

Vor diesem Hintergrund erscheinen die Arbeiten von Michael Stöltzner (1999; 2002; 2003) und Deborah Coen (2002; 2007) noch bedeutsamer, indem sie gezeigt haben, dass speziell in Österreich bzw. in Wien schon ab dem 19. Jh. *nicht*-deterministische sowie indeterministische wissenschaftliche und philosophische Theorien stark präsent waren⁹⁷⁵.

Coen (2007) fokussiert auf die Geschichte dreier Generationen der Familie Exner und betrachtet diese als Repräsentanten einer österreichischen Tradition liberalen Denkens, die in der Orientierung an der Wahrscheinlichkeitstheorie eine Alternative zu Determinismus und Dogmatismus einerseits sowie zu Relativismus, Skeptizismus, und Irrationalismus andererseits gefunden hätte⁹⁷⁶. Dieser „dritte Weg“ wurde von jener zweideutigen Natur der statistischen Gesetzmäßigkeit ermöglicht, die wir im Kap. 4 betrachtet haben: zum einen lässt die statistische Gesetzmäßigkeit einen gewissen Grad an Undeterminiertheit bzw. Ungewissheit zu, zum anderen stellt sie *qua* Gesetzmäßigkeit eine Form des „taming of chance“ (Hacking) dar und setzt der Undeterminiertheit und der Ungewissheit bestimmte

⁹⁷³ Schrödinger (1932), S. 2.

⁹⁷⁴ Ob und inwiefern der historische Materialismus eine deterministische Auffassung der Geschichte und der Gesellschaft impliziert, und inwiefern eine deterministische Auffassung mit einem aktiven politischen Engagement im Sinne des Marxismus kompatibel sei, sind große Fragen, die von Anfang an innerhalb und außerhalb der marxistischen und sozialistischen Kreisen debattiert worden sind, und die ich in diesem Rahmen nicht vertiefen kann. Trotzdem werde ich unten auf diese Fragen kurz und im Zusammenhang mit Edgar Zilsel zurückkommen.

⁹⁷⁵ Vgl. aber auch den früheren Artikel von Hiebert (2000, insb. den Absatz „Probability, Chance, and the Austrian Revolt in Classical Mechanics“). So stellt Hiebert (2000, S. 14) das Ziel seines Aufsatzes dar: „The objective [...] has been to explore the climate of scientific opinion in Austria that shortly after the turn of the century gave rise to probabilistic thinking – thinking that was beginning to make inroads not only into discussions about the physical sciences but also into the humanities and the social sciences“. Der Artikel von Hiebert ist aber nicht so ausführlich und detailliert wie die Arbeiten von Coen und Stöltzner.

⁹⁷⁶ Coen (2007) möchte durch ihre historische Rekonstruktion hervorheben, „what was unique about probability’s history in Austria. I will argue that Austrian liberals made probabilistic reasoning into a virtue rather than an admission of defeat. Probability took its place within the liberal school reforms as a guide to reasoning after the renunciation of absolute certainty. Probability would fortify young minds against the lure of religious dogmatism by providing a model for action in the face of uncertainty. And it would skirt relativism by transforming knowledge won from lived experience into a language of universal validity and transparency“ (Coen 2007, S. 10).

Grenzen. Inwiefern die Familie Exner als repräsentativ einer ganzen österreichischen indeterministischen und liberalen Tradition angesehen werden kann bzw. inwiefern ihre Geschichte sich mit einer „Age of Uncertainty“ in Wien deckt (der Haupttitel des Buchs von Coen ist *Vienna in the Age of Uncertainty*), sei an dieser Stelle dahingestellt (vgl. Romizi 2010). Mit Sicherheit aber war die Familie Exner in der zweiten Hälfte des 19. und in den ersten Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts für das wissenschaftliche, kulturelle und öffentliche Leben Wiens sehr prägend⁹⁷⁷, und einige ihrer Mitglieder haben originale Stellungnahmen in Bezug auf einige von jenen Versionen der Determinismusfrage vertreten, die wir in den vorigen Kapiteln schon betrachtet haben. Als der Streit „Determinismus vs. Freier Wille“ in Zusammenhang mit der Entwicklung der experimentellen Physiologie und Psychologie tobte (vgl. oben, Kap. 6), fertigte z.B. der Philosoph Franz Exner (1802-53) das für ihn falsche Dilemma ab, wie folgt:

Und dieses Geschwätz, dies kindische Wortspiel mit Determinismus, Indeterminismus und Freiheit, das zu gedankenlos ist, um nur die Frage zu verstehen, um welche sich's handelt [...] Die Armen! Sie haben sich so viel geplagt und nicht gemerkt, dass sie es mit einer „Dreierfrage“ zu tun haben, und das der Wille weder bloß determiniert, noch bloß undeterminiert, sondern in Wahrheit beides zugleich, oder was dasselbe, keines von beiden ist!⁹⁷⁸

Laut Franz Exner waren nämlich *annähernde Gesetze* das Forschungsobjekt der empirischen Psychologie⁹⁷⁹. Auch sein Sohn Sigmund (1846-1926), der ein Physiologe war, hielt probabilistische Gesetze jenseits des falschen Dilemmas „Determinismus vs. Freiheit“ für wesentlich in der Psychologie, und beide, Vater und Sohn, versuchten, ihre Psychologieauffassung auch für die Bildung und insbesondere für die Planung des gymnasialen Curriculums geltend zu machen⁹⁸⁰. Der älteste Sohn von Franz Exner und Bruder von Sigmund, Adolf (1841-94), war Jurist, Rektor der Universität Wien, sowie Mitglied des Reichsgerichtes und des Herrenhauses: 1891 beschäftigte er sich in seiner Rektoratsrede u.a. mit der Frage nach der Möglichkeit von Gesetzen in den Sozialwissenschaften im Vergleich zu den Naturwissenschaften und empfahl die Erforschung

⁹⁷⁷ Innerhalb von nur drei Generationen wurden alleine zehn der Familienmitglieder auf Universitätsprofessuren berufen, zwei von ihnen auch Rektoren der Universität Wien und manchmal hatten die Exner auch sehr wichtige politische Positionen inne. Im wissenschaftlichen Kreis und im Freundeskreis der Exner waren Persönlichkeiten wie Loschmidt, Freud, Boltzmann, Schrödinger, Brahms u.a.

⁹⁷⁸ Franz Exner (1842-44), S. 105. Auf diese Stelle macht Coen (2007, S. 49) aufmerksam, die ein entsprechendes Zitat auf Englisch wiedergibt; meine Auswahl des genauen Zitats weicht von ihrer etwas ab.

⁹⁷⁹ Mehr über die Psychologieauffassung Franz Exners, der über die Determinismusfrage auch mit dem Prager Philosophen (sowie Mathematiker) Bernard Bolzano diskutierte, findet man in Coen (2007), Kap. 1.

⁹⁸⁰ Vgl. Coen (2007), Kap. 1 und Kap. 4.

und die Erlernung *statistischer Gesetzmäßigkeiten* auch und insbesondere im Rahmen der politischen Bildung⁹⁸¹.

Besonders interessant für unsere Zwecke sind aber die Forschungsergebnisse Coens, die sich auf die Physik beziehen⁹⁸². Gerade in Österreich, und insbesondere in Wien, wurden nämlich ab der Wende um 1900 unterschiedliche physikalische Phänomene erforscht, die alle einen statistischen Ansatz verlangten⁹⁸³. Dank Loschmidt, Boltzmann und Franz Serafin Exner (auf den ich zurückkommen werde) wurden die statistische Mechanik und der Atomismus zu wichtigen Forschungsfeldern innerhalb des Wiener Physikalischen Instituts⁹⁸⁴. Das 1910 gegründet und von Franz Serafin Exner und Stefan Meyer geleitete Institut für Radiumforschung der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften spielte eine zentrale Rolle für die Erforschung der 1896 entdeckten Radioaktivität, wobei der radioaktive Zerfall ein übliches Beispiel für ein nicht-deterministisches oder gar indeterministisches Phänomen war und immer noch ist⁹⁸⁵. Auch ein weiteres typisch indeterministisches Phänomen wurde laut Coen auf „österreichische“ Weise erforscht, und zwar die Brownsche Bewegung: um 1900 beschäftigte sich Felix Exner (1876-1930) – Sohn des schon erwähnten Sigmund, und auch als Meteorologe vielfältig mit indeterministischen Phänomenen konfrontiert – mit der Brownschen Bewegung und inspirierte jene eigene molekulare und probabilistische Erklärung des Phänomens, die Marian Smoluchowski (der zu dem Kreis um Franz Serafin Exner gehörte⁹⁸⁶) 1906 als Alternative zu der bekannten, ein Jahr jüngeren Einsteinschen Erklärung

⁹⁸¹ Vgl. Coen (2007), S. 138-142 und 247.

⁹⁸² Neben Coen (2007) möchte ich auch auf Coen (2002) hinweisen, sowie noch mal auf Hiebert (2000).

⁹⁸³ Vgl. auch Hiebert (2000), S. 13: „A group of Austrian physicists [...] were able to carry the atomic-kinetic theory of matter (wedded [...] to probabilistic thinking) into newly discovered arenas such as radioactivity and quantum thinking: Stefan Meyer (1872-1949), Marian von Smoluchowski (1872-1917), Egon von Schweidler (1873-1948), Richard von Mises (1883-1953), Friedrich (Fritz) Kohlrausch (1884-1953), Erwin Schrödinger (1887-1961), and Reinhold Fürth (1893-1979)“.

⁹⁸⁴ So kann man mit Stöltzner (2003, S. 159-60 und S. 162) die Geschichte des Wiener Instituts in dieser Phase zusammenfassen: „Founded in 1850 by Christian Doppler, the Institute of Physics was the oldest institution of this kind in the German-speaking world. However, until the eve of World War I it was lacking an appropriate building, and its funding could not compete with comparable German departments. It was only Franz Serafin Exner who in 1910 could open the new Institute of Radium Research of the Austrian Academy of Sciences and who in 1913 succeeded in ending the six decades long accommodation malaise by a spacious building next to it“. “To be sure, by 1918 the Olympian age of Vienna physics had ended although certain areas of physical research remained on a respectable level. After Exner’s retirement, the influence of his ideas persisted through his former students and assistants. Indeterminism and statistical causality were also basic tools for the daily research on radioactivity in the Institute for Radium Research now directed by Stefan Meyer“.

⁹⁸⁵ Über das Institut für Radiumforschung vgl. Reiter (2001), der insbesondere die Figur von Stefan Meyer fokussiert. Über die Bedeutung der Erforschung der Radioaktivität für die Determinismusfrage vgl. Coen (2002).

⁹⁸⁶ Hiebert (2000, S. 13) behauptet: „So much was Exner the spokesman for, and at the center of, this group of querying atomistically-minded and kinetically-oriented investigators that one can speak, with right, about an active Exner circle“ – und verweist auf: Berta Karlik and Erich Schmid, *Franz Serafin Exner und sein Kreis: Ein Beitrag zur Geschichte der Physik in Österreich* (Wien, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 1982). Coen (2007) untersucht ausführlich die Verflechtung zwischen persönlichen und wissenschaftlichen Verhältnisse um die Familie Exner.

präsentierte⁹⁸⁷. Die Untersuchung dieser und anderer physikalischer und meteorologischer Fragen konfrontierte die Wiener Physiker intensiv mit „Schwankungsphänomenen“ und machte sie mit statistischen Methoden und probabilistischem Denken besonders vertraut.

Nun macht Coen diesbezüglich auf die besondere Einstellung der Wiener Physiker gegenüber solchen Schwankungsphänomenen aufmerksam: sie betrachteten die Schwankungen nicht unbedingt und unmittelbar als „Messfehler“, wie es bei der Anwendung statistischer Methoden auf Messungen standardmäßig war (vgl. oben, §4.a.), sondern sie ließen die Möglichkeit zu, dass solche Schwankungen reale Eigenschaften der Phänomene an sich seien:

Most European physicists continued to use “error” in a normative sense to designate a failure on the part of the experimenter. [Franz Serafin] Exner and his students instead used error to designate *an ineradicable variability rooted in nature itself*. Not until the 1920s would this objectification of error enter the mainstream, due to the advent of an indeterministic theory of quantum physics [...] ⁹⁸⁸

Das Konzept einer „ineradicable variability rooted in nature itself“ erinnert sehr stark an schon erwähnte indeterministische Argumente (z.B. von Fechner, Boutroux, und Peirce). Zudem wird die Idee einer ursprünglichen, realen „Allverschiedenheit“ auch im Rahmen der Philosophie Edgar Zilsels eine große Rolle spielen, wie wir noch sehen werden.

Der schon erwähnte Physiker Franz Serafin Exner (1849-1926) ist nicht nur eine zentrale Figur in dem Buch Coens über *Vienna in the Age of Uncertainty*, sondern spielt auch bei Michael Stöltzner, in dessen Rekonstruktion einer Tradition des „Wiener Indeterminismus“ eine wichtige Rolle⁹⁸⁹. Laut Stöltzner ist Franz Serafin Exner die verbindende Figur zwischen der alten (Mach und Boltzmann) und der neuen (Erwin Schrödinger, Philipp Frank und Richard von Mises) Generation dieser Tradition. Bei dieser Interpretation gilt es allerdings zu beachten, was genau Stöltzner bei dem Konzept des „Wiener Indeterminismus“ mit „Indeterminismus“ gemeint hat: zumal keiner der genannten Autoren – wie es mir scheint – sich selbst explizit als Vertreter des „Indeterminismus“ bezeichnet hat, und die meisten von ihnen im Gegenteil die Determinismusfrage explizit für unlösbar erklärt haben. Um eben die

⁹⁸⁷ Vgl. Coen (2002) und Coen (2007), 264-267. Über die Beschäftigung mit der Determinismusfrage im Zusammenhang mit der Meteorologie durch Felix Exner vgl. Coen (2007), S. 260-3, S. 275, und S. 282-292. „Felix soon became a spokesman for the value of probabilistic methods in the physical sciences. In 1912 he introduced the German-speaking scientific world to the method of correlation, developed in Britain by Francis Galton and Karl Pearson.” (Coen 2007, S. 286).

⁹⁸⁸ Coen (2007), S. 269; meine Hervorhebung. Vgl. auch Coen (2002).

⁹⁸⁹ Während der Titel seiner Dissertation (Stöltzner 2003) *Causality, Realism and the Two Strands of Boltzmann’s Legacy (1896-1936)* ist, heben die zwei auf denselben Forschungsergebnissen basierenden Artikel, „Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner“ (Stöltzner 1999) und „Vienna Indeterminism II: from Exner’s Synthesis to Frank and von Mises“ (Stöltzner 2002), das Konzept eines Wiener Indeterminismus hervor.

Position des „Wiener Indeterminismus“ zu definieren, gibt Stöltzner drei Charakteristika an⁹⁹⁰:

- (1) „the full acceptance of the improbable events“⁹⁹¹;
- (2) „a radically empiricist conception of natural law and ontology“⁹⁹²
- (3) „the frequency interpretation of probability“.

Dass Mach und Boltzmann auch in diesem eingeschränkten Sinne von „Indeterminismus“ nicht leicht als Indeterministen bezeichnet werden können, gibt Stöltzner selbst zu⁹⁹³. Außerdem macht das Kriterium (2) klar, warum keiner der „Wiener Indeterministen“ (außer vielleicht Exner) positive Aussagen über die reale Existenz des Zufalls gemacht und den Indeterminismus als Weltbild oder Weltanschauung vertreten hat: Aus empiristischer Sicht

⁹⁹⁰ Vgl. Stöltzner (2003), S. 10 und S. 83-4.

⁹⁹¹ „The starting point are the highly *improbable events* that were admitted by Boltzmann’s statistical derivation of the second law of thermodynamics” (Stöltzner 2003, S. 83-4). Nach meiner Rekonstruktion (vgl. oben, §4.c. und d.) war die Zulassung höchst unwahrscheinlicher Ereignisse oder Zustände den Preis, den Boltzmann zu bezahlen bereit war, um thermodynamische Phänomene auf mechanische (und reversible) Prozesse zurückzuführen. Wenn wir die Zulassung höchst unwahrscheinlicher Ereignisse als „Indeterminismus“ bezeichnen, wird der Unterschied zwischen Mechanismus und Determinismus mit Bezug auf die Position Boltzmanns besonders klar: Sie stellte den Versuch dar, durch das Opfer des Determinismus den Mechanismus (wenigstens als Modell oder als Bild physikalischer Vorgänge) zu retten.

⁹⁹² „On the basis of a Kantian or neo-Kantian epistemology causality is intimately linked to empirical realism because to qualify as empirically real some thing had to fall under the category of causality however relativized. When Mach replaced causality by functional dependences this bond was severed, such that – in compensation – a new reality criterion had to be sought.” (Stöltzner 2003, S. 84). Da aber auch aus der Sicht Machs Gegenstände erst dann entstehen, wenn ihre Elemente in relativ stabiler, gegenseitiger funktionaler Abhängigkeit erscheinen, und da auf die andere Seite die Relativierung und Schwächung der Kausalität bei manchen Neo-Kantianern so weit geht, dass die Kausalität *de facto* fast keine Einschränkung mehr in Bezug auf die Ontologie darstellt (vgl. z.B. Cassirer 2004 [1937] und die entsprechende Kritik Franks 1938), müsste man sich genau überlegen, ob der Machsche Begriff der funktionalen Abhängigkeit wirklich einen so radikalen Bruch mit der Kausalitätsauffassung Kants darstellt, oder ob es doch wichtige Kontinuitäten gibt. Vgl. z.B. die Einschätzung der Kausalitätsauffassung Cassirers seitens Frank (1938, S. 175): „In his [d.h. Cassirers] opinion the law of causality asserts only that there exist, in general, laws of some sort in nature [...] there remains only the formal requirement, also attributable to Kant, that nature be describable with the help of simple rules. Here, however, there is left hardly any contradiction with Mach’s purely positivistic conception of science”.

⁹⁹³ Nach der Auflistung der drei Kriterien fügt Stöltzner hinzu: „In this full-blown version, it [d.h. Vienna Indeterminism] only began with Franz [Serafin] Exner and was later advocated, with important internal divergences, by Erwin Schrödinger, on the one hand, and Philipp Frank and Richard von Mises, on the other hand” (Stöltzner 2003, S. 10). Meine Einschätzung der Bedeutung der Position von Mach (vgl. oben, §3.b) und Boltzmann (vgl. oben, §4.d) in Bezug auf die Determinismusfrage stimmt mit der von Stöltzner nicht ganz überein. Was Mach betrifft, ist die Divergenz besonders ausgeprägt, weil Stöltzner die Tradition des Wiener Indeterminismus durch eine Gegenüberstellung zwischen dieser und einer deutschen Tradition des Determinismus definiert, wobei die erste auf Mach, die zweite auf Kant zurückzuführen sei. Mit Bezug auf die Determinismusfrage hebe ich im Gegenteil die Aspekte der Kontinuität zwischen Kant und Mach hervor: Mach hat jene „Ent-ontologisierung“ der Kausalität vollbracht, die m.E. schon in der Kantischen Philosophie im Keim enthalten war (vgl. oben, Kap. 3). Der Abweichung des machschen Begriffes der „funktionalen Abhängigkeit“ von dem Kantischen Kausalitätsbegriff, die ich nicht leugne, schreibe ich aber im Vergleich zu Stöltzner weniger Gewicht in Bezug auf die Determinismusfrage zu. Schließlich sehe ich eine weitere Kontinuität zwischen Kant und Mach darin, dass sie beide den Determinismus (sowie – implizit – den Indeterminismus) als Weltbild aus dem Grund abgelehnt haben, dass ein Weltbild als angebliche Auffassung eines Ganzen ein unmöglicher Begriff sei, weil ihm jegliche empirische Bedeutung fehlt (vgl. oben, §3.b. und 3.c). Was Boltzmann betrifft, finde ich es aufgrund eines Mangels an Klarheit, Kohärenz, Beständigkeit und Vollständigkeit seiner Position bezüglich der Determinismusfrage sehr schwer, ihn zum Determinismus oder zum Indeterminismus zuzurechnen – egal, wie wir Determinismus und Indeterminismus genau definieren.

verlieren die Fragen nach der Beschaffenheit der Realität „an sich“ und der Welt als Ganzes an Interesse, weil sie empirisch weder formulierbar noch beantwortbar sind. Der „Wiener Indeterminismus“ unterscheidet sich also sehr deutlich von den „metaphysischen“ Versionen des Indeterminismus, die wir im vorigen Kapitel betrachtet haben. Außerdem unterscheidet er sich stark von jenem spenglerianischen Irrationalismus, mit dem Paul Forman in einem berühmten und viel diskutierten Artikel (dessen Inhalte als „Forman-These“ bekannt sind) den Indeterminismus tendenziell identifiziert hat⁹⁹⁴. Ob das Wort „Indeterminismus“ trotzdem geeignet ist, um die Positionen von Mach, Boltzmann, Exner, Schrödinger, Frank und Mises zu bezeichnen, sei hier dahingestellt. Wichtig ist, dass Stöltzner und Coen darauf aufmerksam gemacht haben, dass in Wien schon deutlich vor der Entwicklung der Quantenmechanik ein rein statistischer Ansatz zu physikalischen Phänomenen sowie nicht-deterministische bis indeterministische wissenschaftsphilosophische und philosophische Positionen üblich und reif waren, und dass sie in Zusammenhang mit der wissenschaftlichen Arbeit an bestimmten physikalischen Phänomenen⁹⁹⁵ und mit ausführlichen epistemologischen Reflexionen standen – und nicht mit einem irrationalistischen Milieu.

Franz Serafin Exner war in diesem Kontext eine Schlüsselfigur, und es lohnt sich, seine wissenschaftsphilosophische und philosophische Thesen nun näher in Betracht zu ziehen: zum einen, weil er auf die Determinismusfrage ausführlicher und expliziter als die anderen „Wiener Indeterministen“ einging; zum anderen, weil er einen sehr starken Einfluss auf die österreichische Physik und insbesondere auf das Wiener Physikalische Institut hatte⁹⁹⁶, in dem Zilsel 1910 bis 1915 studierte (Exner emeritierte im Jahr 1920)⁹⁹⁷. Wie wir sehen werden, tragen der „Indeterminismus“ Exners und die Behandlung der Determinismusfrage bei Zilsel gemeinsame Züge.

Schon in den Anfängen seiner physikalischen Forschung, und zwar im Jahre 1873, gewann der 24-jährige Franz Serafin Exner Aufmerksamkeit und einen Preis mit einer Arbeit über die Struktur der Kristalle: dieser war sein früher, eigener Ansatz zum Atomismus und zur

⁹⁹⁴ Forman (1971). Stöltzner (2003), Kap. 1 ist einer kritischen Einschätzung der Forman-These und der darauffolgenden Diskussion gewidmet.

⁹⁹⁵ Vgl. Stöltzner (2003, S. 276): „the Vienna Indeterminists took Brownian motion and radioactive decay precisely as empirical corroborations of their core indeterminacy thesis“.

⁹⁹⁶ Unter den Studenten von Exner waren Schrödinger, Smoluchowski und Kohlrausch (vgl. Coen 2007, S. 280-2 und 301).

⁹⁹⁷ Im Wiener Physikalischen Institut hatte Exner 1873 habilitiert und hier gearbeitet, zuerst als Assistent, dann ab 1879 als Professor und Nachfolger von Loschmidt. Boltzmann arbeitete als Professor 1902 bis 1906 am Wiener Institut: Zilsel konnte ihn also nicht direkt als Lehrer haben, während der schon erwähnte Philipp Frank – den Zilsel spätestens als Mitglied des Wiener Kreises kennenlernte – seine Dissertation bei Boltzmann angefangen hatte. Frank promovierte im Jahr des Todes Boltzmanns (1906), habilitierte im Jahr 1909 und wirkte weiter als Privatdozent im Physikalischen Institut bis 1912, als er eine Professur in Prag bekam. Zilsel könnte also am Physikalischen Institut auch Frank als Dozenten gehabt haben.

Molekularphysik und führte ihn schon zur Anerkennung von Gesetzen rein empirischer und probabilistischer Natur⁹⁹⁸. Exner habilitierte sich noch im selben Jahr 1873 und bekam 1879 eine Professur am Wiener Physikalischen Institut, wo er bis zu seiner Emeritierung im Jahr 1920 wirkte. 1908 wurde er zudem Rektor der Universität Wien: seine sehr gut besuchte und aufsehenerregende⁹⁹⁹ Rektoratsrede ist das erste interessante und ausführliche Dokument seiner originellen Auseinandersetzung mit der Determinismusfrage. Einige von Exner in dieser Rede behandelten Fragen möchte ich im Folgenden hervorheben, zumal sie in den vorigen Kapiteln schon vorgekommen sind und auch in Zusammenhang mit der noch zu besprechenden Philosophie Zilsels gebracht werden können.

Zunächst geht Franz Serafin Exner genau wie 1891 sein Bruder Adolf in seiner Rektoratsrede auf die Frage nach dem Verhältnis zwischen unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen ein, wobei er insbesondere die Frage nach der Möglichkeit der Formulierung von Gesetzen „in Naturwissenschaft und Humanistik“ stellt¹⁰⁰⁰. Exner hinterfragt die prinzipielle Trennung zwischen Humanistik (bzw. Geisteswissenschaften) und Naturwissenschaft¹⁰⁰¹ mit einem Argument, das sehr stark an Fechner erinnert¹⁰⁰², und zwar an dessen schon besprochenen Vortrag „Über die mathematische Behandlung organischer Gestalten und Prozesse“ (vgl.

⁹⁹⁸ Coen (2007, S. 77) macht auf diese Arbeit und auf einige von Exner benutzte Ausdrücke aufmerksam: „His results constituted ‚laws‘ only ‚insofar as this expression can be applied here‘. They were ‚empirical laws‘ derived ‚directly from a comparison of the collected experimental results; due to their manner of derivation no general validity can at present be accorded to them.‘ Borrowing the language of the new Austrian atomists, Serafin judged that these laws held ‚with the greatest probability‘”. Erwähnenswert ist auch, dass der schon erwähnte (vgl. oben, §4.c) Molekularphysiker Loschmidt mit der Familie Exner eng befreundet war: Franz Exner, der schon erwähnte Philosoph und Vater von Franz Serafin, hatte Loschmidt in schwierigen Zeiten geholfen, sein Studium zu finanzieren und seine Forschung fortzusetzen. Loschmidt - der schließlich zu einer Professur im Wiener physikalischen Institut schaffte - kümmerte sich wiederum um die Kinder von Franz Exner (darunter Franz Serafin), nachdem dieser noch relativ früh starb (vgl. Coen 2007, S. 72ff. und Stöltzner 2003, S. 132).

⁹⁹⁹ Vgl. Stöltzner (2003, S. 130-131): „The evening edition of the *Neue Freie Presse* of the same day published large parts of Exner’s Inaugural Address on its third page and reported an ‘exceptionally large attendance of the students’ and a ‘thunderous and continuous applause’ of the audience. In a long obituary, Hans Benndorf, Exner’s former student and a close friend of the family, related that the speech ‘made a great stir’ even outside academia”. Die Rede Exners gehört also ebenso zu jener Popularisierung wissenschaftlicher und wissenschaftsphilosophischer Theorien, die ich oben (vgl. §5) für das Heraus kristallisieren der Determinismusfrage in einer expliziten und scharfen Form verantwortlich gemacht habe.

¹⁰⁰⁰ 1909 wurde die Rede mit dem Titel *Über Gesetze in Naturwissenschaft und Humanistik* veröffentlicht (Exner 1909),

¹⁰⁰¹ „So stehen wir vor der großen Frage: Gibt es wirklich zweierlei Naturen, eine in der alles Geschehen nach strengen, niemals versagenden Gesetzen verläuft, und eine zweite die solche Gesetze nicht kennt, wo die Ereignisse willkürlich aufeinander folgen? Sehr schwer wird es jedem Forscher werden an einem derartigen Zwiespalt der Natur zu glauben, um so notwendiger wird es für uns klar zu begreifen, daß und warum dieser Zwiespalt kein prinzipieller, in Wirklichkeit nur ein gradueller ist“ (Exner 1909, S. 6).

¹⁰⁰² In Bezug auf einen möglichen Einfluss von Fechner auf Exner schreibt Stöltzner (2003, S. 132-33): „Apart from Exner’s pondering that the laws of nature change on the cosmological scale, I have not found any incontrovertible allusion to Fechner’s writing”, und kommt zum Schluss, dass „the documentary evidence remains inconclusive”. Doch zitiert Exner Fechner explizit wenigstens in einer seiner Vorlesungen (Exner 1919, S. 676).

oben, §6.a.). Ähnlich wie Fechner die Existenz eines prinzipiellen Unterschieds zwischen anorganischen und organischen Prozessen mit dem Argument geleugnet hatte, dass auch anorganische Prozesse von einem gewissen Grad an Unbestimmtheit charakterisiert seien, relativiert Exner die Trennung zwischen Geisteswissenschaften und Naturwissenschaften mittels der Aberkennung der strengen Exaktheit und Ausnahmslosigkeit naturwissenschaftlicher Gesetze. Eine ähnliche Argumentationslinie werden später Edgar Zilsel, Philipp Frank und Otto Neurath vertreten – worauf ich noch zurückkommen werde.

Mit Bezug auf die boltzmannsche molekulare und probabilistische Auffassung thermodynamischer Phänomene setzt Exner den Schwerpunkt auf die statistischen Gesetze, und betont, dass diese aus einer großen Anzahl von *zufälligen* Ereignissen auftauchen¹⁰⁰³. Ganz im Sinne der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung bemerkt er: „Das heißt aber nichts anderes, als wir beobachten [...] Gesetzmäßigkeiten die ausschließlich durch den Zufall hervorgebracht werden“ (Exner 1909, S. 13). Dementsprechend ist das Würfeln laut Exner ein Vorbild dafür, „wie Naturgesetze entstehen“:

So also entstehen Naturgesetze; ein System, das aus *an und für sich vollkommen zufälligen* Ereignissen besteht, wird je nach den Bedingungen unter denen es steht, einem bestimmten *wahrscheinlichsten und damit gesetzmäßigen* Zustande zustreben. Aber das Beispiel lehrt uns noch mehr; es zeigt uns daß nur nach dem Eintritte unendlich vieler Einzelereignisse das Resultat mit absoluter Sicherheit zu erwarten ist, bei einer endlichen Anzahl derselben aber immer *nur mit einem gewissen Grade der Wahrscheinlichkeit*, der allerdings ein immer höherer wird je mehr die Ereignisse sich häufen. Da nun keine Naturerscheinung die wir beobachten können, wirklich aus unendlich vielen Teilen besteht, *so gibt es auch kein absolutes Naturgesetz, alle unsere Gesetze sind nur Wahrscheinlichkeitsgesetze [...]*¹⁰⁰⁴

Ausgedrückt wird hier das frequentistische Bild einer Gesetzmäßigkeit, die aus dem Chaos oder aus dem Zufall entsteht, wenn die Anzahl der zufälligen Einzelereignisse asymptotisch zum Unendlichen strebt. Damit können wir Exner in zwei Hinsichten als Indeterministen bezeichnen: erstens, da er ursprüngliche, nicht wiederum auf deterministische Prozesse reduzierbare, zufällige Ereignisse als Fundamentalebene zu betrachten scheint; zweitens, weil er den Naturgesetzen die ‚klassische‘ absolute Gültigkeit abspricht und meint, sie würden

¹⁰⁰³ „Die Frage welche er [Boltzmann] sich stellte [...] war die: Der Zustand eines Gases, wie er uns experimentell durch die Gesetze wohl bekannt ist, ist er vielleicht nicht anderes als das Resultat eines Zufalles, als das Resultat der zufälligen Einzelbewegungen der zahllosen Moleküle in demselben? Wie gesagt, die Frage ist zu bejahen, und damit haben wir den Schlüssel zu allem weiteren in der Hand. Es ist ein weitverbreiteter Irrtum zu glauben, daß zufällige Ereignisse auch ein zufälliges, also unbestimmtes Resultat haben müssen [...]“: So führt Exner gleich das Gesetz der großen Zahlen ein, und betont dabei, dass die statistische Gesetzmäßigkeit nur unter der Bedingung einer großen Anzahl zufälliger Ereignisse gilt (Exner 1909, S. 10-11).

¹⁰⁰⁴ Exner (1909), S. 15-16; meine Hervorhebungen.

„nur mit einem gewissen Grade der Wahrscheinlichkeit“ gelten¹⁰⁰⁵. Abweichungen von der Regel, Schwankungen um den Durchschnitt, seien immer möglich¹⁰⁰⁶. Auch die angeblich exakten Gesetze der Naturwissenschaften sind also „nur“ Durchschnittsgesetze¹⁰⁰⁷, und die angeblich „exakten“ Wissenschaften unterscheiden sich nicht prinzipiell von dem Gebiet der Humanistik: wenn in diesem letzten Gebiet „Gesetzmäßigkeiten selten[,] Gesetze aber niemals vorkommen“¹⁰⁰⁸, ist es nur deswegen, weil die Vorgänge, die das Forschungsobjekt der Humanistik darstellen, schwer die Bedingungen erfüllen können, die das Entstehen der Gesetzmäßigkeit aus dem Zufall ermöglichen:

[...] eine große Zahl zufälliger Einzelereignisse muß sich abspielen und zwar in so rascher Folge, daß wir nur ihren Durchschnittswert zu beobachten vermögen, und während dieser Zeit müssen auch die äußeren Bedingungen unveränderte [sic] bleiben.¹⁰⁰⁹

Je nachdem, wie genau das Forschungsobjekt einer Disziplin diese Kriterien erfüllt, fällt die jeweilige Disziplin in einen bestimmten Punkt eines Spektrums, das sich zwischen den ‚fast exakten‘ Gesetzen der Physik und der Beobachtung zufälliger Einzelergebnisse in der Humanistik, und insbesondere in der „Histoire“ entfaltet. „Zwischen den beiden Extremen lassen sich alle Übergänge finden“ - meint Exner (1909, S. 32), der in dem zweiten Teil seiner Rede unterschiedliche Disziplinen – von der Botanik zur Ökonomie¹⁰¹⁰ – noch in Betracht zieht. Dabei streitet Exner auch jeden prinzipiellen Unterschied zwischen Lebendigem und

¹⁰⁰⁵ Exner wiederholt dies fast mit denselben Worten noch einmal während der Rede (Exner 1909, S. 24). Im §4.d. habe ich behauptet, dass Maxwell und Boltzmann genau diese Einsicht als eine der wichtigsten Folgen ihrer Arbeit für die Determinismusfrage betrachtet haben, während es ungewiss bleibt – so scheint es mir – ob sie auf den Determinismus auf der molekularen Mikroebene verzichtet haben.

¹⁰⁰⁶ Was Abweichungen betrifft, hat auch Exner, wie andere Autoren, die wir schon in Betracht gezogen haben, u.a. die Evolutionstheorie als Vorbild vor Augen: „Die Konstanz unserer Arten im Laufe absehbarer Zeiten spricht dafür daß schon recht wahrscheinliche Zustände erreicht sind, aber die Rechnung lehrt daß, wenn diese auch weitaus am häufigsten vorkommen, wir doch von Zeit zu Zeit auch auf weniger wahrscheinliche, davon abweichende, treffen können und sogar müssen, nur werden diese Abweichungen um so seltener eintreten je bedeutender der Betrag der Abweichung ist“ (Exner 1909, S. 33).

¹⁰⁰⁷ „Exakte Naturgesetze also im mathematischen Sinne des Wortes gibt es nicht; und gäbe es solche, so könnten wir uns von ihrer Exaktheit doch nicht überzeugen, denn das wäre nur durch das Experiment möglich, alle Experimente aber sind notwendig mit Fehlern behaftet und so würden wir zwischen Gesetz und Experiment niemals zu völliger Übereinstimmung kommen“ (Exner 1909, S. 16).

¹⁰⁰⁸ Exner (1909), S. 25. Die Unterscheidung zwischen Gesetzen und Gesetzmäßigkeiten fasst Exner auf, wie folgt: „Alles Geschehen in der Natur ist das Resultat zufälliger Ereignisse; je größer die Zahl der Einzelereignisse ist, aus denen sich eine Erscheinung unter gewissen äußeren Bedingungen zusammensetzt, desto wahrscheinlicher hat diese einen bestimmten Charakter, desto sicherer treten Gesetzmäßigkeiten hervor. Ist die Wahrscheinlichkeit daß eine solche sich jedesmal einstellt so groß, daß sie für menschliche Begriffe Gewissheit wird, dann sprechen wir von einem ‚Gesetz‘. Das ist aber nur bei der über alle Vorstellung großen Zahl von Einzelereignissen möglich, wie sie bei molekularen Vorgängen eintreten. Auf allen anderen Gebieten gibt es keine Gesetze, nur Gesetzmäßigkeiten [...]“ (Exner 1909, S. 43).

¹⁰⁰⁹ Exner (1909), S. 23.

¹⁰¹⁰ Seine Behandlung der Determinismusfrage in Bezug auf die Nationalökonomie nimmt interessanterweise sehr starke politische Züge an, und auf diese werde ich unten (§7.d.) zurückkommen.

„toter Materie“ ab¹⁰¹¹, und betont, „[d]aß nicht die Natur der Ereignisse, sondern lediglich die Zahl derselben das ausschlaggebende Moment ist“ (Exner 1909, S. 36), welches unter den verschiedenen Disziplinen einen Unterschied mache. Die Differenzen zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen entsprechen keinem ontologischen oder prinzipiellen Unterschied des jeweiligen Forschungsobjekts, sondern sind auf die Größenordnung bzw. auf die Geschwindigkeit der Vorgänge zurückzuführen, die sie in Betracht ziehen: dieses Argument wird auch Zilsel vertreten - wie wir sehen werden.

Exner geht es offensichtlich um ein *einheitliches Weltbild*:

Sehr mangelhaft, ich weiß es, ist das Bild das wir solcherweise vom Geschehen in der Welt uns konstruieren, aber es ist ein durchaus einheitliches und in sich geschlossenes [...].¹⁰¹²

Das einheitliche Weltbild Exners, so wie er es in seiner Rede entworfen hat, haben wir schon in bestimmten Hinsichten als „indeterministisch“ bezeichnet. Es erinnert teilweise an den Indeterminismus von Peirce (vgl. oben, §6.c) – umso mehr, als Exner sein Weltbild gelegentlich zu einer ganzen Kosmologie weiterentwickelt. Vor allem in seinem unveröffentlichten Manuskript *Vom Chaos zur Gegenwart* (Exner 1924) wendet er sein Bild einer Gesetzmäßigkeit, die langsam aus dem Chaos entsteht, auf die ganze Weltgeschichte und die Entwicklung der menschlichen Kulturen an¹⁰¹³. Das letzte Zitat trägt aber auch die Spur einer Vorsicht, die sich auf die im Kap. 3 schon verfolgten Entwicklungen zurückführen lässt, und die einer metaphysischen und realistischen Auffassung sowohl des Determinismus als auch – letzten Endes - des Indeterminismus entgegenwirkt: hier ist nämlich von einem *Bild* die Rede, das *wir* „vom Geschehen der Welt uns *konstruieren*“. Noch klarer, diesmal

¹⁰¹¹ „Man könnte versucht sein den Mangel an Gesetzen bei den deskriptiven Naturwissenschaften der Physik gegenüber, auf den Einfluß des Lebendigen im Gegensatz zur toten Materie zurückzuführen; dazu liegt kein Grund vor“ (Exner 1909, S. 36). Vgl. auch *ibidem.*, S. 7 und S. 43.

¹⁰¹² Exner (1909), S. 43; vgl. auch die rhetorischen Fragen auf S. 6. Die Einheitlichkeit des Weltbilds wird ein Anliegen von Exner bleiben: In einer späteren Debatte mit Planck wird Exner dessen Trennung zwischen „dynamischen,“ und „statistischen“ Gesetzmäßigkeiten (Planck 1914) zugunsten des eigenen „einheitlichen Weltbildes“ ablehnen (vgl. die 94. Vorlesung in Exner (1919). Über die Debatte zwischen Exner und Planck vgl. Stöltzner 2003, § 4.5.).

¹⁰¹³ Exner (1924). Die Titel der Abschnitte, in denen dieses Werk eingeteilt ist, bieten ein Bild des anspruchsvollen Unternehmens: I. Ursprung des Sonnensystems. II. Die Entwicklung der Erde zu ihrer jetzigen Gestalt. Ihr Alter. (In diesem Rahmen wird Exner auch poetisch: „Von der Geburt bis an das Grab / hängt noch der Mensch vom Zufall ab“ – S. 98). III. Die prähistorische Zeit. IV. Die Zeit von 4000-2000 v. Chr. Usw., wobei der letzte Abschnitt „Die Zeit von 1000 n. Chr. zur Gegenwart abdeckt. Über dieses Werk und das Kontext seiner Entstehung vgl. Stöltzner (2003), Kap. 4.6. Andeutungen auf eine Erstreckung des indeterministischen Weltbilds Exners bis zu einer Weltanschauung sind auch in der Rektoratsrede schon präsent: auf S. 30-31 zieht Exner die Entwicklung der Menschheit und der menschlichen Kulturen in Betracht, und auf S. 38ff. rechtfertigt er durch sein indeterministisches Weltbild die ungleiche Verteilung von materiellen und geistigen Gütern – und somit greift er in den Bereich der Ethik und Politik ein. Diesen letzten Aspekt werde ich unten, im § 7.d., ausführlicher behandeln.

eher gegen den Determinismus wirkend, tritt diese ent-ontologisierende, antimetaphysische Haltung an einer anderen Stelle der Rektoratsrede hervor:

Die Gesetze existieren aber nicht in der Natur, die formuliert erst der Mensch, er bedient sich derselben als sprachlichen und rechnerischen Hilfsmittels [...] ¹⁰¹⁴

Fast dieselben Worte ¹⁰¹⁵ findet man außerdem im 1917 geschriebenen Vorwort der *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, die Exner während des ersten Weltkriegs für ein breites Publikum schrieb und erstmals 1919, dann in einer zweiten wichtigen Ausgabe 1922 ¹⁰¹⁶, veröffentlichte. Hier, und insbesondere in den Vorlesungen „Über Naturgesetze“ (Exner 1919, Teil IV), beschäftigt sich Exner ausführlich mit dem Kausalitätsbegriff ¹⁰¹⁷ und stellt noch mal in detaillierterer Weise und im Zusammenhang mit der eigenen physikalischen Forschung seine schon besprochene frequentistische und indeterministische These dar ¹⁰¹⁸. Sein Indeterminismus geht dabei so

¹⁰¹⁴ Exner (1909), S. 7. Die Auffassung des Gesetzesbegriffes von Exner, so wie er hier und auch in Exner (1919) ausgedrückt ist, erinnert an die ebenso antimetaphysische Auffassung physikalischer Theorien von Mach. Erwähnenswert ist, dass Philipp Frank ein Jahr vor der Rektoratsrede Exners ebenfalls eine nicht-realistische Auffassung der Kausalität in einem Aufsatz über „Kausalgesetz und Erfahrung“ vertreten hatte, und zwar eine konventionalistische (vgl. oben, §3.c).

¹⁰¹⁵ „Es sind uns aber diese [d.h., die physikalischen] Gesetze nicht von der Natur gegeben wie ein Stück Materie, wir folgern sie aus der Beobachtung einzelner Fälle und die daraus abgeleitete Verallgemeinerung als Gesetz ist immer ein Produkt des Menschen“ (Exner 1919, S. V).

¹⁰¹⁶ Das Vorwort zur zweiten Ausgabe ist einer Kritik an Spengler gewidmet, der sein berühmtes Werk, *Der Untergang des Abendlandes*, 1918 (den ersten Band) und 1922 (den zweiten Band) veröffentlicht hatte. Die dezidierte Kritik an Spengler seitens Exners zu betonen – wie Stöltzner (2003, Kap. 4) und Coen (2007, 277ff.) es tun – ist deshalb sehr wichtig, weil die berühmte und schon erwähnte Forman-These die Identifizierung von Indeterminismus und Spenglerismus suggerierte, was anhand der Forschungsergebnisse von Stöltzner und Coen als irreführend zu betrachten ist. Stöltzner (2003, § 5.3) rekonstruiert auch die Reaktionen auf Spengler seitens anderer Wissenschaftler, z.B. Otto Neurath, der 1921 sein *Anti-Spengler* veröffentlichte (Neurath 1921).

¹⁰¹⁷ An mehreren Stellen drückt Exner sein Unbehagen am „Kausalitätsprinzip“ und Kausalitätsbegriff aus, denen er keine klare und empirische Bedeutung zuerkennen kann, und schlägt vor, das Wort „Kausalität“ ähnlich wie Goethe durch den Ausdruck „Bedingungen“ zu ersetzen: Vgl. Exner (1919), S. 661-64 (über die Wertschätzung von Goethe, die Exner mit Chamberlain (!) teilte, vgl. das interessante Vorkommnis beschrieben in Coen 2007, S. 211). In diesem Kontext zitiert Exner zustimmend auch Mach, „Die Natur ist nur *einmal* da!“. Interessanterweise unternimmt Exner v.a. in den 88. und 89. Vorlesungen denselben Versuch, den Philipp Frank in seinem 1932 erschienenen Buch über *Das Kausalgesetz und seine Grenzen* (Frank 1932) unternehmen wird, und zwar nach einer Formulierung des Kausalitätsgesetzes zu suchen, die ihm eine empirische Bedeutung verleihen würde und die es somit empirisch verifizierbar machen würde.

¹⁰¹⁸ In der ersten seiner der Kausalität und der Determinismusfrage gewidmeten Vorlesungen präsentiert Exner sein Vorhaben wie folgt: „Sicherlich muß es als eine der fundamentalsten Forderungen bezeichnet werden, darüber ins klare zu kommen, ob die Anschauung von der absoluten Exaktheit eines Gesetzes gerechtfertigt ist oder nicht; deshalb soll im folgenden diese Frage noch speziell untersucht und so weit als möglich einer Entscheidung zugeführt werden“ (Exner 1919, S. 647-8). In der 87. Vorlesung verfeinert Exner seine Fragestellung, indem er bezüglich des Ohmschen Gesetzes die Fragen aufwirft: „Wie aber steht es nun mit der Exaktheit, mit der sogenannten Universalität eines solchen Gesetzes? Man hat sich allmählich gewöhnt, den physikalischen Gesetzen eine solche Universalität stillschweigend zuzuschreiben und vergißt dabei, daß das Feld unserer Beobachtungen doch räumlich und zeitlich sehr beschränkt ist. Wir müssen dagegen fragen: 1. gilt ein physikalisches Gesetz ausnahmslos für alle Fälle seiner Art, 2. gilt ein solches Gesetz mit absoluter Strenge und

weit, dass er an einer Stelle behauptet, „daß der ‚Zufall‘ etwas in der Natur selbst Begründetes ist und nicht erst vom Menschen in dieselbe hineingetragen wird“ (Exner 1919, S. 666) – ganz im Gegensatz übrigens zu den Gesetzen, die immer „ein Produkt des Menschen“ seien, wie er behauptet hatte.

Und doch bleibt Exner im Endeffekt Agnostiker in Bezug auf die Determinismusfrage:

Wir können natürlich auch nicht behaupten, daß die Einzelereignisse wirklich zufällig, d.h. ohne Ursache verlaufen, wir wollen uns nur dagegen verwahren, daß, wie es so häufig geschieht, das Gegenteil positiv behauptet wird. Die Frage, ob Zufall, ob Kausalität im Mikrokosmos herrscht, sollte offen bleiben [...] ¹⁰¹⁹

Somit hatte der „Indeterminist“ Exner wichtige Fragen aufgeworfen, die er jedoch in verschiedener Hinsicht offen ließ: er hatte behauptet, das Gesetz der großen Zahlen beherrsche „in der Tat als einziges Gesetz alles Geschehen in der Natur“, aber zugleich eingeräumt, dasselbe Gesetz sei „nicht bewiesen“, und sogar „nicht beweisbar“ (Exner 1909, S. 19). Er hatte außerdem ein indeterministisches Weltbild entworfen, und zugleich behauptet, Weltbilder und Gesetze seien nur Konstruktionen des Menschen.

„Trotzdem bleiben diese Gedankengebäude nicht blosse Hirngespinnste [...] Theorien lassen sich auf die uns gegebene Wirklichkeit [...] anwenden“ ¹⁰²⁰: genau das „Anwendungsproblem“ und die Begründung des Gesetzes der großen Zahlen sind zwei der drei Hauptfragen, mit denen sich Edgar Zilsel in seiner ersten anspruchsvollen wissenschaftsphilosophischen Arbeit auseinandersetzt (die dritte Frage ist die Rechtfertigung der Induktion). Trotz seiner teilweise kantischen Prägung (aus meiner Sicht: auch gerade *wegen* seiner kantischen Prägung) kann er m. E. sehr wohl als „Wiener Indeterminist“ bezeichnet werden – und zwar einer, den die Forschung über den „Wiener Indeterminismus“ bisher vernachlässigt hat. Außerdem eignet sich seine philosophische Arbeit – die die in den vorigen Kap. 3 bis 6 betrachteten Entwicklungen aufnimmt und in ihrer Reife darstellt – hervorragend, um die bisher rekonstruierte Geschichte der Determinismusfrage vor der Quantenmechanik zusammenzufassen und einen Ausblick auf die unmittelbar darauffolgenden Entwicklungen zu bieten.

3. ist ein solches Gesetz in seiner Anwendung für einen bestimmten Fall räumlich und zeitlich unbeschränkt?, d.h. gilt es immer und überall?“ (Exner 1919, S. 654).

¹⁰¹⁹ Exner (1919), S. 692.

¹⁰²⁰ Zilsel (1916), S. V.

b. *Das Anwendungsproblem (1916): frühe indeterministische Konzepte bei Edgar Zisel*

Fast scheut man sich davor, Edgar Zisel (1891-44) zu einer Tradition oder zu einer Strömung dazu zu rechnen – sei sie auch eine explizit *post hoc* und *ad hoc* rekonstruierte wie jene des „Wiener Indeterminismus“. Seine tragische Biographie¹⁰²¹ suggeriert nämlich, dass dieser subtile, extrem gebildete und vielfältige Denker¹⁰²² ein Heimatloser war, und dies nicht nur aufgrund seiner 1938 gezwungenen Migration als Jude und als Sozialdemokrat, sondern auch aufgrund seines kritischen Geistes, der sich schwer an eine bestimmte Gruppe oder Strömung ohne weiteres anschließen konnte – sei es an den Wiener Kreis, dem er wohl nah war¹⁰²³, oder

¹⁰²¹ Über das Leben Zisels vgl. Dvořák (1981), Stadler (1997), §12.1.7 und S. 802f., und Raven – Krohn (2003), sowie den Gedenkartikel seines Sohns, Paul Zisel (1988).

¹⁰²² Anerkennung bekam Zisel schon am Anfang seiner wissenschaftlichen Tätigkeit: Sein Habilitationsverfahren wurde von Philosophen wie Moritz Schlick, Heinrich Gomperz und Ernst Cassirer unterstützt; dieser letzte, der um ein externes Gutachten gebeten worden war, schrieb, dass die Habilitationsarbeit Zisels (auf die ich zurückkommen werde) ihm „viel Neues gegeben“ habe, und kam zum folgenden Schluss: „Ich glaube daher, daß die vorliegende Arbeit – neben den früheren Arbeiten Zisels, die ich als wertvolle Beiträge zur Logik und Wissenschaftslehre sehr schätze – durchaus als vollgültige Grundlage für eine philosophische Habilitation anzusehen ist“ (zit. in Dvořák 1981, S. 131, Fußnote 14). Das Habilitationsverfahren Zisels scheiterte trotzdem (vgl. Dvořák 1981, S. 20-22 und Stadler 1997, §12.1.7), was aber Philipp Frank anscheinend nicht daran hinderte, Zisel für einen Philosophie-Lehrstuhl an der deutschen Universität in Prag zu empfehlen (vgl. Raven – Krohn 2003, Fußnote 12): den Lehrstuhl bekam aber schließlich Rudolf Carnap. Später wird Herbert Feigl, der von der Lektüre von Zisels *Anwendungsproblem* endgültig zur Philosophie ‚bekehrt‘ wurde und dann in den USA eine brillante Karriere als Wissenschaftsphilosoph machte, auf Zisel als „outstanding brilliant mind“ zurückblicken (zit. in: Dvořák 1981, S. 56). Auch auf Poppers Verständnis der Psychoanalyse hatte anscheinend Zisel entscheidenden Einfluss: vgl. Hachoen (2000), S. 94. Hachoen (2000, S. 103) erzählt außerdem, wie Zisel als Gymnasiallehrer Popper bei der Matura prüfte: „In 1921, on his first attempt at the *Matura* he [Popper] failed in both Latin and logic. [...] In logic the examiner, Edgar Zisel, found his understanding of Aristotle inadequate. Popper was in no position to win the argument. ‚I found Zisel always anxious to put me in my place‘, he recalled“. Später müssen Popper und Zisel ein freundliches Verhältnis entwickelt haben, da Popper 1935 in der Wohnung Zisels vortrug und Zisel als ‚Vermittler‘ aufsuchte, um sein angespanntes Verhältnis zum Wiener Kreis zu verbessern (Hachoen 2000, S. 276, Fußnote 203).

¹⁰²³ Über das Verhältnis Zisels zum Wiener Kreis vgl. Dvořák (1981), Kap. 5 und insb.: „Edgar Zisel stimmte in vielem mit der wissenschaftlichen Weltauffassung und der radikaleren Richtung des Wiener Kreises überein, er war dem Wiener Kreis – als Vorstandmitglied des Vereins Ernst Mach – auch organisatorisch verbunden, trat aber mehrmals (auf Kongressen und in Aufsätzen) mit kritischen Stellungnahmen zu einigen im Wiener Kreis vertretenen Anschauungen hervor.“ (S. 56). Dvořák (1981, S. 56) gibt auch eine Erinnerung des ehemaligen Wiener Kreis-Mitglieds Herbert Feigl wieder, laut dem „There were two outstanding brilliant minds in Vienna who, though close to us in philosophical orientation, never joined the Circle: Edgar Zisel and Karl R. Popper. Both were convinced of their intellectual independence from us, and tried to preserve that independence by remaining outside the Circle“. Zisel gehörte aber zu dem Kreis um Heinrich Gomperz, der dem Wiener Kreis sehr nah stand (vgl. Stadler 1997, §10.1 und 10.2.); außerdem gibt es Zeugnisaussagen, die Zisel als zum Wiener Kreis gehörend darstellen (vgl. z.B. jene von Heinrich Neider, wiedergegeben in: Stadler 1997, S. 500). Stadler (1997, vgl. insb. die Biobibliographien im Teil II) und Dahms (1993, S. 475) zählen jedenfalls Zisel zum „Kern“ des Wiener Kreises, und nicht zur „Peripherie“. Rutte (1993, S. 447) behauptet, Zisel wäre „ein regelmäßiger, langjähriger und aktiver Teilnehmer an den Sitzungen des Wiener Kreises“ gewesen, und gibt zu, dass er Zisels eigene Selbsteinschätzung als bloß Sympathisant des Wiener Kreises nicht nachvollziehen kann. Die Tatsache, dass der Wiener Kreis selbst sehr heterogen war, macht es schwieriger und teilweise auch unnötig, die Frage zu beantworten, ob Zisel dazu gehörte oder nicht. Einige Positionen Zisels signalisieren eine offensichtliche Distanz vom Wiener Kreis, was den (wenigen) Zisel-Forschern nicht entgangen ist: vgl. z.B. Raven – Krohn (2003), S. xlv und Nemeth (2011), S. 521. Allerdings teilte Zisel wichtige theoretische

an die sozialdemokratische Partei, von der er lange engagiertes Mitglied war, oder später, im Exil, an die ebenfalls vertriebene Frankfurter Schule, mit der er seine soziologische Interessen teilte¹⁰²⁴. Man scheut sich auch deswegen, Zisel zu einer Tradition oder zu einer Strömung dazu zu rechnen, weil man aus seiner Biographie den Eindruck bekommt, dass diese Heimatlosigkeit zwar sehr wohl zu seinem bitteren Schicksal beigetragen hat, jedoch mit beeindruckender Würde und fast mit einem gewissen Stolz von Zisel ertragen wurde¹⁰²⁵. Im Folgenden werde ich versuchen, auch durch biographische Hinweise das Werk Zisels zu kontextualisieren. Das Hauptinteresse gilt aber der Determinismusfrage, und ich hoffe trotz aller Scheu, zu zeigen, dass Zisel sehr wohl als bisher vergessener Vertreter eines „Wiener Indeterminismus“ betrachtet werden kann.

1891 in Wien geboren, studierte Zisel von 1910 bis 1915 Mathematik, Physik und Philosophie an der Wiener Universität. Mit welchen Forschungsfragen er im Wiener Physikalischen Institut konfrontiert wurde, lässt sich im Lichte des vorigen Absatzes zumindest erahnen. So nimmt Zisel in seinen Werken viele Gedanken Exners wieder auf, wie wir sehen werden. Doch nicht nur an der Physik, sondern auch im Institut für Philosophie wurden Zufall und Gesetzmäßigkeit Anfang des 20. Jahrhunderts thematisiert, so etwa von Friedrich Jodl (1849-1914), der nicht nur als Professor für Philosophie (ab 1896) und zeitweiliger Dekan der philosophischen Fakultät, sondern auch als engagierter Wissenschaftspopularisierer, leidenschaftlicher Kämpfer für die Säkularisierung des österreichischen Bildungssystems und für die Freiheit der Forschung und der Lehre, und

Positionen und auch ein gesellschaftliches Engagement zumindest mit dem so genannten „linken Flügel“ des Wiener Kreises. Ich werde auf das Thema des Verhältnisses zwischen Zisel und dem Wiener Kreis noch mehrmals zurückkommen.

¹⁰²⁴ Über das Verhältnis zwischen Zisel und der Frankfurter Schule vgl. Dahms (1993).

¹⁰²⁵ Vgl. unten (§7.d) den Brief, den er im Rahmen seines gescheiterten Habilitationsversuchs an Schlick schrieb. Auch die Tatsache, dass er offensichtlich seine „intellectual independence“ vom Wiener Kreises bewahren wollte (vgl. die oben, in der Fußnote 1023, erwähnte Aussage Feigl's) sowie seine offene Auseinandersetzung mit den „Parteidogmen“ der Sozialdemokraten (vgl. unten, §7.d) bezeugen zumindest eine selbstbewusste Selbstständigkeit. Die ‚Heimatlosigkeit‘ Zisels mit Bezug auf Strömungen, ‚Kreise‘ oder Schulen trug aber wahrscheinlich auch zu jener gewissen Isolation, unter der er dann im Exil sehr litt. Die Unabhängigkeit des Denkens Zisels wird noch heutzutage zu seinem Nachteil kritisch betrachtet: „[...] for me, at least, the primary problem in coming to terms with Zisel's writing is the uncertainty of his standpoint. He is a self-declared Marxist and materialist but with a host of qualifications which add up to an apparent rejection of central tenets of Marxism and dialectical materialism; he is associated with the Vienna Circle while arguing forcefully against its programme of reconstruction and unification of the sciences; he takes up Kantian positions but voices scorn for neo-Kantians; and so on.“ (Jardine 2003). Zu der Heimatlosigkeit Zisels mit Bezug auf Strömungen und Schulen kommt auch eine gewisse Heimatlosigkeit mit Bezug auf wissenschaftliche Disziplinen dazu: Fleck (1993, S. 515) bemerkt, „Zisels Arbeiten waren wissenschaftsdisziplinär nicht eindeutig zu verorten“, und er führt sowohl das Scheitern seines Habilitationsversuchs, als auch seine mangelnde Rezeption in den USA auf diese Tatsache zurück.

Unterstützer der Volksbildung in Wien wirkte¹⁰²⁶: 1904 und 1911 beschäftigte sich Jodl mit dem Thema Zufall und Gesetz¹⁰²⁷. So enthält seine 1911 an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gehaltene Rede einen Hinweis auf die ethische Pflicht einer fortschreitenden „Rationalisierung des Geschehens“¹⁰²⁸: einen ähnlichen Gedanken werden wir später auch bei Zilsel finden.

Allerdings widmet Zilsel 1916 sein erstes, aus seiner Dissertation stammendes Buch, *Das Anwendungsproblem*, dem schon erwähnten Heinrich Gomperz als „Autor des Ideals der inneren Freiheit, Jena 1904, und der Weltanschauungslehre, Jena 1905-08“¹⁰²⁹. Zilsel entwirft im *Anwendungsproblem* vielleicht keine Weltanschauung, aber wohl ein Weltbild, und zwar ein indeterministisches. Er fragt sich, wie sich „das Unbestimmte bestimmen“, wie sich „das Irrationale rational“ machen lässt, wie sich „Logik, Mathematik, Wissenschaft auf die Welt anwenden“ lassen¹⁰³⁰, und kommt zu dem Schluss – wie wir sehen werden – das dies nur unvollkommen gelingt und gelingen könne. Er fragt sich, wie das Gesetz der großen Zahlen zu begründen sei, und geht dabei von dem frequentistischen Bild einer Gesetzmäßigkeit aus, die auf Zufall und Unordnung basiert. Er prägt das Konzept der „Allverschiedenheit“, das mit der anti-deterministischen Vorstellung einer ursprünglichen und irreduziblen Individualität der Dinge und der Ereignisse verwandt ist, die sich nur künstlich in Gesetze einordnen lassen. Dieses vielfältig indeterministische Weltbild ergibt sich aber erst am Ende eines sehr verwickelten Wegs, bei dem Zilsel viele unterschiedliche Themen logisch, philosophisch und historisch-philosophisch untersucht und in verschiedenen Weisen verbindet: Ich möchte nun

¹⁰²⁶ Eine Einbettung der Tätigkeiten von Friedrich Jodl in den Kontext der österreichischen Philosophie und Gesellschaft bietet Stadler (1997), S. 88-106. Coen (2007, S. 241-242) berichtet kurz über das politisch-reformpädagogische und akademische Engagement von Jodl in Zusammenhang mit der Determinismusfrage.

¹⁰²⁷ Coen (2007, S. 242) verweist auf die zwei Aufsätze, „Der Begriff des Zufalles: Seine theoretische und praktische Bedeutung“ (1904) und „Zufall, Gesetzmäßigkeit, Zweckmäßigkeit“ (eine 1911 an der Österreichischen Akademie der Wissenschaften gehaltene Rede). Interessant ist der Vergleich zwischen der Deutung dieser Rede seitens Coen (2007, S. 242) und der Deutung derselben Rede in der Zeitschrift der österreichischen Freidenker (*Der Freidenker*, No. 14, Juli 1911): während Coen betont, wie Jodl dem Zufall eine wichtigen Rolle im menschlichen Leben zuschreibt, heben die Freidenker hervor, dass der Zufall laut Jodl „niemals Ursachlosigkeit“ bedeuten könne.

¹⁰²⁸ So etwa in der Rekonstruktion der Rede durch *Der Freidenker* (No. 14, Juli 1911). Jodl hatte tatsächlich behauptet: „in dem Augenblick, wo man den Gedanken an eine in der Welt bestehende Gesetzmäßigkeit, das heißt die Wiederkehr des Gleichen unter den gleichen Bedingungen, preisgibt, ist kein Schutz mehr gegen den Wunder- und Aberglauben mit allen Konsequenzen vorhanden und es ist, wie mir scheint, in hohem Grade bezeichnend, daß zum Beispiel gerade die moderne Theosophie in Frankreich es ist, welche die Alleinherrschaft des Zufalls und die Kontingenz der Naturgesetze mit Nachdruck proklamiert“ (Jodl 1911, S. 11). Die Aneignung der Philosophie von Boutroux seitens der französischen Theosophen wäre eine weitere Untersuchung wert. Jedenfalls schließt Jodl seine Rede mit einem Loblied auf die Kausalkenntnis sowie die technische Beherrschung der Welt.

¹⁰²⁹ Über Gomperz vgl. oben, §5, Exkurs. Es sei an dieser Stelle nur noch daran erinnert, dass Gomperz als Professor für Philosophie 1905 bis 1934 an der Universität Wien lehrte und einen Kreis hatte, an dem auch Zilsel teilnahm: vgl. Stadler (1997), § 10.1. und 10.2.

¹⁰³⁰ Zilsel (1916), S. 154.

zuerst versuchen, die allgemeine Argumentation Zilsels in seinem *Anwendungsproblem* zu rekonstruieren, einem Werk, dessen Unüberschaubarkeit und Vielfältigkeit wahrscheinlich zu seiner mangelnden Rezeption in der neueren Literatur beigetragen haben¹⁰³¹.

Die Hauptfrage, die dem Buch Zilsels sein Titel verleiht, ist das „Anwendungsproblem“¹⁰³², das Zisel mehrmals in seinem Buch auf lebendige und bildhafte Weise¹⁰³³ formuliert. So schreibt er gleich im Vorwort:

Wir Menschen können uns Gedankengebäude errichten, wir können Theorien konstruieren, es ist uns gelungen zahlreichen Wissenschaften zu schaffen. Diese Gedankengebäude sind verhältnismäßig einfach, präzise, rational, die Natur hingegen ist verwickelt, vage, irrational. Diese rationalen Gebäude haben wir uns ferner selbst nach mannigfachen Methoden ausgedacht, die Natur müssen wir dagegen hinnehmen, wie sie ist. Trotzdem bleiben

¹⁰³¹ Unmittelbar nach der Veröffentlichung wurde das Buch Zilsels mehrmals in wissenschaftlichen Zeitschriften besprochen (vgl. Bavink 1916, Hahn 1917 und Sterzinger 1918). Auf die Lektüre des *Anwendungsproblems* soll sogar die ‚Lebensentscheidung‘ Herbert Feigl zurückzuführen sein, sich beruflich der Philosophie zu widmen (vgl. Dvořák 1985, S. 133, Fußnote 48). Die damaligen Leser konnten sich über die „Fülle origineller und treffender Behauptungen“ (Hahn) Zilsels freuen, sowie über „die große Fülle anregender Bemerkungen, durch die der Verfasser die behandelten Fragen nach allen möglichen Seiten historisch sowohl, wie sachlich aufs treffendste zu beleuchten versteht“ (Bavink). Heutzutage kommt die „Vielfältigkeit“ des Buchs Zilsels eher als Unübersichtlichkeit und Kompliziertheit vor. Nur die wenigsten unter den wenigen, die sich mit der Arbeit Zilsels auseinander zu setzen suchten, haben es gewagt, sich in eine Analyse des *Anwendungsproblems* wirklich zu vertiefen: Meines Wissens haben nur Dvořák (1985, Kap. 4) und Lenhard – Krohn (2005, Kap. 3 und 4) ernsthafte Versuche in diesem Sinne unternommen. Der erste beschränkt sich aber eher auf eine Inhaltsangabe, ohne die logische Struktur der allgemeinen Argumentation Zilsels systematisch zu beleuchten und philosophisch zu kontextualisieren. Dagegen ist die Analyse des *Anwendungsproblems* durch Lenhard und Krohn philosophisch gehaltvoller und bietet auch eine Einbettung des Anwendungsproblems in die damaligen Diskussionen über die Wahrscheinlichkeit. Ihre systematische Rekonstruktion der Argumentation Zilsels finde ich aber nicht immer durchsichtig und jene, die ich hier vorschlage, weicht teilweise von ihrer ab.

¹⁰³² Es ist bemerkenswert, dass der Titel der Dissertation Zilsels, aus der das Buch stammt, keinen Hinweis auf das Anwendungsproblem enthält. Er lautet nämlich: „Ein philosophischer Versuch über das Gesetz der großen Zahlen“. Es ist möglich, dass Zisel erst im Nachhinein erkannt hat, dass seine erstmals nur auf das Gesetz der großen Zahlen bezogene Fragestellung eine allgemeinere Bedeutung haben könnte. Dies würde auch die seltsame Struktur des Buchs erklären, in dem das im Titel angekündigte Hauptthema, das Anwendungsproblem, erst gegen Ende des Buchs ausführlich besprochen wird. Zisel versucht im Vorwort, diese Struktur zu rechtfertigen, wie folgt: „Von diesem Anwendungsproblem hätte ich nun ausgehen können, hätte versuchen können, es scharf zu formulieren, es in Teilprobleme zu zerlegen, diese der Reihe nach zu bewältigen und so das ganze einer Klärung näher zu bringen. Es wären aber bald Teiluntersuchungen nötig geworden, die zu umfangreichen Exkursen geführt und die ganze Analyse höchst unübersichtlich und unverständlich gemacht hätten. Um diesem Übel zu entgehen, geht das folgende Buch nicht analytisch vor sondern synthetisch und wird sich zunächst um das Anwendungsproblem gar nicht kümmern. Es wird vielmehr von dem anscheinend ganz abliegenden Gesetz der großen Zahlen ausgehen, von diesem zur Induktion geführt werden und nachdem so die Vorbedingungen geschaffen sind, wird es ganz natürlich zum Anwendungsproblem aufsteigen.“ (Zisel 1916, S. VI). Doch so „natürlich“ erscheint der Argumentationsgang eigentlich nicht, und umfangreiche Exkurse gibt es im Buch ohnehin mehr als genug. Als „naturphilosophischen Exkurs“ kann man übrigens den II. Teil des *Anwendungsproblems* betrachten, der aus nur ca. 10 Seiten besteht, in dem Zisel versucht, den Begriff der Bewegung auf Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit zurückzuführen und zu analysieren: diesen Teil werde ich in meiner systematischen Rekonstruktion völlig außer Acht lassen.

¹⁰³³ Die längste Zeit seines beruflichen Lebens arbeitete Zisel als Lehrer, und man kann sich vorstellen, dass er ein sehr guter gewesen ist: er geht leidenschaftlich auf seine Fragestellungen ein und versucht immer, auch sehr abstrakte Fragen durch Beispiele und konkrete Vorstellungen zu veranschaulichen und ihren Bezug zur Realität klar zu machen. Was *Das Anwendungsproblem* betrifft, betont und schätzt sein Rezensent Bavink (1916, S. 168) „den frischen und lebendigen Stil und die bei aller philosophischen Terminologie stets leicht verständliche Ausdrucksweise“.

diese Gedankengebäude nicht bloss Hirngespinnste; trotzdem lässt sich die irrationale Natur rational bewältigen: mit der Mathematik und Physik können wir Maschinen bauen, es scheint irgendeine Brücke zwischen Theorie und Praxis zu geben, Theorien lassen sich auf die uns gegebene Wirklichkeit, Rationales lässt sich auf Irrationales *anwenden*. Wie das zugehen mag, ist ein philosophisches Problem, das ich das *Anwendungsproblem* nennen will [...] ¹⁰³⁴

Die Folgen der oben, im Kapitel 3 verfolgten Entwicklungen zeigen sich hier in der Anerkennung, dass wissenschaftliche Theorien „Konstruktionen“ des menschlichen Geistes seien (was übrigens auch Exner behauptet hatte): Zisel geht einfach von dieser Behauptung aus, sowie er davon ausgeht, dass die Natur an sich hingegen vage und irrational sei ¹⁰³⁵. Trotzdem lassen sich Theorien auf die Wirklichkeit erfolgreich anwenden ¹⁰³⁶, und Zisel fragt sich in seinem Buch auf kantische Weise, welche die Möglichkeitsbedingungen dieser Anwendbarkeit seien. Schon im Vorwort anerkennt Zisel den Einfluss von Kant (neben dem von Leibniz und Spinoza) auf seine philosophische Untersuchungen, wobei er auch gleich präzisiert, dass er die transzendente Logik und das Apriori „radikal“ ablehnt ¹⁰³⁷. Aber es lohnt sich, näher zu betrachten, inwiefern Zisel in seiner Fragestellung kantisch vorgeht, zumal hierbei auch seine Auffassung des Verhältnisses zwischen Naturphilosophie und Erkenntnistheorie deutlich wird: „Es darf keine zweite Naturphilosophie geben, neben der Erkenntnistheorie“ – so schreibt er (Zisel 1916, S. 76) und liefert im Weiteren eine sehr interessante Deutung der berühmten „kopernikanischen Wende“ Kants:

In der Astronomie ist der kopernikanische Standpunkt mit dem ptolemäischen vollständig identisch, dann wenigstens, wenn wir nur relative Bewegungen anerkennen. Es liesse sich ja gar nicht unterscheiden, ob sich die Erde um die Sonne oder die Sonne um die Erde dreht. Der einzige Unterschied wäre nur mehr einer der Aufmerksamkeit, des Interesses, ein axiologischer Unterschied. Bei Kopernikus „dreht“ sich eben nicht mehr alles um die Erde. Ebenso verhält es sich mit dem Kantischen Standpunkt. Da die Naturgesetze (zu mindest die

¹⁰³⁴ Zisel (1916), S. V.

¹⁰³⁵ In der II. Abteilung des III. Teils des Buchs führt Zisel den Ursprung des Anwendungsproblems auf eine Gegenüberstellung „rational vs. irrational“ zurück, die er seit Plato in der ganzen Geschichte der Philosophie in verschiedenen Versionen präsent sieht (z.B.: bei Plato, als Gegensatz „universelle Ideen vs. Einzeldinge“; bei Aristoteles, als Gegensatz „Form vs. Material“; bei Descartes, als Gegensatz „*perceptio clara at distincta* vs. *perceptio obscura et confusa*“; bei Leibniz als Gegensatz „notwendig vs. zufällig“ usw.). Die Idee, die hinter diesen Gegenüberstellungen steckt, ist jene einer „Anwendung“ rationaler Formen auf ein irrationales Material. Bei der Verfolgung dieses roten Fadens durch die Philosophiegeschichte seit der Antike zeigt Zisel eine bemerkenswerte historische und philologische Kompetenz.

¹⁰³⁶ Zisel bezieht sich im *Anwendungsproblem* nie auf den Pragmatismus und er hätte sich sicherlich nicht mit dem praktischen Erfolg als Wahrheitskriterium zufrieden gegeben: trotzdem ist es auffällig, dass er sich oft auf die Praxis bzw. auf die Sachen, die wir mittels der Theorien *machen* können, bezieht. Das Thema der ‚Spuren‘ von Pragmatismus in der Arbeit Zisels werde ich im Folgenden noch mal erwähnen.

¹⁰³⁷ Zisel (1916), S. VI. Vgl. auch *ibidem.*, S. 144.

allerallgemeinsten) mit den Gesetzen der Erkenntnis zusammenfallen sollen, ist es eigentlich gleichgültig, von welcher Seite her wir anpacken wollen.¹⁰³⁸

Laut Zilsel sind also Erkenntnistheorie und Naturphilosophie als identisch zu betrachten. Im Sinne dieses von ihm herausgearbeiteten „Sukkus der ganzen theoretischen Philosophie Kants“ lehnt er „modernere“ Auffassungen der Naturphilosophie ab: jene etwa, die die Naturphilosophie als „Symbolkonstruktion“ betrachten (mit Hinweis auf Adolf Stöhr¹⁰³⁹), sowie jene, die die Erkenntnistheorie auf die empirische Psychologie reduzieren. Zilsel geht dabei von einem rationalistischen Standpunkt aus¹⁰⁴⁰, der aber Qualifizierungen braucht: Er vertritt nicht den von mir im Kap. 2 so genannten „rationalistischen Realitätsbegriff“, weil er nicht glaubt, dass Theorien unmittelbar und unfehlbar realitätsbezogen seien¹⁰⁴¹. Er vertritt zwar die Auffassung, dass Theorien menschlichen „Gedankengebäude“ sind, distanziert sich aber zugleich von vollständig konventionalistischen Positionen, wie aus seiner Abneigung gegenüber der Auffassung der Theorien als „Symbolkonstruktionen“ vermutet werden kann. Dazu kommt, wie wir sehen werden, dass er sich gegen jegliche apriorische Wahrscheinlichkeitsauffassung äußert und einer empirischen (frequentistischen) positiv gegenübersteht (was einige Kritiken am Frequentismus nicht ausschließt). Außerdem scheint er, wie sich ebenfalls zeigen wird, die Induktion als wichtigste Erkenntnisquelle (vielleicht als

¹⁰³⁸ Zilsel (1916), S. 75-76. Auch in diesem Fall erinnert der Hinweis auf eine Unterscheidung aufgrund des Interesses und der Aufmerksamkeit vage an den Pragmatismus, aber auch an die Idee Machs, dass das Psychische und das Physische identisch und nur durch eine Verschiebung des Standpunktes zu unterscheiden sind. Nur, die Erkenntnistheorie Zilsels deckt sich nicht mit dem Psychischen, denn er lehnt immer wieder in seinem Buch jede Form des Psychologismus ab.

¹⁰³⁹ „Die Naturphilosophie sei als ‚Symbolkonstruktion‘ Werk eines Künstlers, nicht Werk eines Wissenschaftlers. [Fußnote mit Hinweis auf Stöhr, *Philosophie der unbelebten Materie*] Mir scheint aber das stilgerechte formale Zusammenstimmen mit der Natur eben kein Kriterium der Wahrheit zu sein.“ Interessant ist, wie Zilsel seine Reflexion leidenschaftlich fortsetzt: „Ich könnte mich mit der Auffassung der Naturphilosophie als einer Symbolkonstruktion nur dann begnügen, wenn man alle Wissenschaften als Symbolkonstruktion auffassen wollte. Ich strebe nach einer Naturphilosophie von *derselben* Dignität wie alle Wissenschaft, nach einer Naturphilosophie, an deren Wahrheit ich nicht nur glaube wie an die Wahrheit eines künstlerisch durchkomponierten realistischen Romans, sondern an die ich glauben kann wie an jede andere Wissenschaft“ (Zilsel 1916, S. 77). An welche Wissenschaft denkt aber Zilsel hier? An eine empirische Wissenschaft, oder an eine formale?

¹⁰⁴⁰ Wie schon erwähnt, werden im Vorwort Kant, Leibniz und Spinoza als die wichtigsten Bezugspunkte genannt. Außerdem behauptet Zilsel (1916, S. 169): „Bist du aber ein Philosoph, so musst du ein Rationalist sein.“!

¹⁰⁴¹ Zilsel bemerkt an einer Stelle (Zilsel 1916, S. 168), dass beim Versuch, das Anwendungsproblem zu lösen, „zwei Gegner zu bekämpfen“ [sind], und zwar „der monistische Rationalismus oder Panlogismus, der *nur* Rationales kennt, der schon das Gegebene für rational nimmt und der dualistische Rationalismus, der Rationales und Irrationales *völlig* auseinanderreißt. Jener macht sich die Lösung des Anwendungsproblems zu leicht, dieser macht sie zu schwer. Die Welt lässt sich nicht ohne weiteres zu Theorien zerpfücken denn die meisten Theorien müssen wir erst mühsam induzieren, und dann sind sie erst noch stets ergänzungsbedürftig; andererseits kann man doch nicht jedes Band zwischen Theorie und Welt zerschneiden“. Bezüglich der kritischen Haltung Zilsels gegenüber jener „klassischen“, rationalistischen Epistemologie, die ich im Kap. 2 dargestellt habe und die ich weithin für den impliziten wissenschaftlichen Determinismus verantwortlich gemacht habe, vgl. Zilsel (1916), S. 154.

die Erkenntnisquelle überhaupt) zu betrachten. Somit möchte ich schon an dieser Stelle auf eine Spannung zwischen einer rationalistischen und einer empiristischen Perspektive bei Zilsel hinweisen, die m. E. einen wichtigen Zug seiner Philosophie darstellt.

Kehren wir nun zum Anwendungsproblem zurück, und zu der Art und Weise, wie Zilsel es „anpackt“. Ich möchte versuchen, das Hauptargument Zilsels zu identifizieren und *systematisch* zu rekonstruieren, d.h. unabhängig von der Reihenfolge, in der Zilsel seine Reflexionen und Argumente präsentiert (er geht nämlich bewusst nicht analytisch vor) und ohne mich von den vielen interessanten Exkursen „ablenken“ zu lassen, die im Buch reichlich vorhanden sind.

Die Vorgehensweise Zilsels bei der Lösung des Anwendungsproblems ist recht kantisch: er versucht nicht zu beweisen, *dass* unsere Theorien einen Realitätsbezug haben, sondern er *geht davon aus*, dass sie ihn haben, und fragt nach den Möglichkeitsbedingungen dieses Realitätsbezugs. Auch seine Beweisführung ist meistens kantisch, indem sie weitgehend der Form einer transzendentalen Deduktion entspricht: Dass es Erkenntnis gibt, dass es Theorien gibt, die sich anwenden lassen, ist „Tatsache“¹⁰⁴². Die Frage lautet: wie ist es möglich? – also, was sind die Möglichkeitsbedingungen dafür, dass unsere Erkenntnis einen Realitätsbezug hat? Die Argumentationslinie Zilsels würde ich schrittweise rekonstruieren, wie folgt:

(A) Unsere Theorien haben einen Realitätsbezug genau dann, wenn (1) das Gesetz der großen Zahlen und (2) die Induktion gültig sind, d.h., einen Realitätsbezug haben.

Diese Prämisse bleibt im Buch Zilsels eher implizit, was zu einer gewissen Desorientierung beiträgt, wenn man die Lösung des Anwendungsproblems zu identifizieren versucht, weil der Bezug des Gesetzes der großen Zahlen und der Induktion zum Anwendungsproblem nicht klar dargestellt wird.

(B) Das Gesetz der großen Zahlen und die Induktion haben nur dann einen Realitätsbezug, wenn wir annehmen, dass die Realität eine gewisse Struktur oder Beschaffenheit hat.

(C) Diese Struktur der Realität, die wir voraussetzen müssen, damit das Gesetz der großen Zahlen und die Induktion einen Realitätsbezug haben, wird vom „Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme“ ausgedrückt (dessen Inhalt ich unten noch erklären werde). Der „Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme“ (im Folgenden SDI) ist also die Möglichkeitsbedingung des

¹⁰⁴² Wie Kant, nimmt Zilsel die Naturerkenntnis als „Tatsache“ an - wobei er sich an einer Stelle interessanterweise auf „*die Tatsache oder die Voraussetzung*, dass wir die Natur überhaupt erkennen können“ bezieht (Zilsel 1916, S. 75) und den Unterschied zwischen Tatsache und Voraussetzung nicht zu bemerken scheint bzw. nicht thematisiert.

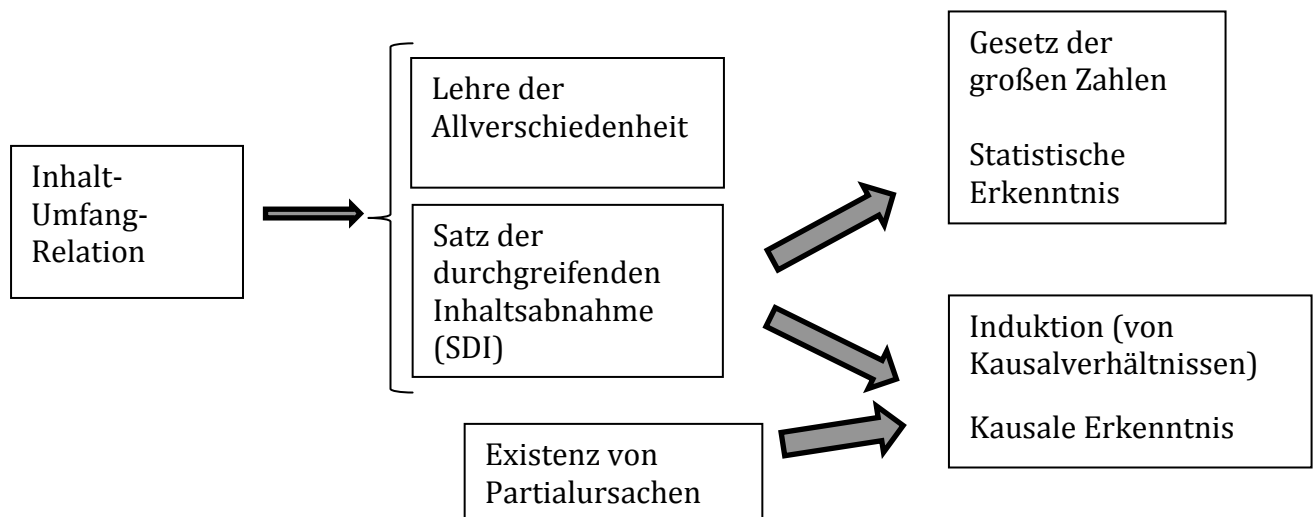
von vornherein angenommenen Realitätsbezugs unserer Theorien. Somit wird die Gültigkeit des Satzes der durchgreifenden Inhaltsabnahme von Zilsel transzendental deduziert¹⁰⁴³.

(C') Zusätzlich scheint Zilsel aber den SDI auch logisch aus der Inhalt-Umfang-Relation abzuleiten (im ersten Teil des Buchs).

(D) Aus der Inhalt-Umfang-Relation leitet Zilsel auch die von ihm so genannte „Lehre der Allverschiedenheit“ ab, auf die ich zurückkommen werde, und die einen wichtigen Ausdruck seines Indeterminismus ist.

(F) Die Induktion hat neben dem SDI auch eine zweite notwendige Möglichkeitsbedingung, die Zilsel der Vorstellung des Determinismus als Weltbild entgegensetzt, nämlich die Existenz von *Partialursachen*.

Tatsächlich interessiert uns hier nicht primär die Lösung des Anwendungsproblems, sondern uns interessieren die Formen des Indeterminismus, die – wie ich behaupte – bei Zilsel zu finden sind. Die erste Form des Indeterminismus entfaltet sich von dem ersten Teil des Buchs ausgehend, in dem Zilsel die zweite Begründungsstrategie des SDI verfolgt (C'): er liefert hier zunächst eine logische Ableitung des SDI aus dem Verhältnis zwischen Inhalt und Umfang im logischen Sinne und erklärt schließlich, worin der SDI besteht. Also werde ich nun wieder da anfangen, wo Zilsel sein Buch anfängt. Zuerst wollte ich aber die allgemeine, einheitliche Struktur der Argumentationslinien Zilsels zu klären versuchen, so dass man im Folgenden die jeweils betrachteten Inhalte in die allgemeine Struktur der Argumentation einordnen kann:



¹⁰⁴³ Vgl. das Vorkapitel des III. Teils, sowie S. 121, wo Zilsel explizit darauf hinweist, dass das 4. Kapitel der I. Abteilung des III. Teils gezeigt haben sollte, „dass dieser Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme wahr sein muss, wenn es eine Naturerkenntnis geben soll“. Das heißt: der SDI muss gelten, wenn Naturerkenntnis überhaupt möglich sein soll; da sie aber möglich ist, gilt auch der SDI.

Nach einer relativ langen Einleitung, die das Anwendungsproblem völlig vernachlässigt, und ganz dem Gesetz der großen Zahlen gewidmet ist, beginnt Zisel mit einigen Erklärungen zur Inhalt-Umfang-Relation den logisch-mathematischen Teil seines Buchs¹⁰⁴⁴. Mit „Umfang“ meint Zisel letztendlich eine bestimmte Menge von Dingen oder Ereignissen, die eine oder mehrere bestimmte Eigenschaften teilen (d.h. denen dasselbe Prädikat zugeschrieben werden kann), während sich der Begriff „Inhalt“ auf eben diese Eigenschaften bezieht¹⁰⁴⁵. Inhalt und Umfang stehen für Zisel in einem Verhältnis der umgekehrten Proportionalität: je größer die Menge der in Betracht gezogenen Dinge oder Ereignisse ist, desto kleiner ist die Menge ihrer gemeinsamen Eigenschaften, und umgekehrt (*Inhalt-Umfang-Relation*). Daraus folgt, dass ein Minimum an Umfang einem Maximum an Inhalt entspricht: wenn wir den Umfang auf ein Individuum reduzieren, wird dieses Individuum unendlich viele Eigenschaften haben, die in ihrer Gesamtheit kein anderes Individuum teilt. Auf diese Weise schafft Zisel das logische Fundament der von ihm so genannten *Lehre der Allverschiedenheit*, die er schon in der Einleitung formuliert hatte, und die ein wichtiger Ausdruck seines Indeterminismus ist:

Es liegt [...] nahe die Naturmannigfaltigkeit auf festere Füße zu stellen, sie präziser und radikaler auszusprechen durch die Behauptung: es gibt keine zwei völlig gleiche Dinge, Ereignisse oder Vorgänge; im Folgenden will ich diese Behauptung immer verständlich und kurz die *Lehre von der Allverschiedenheit* nennen.¹⁰⁴⁶

Diese „Allverschiedenheit“ – behauptet Zisel (1916, S. 38) – ist also nur ein Spezialfall der Inhalt-Umfang-Relation, und zwar der Spezialfall, bei dem wir den Umfang auf ein einziges Element beschränkt haben. Zisel führt sein Konzept der Allverschiedenheit nicht nur auf die Auffassung des Individuums bei Cusanus und Leibniz sondern sogar auf Plato und auf die Stoiker zurück¹⁰⁴⁷. Hinter seinem Konzept können wir aber auch ein typisches anti-

¹⁰⁴⁴ Die Anwendung eines logisch-mathematischen Ansatzes, um die Fragestellung anzupacken, erklärt sich wahrscheinlich aus dem Einfluss des damals bahnbrechenden Buchs von Russell und Whitehead, *Principia mathematica* (Cambridge 1910). Dementsprechend präzisiert Zisel, dass sein Begriff von „Inhalt“ sich mit dem der „propositional function“ deckt und der von „Umfang“ mit dem der „class“ in den *Principia*. An derselben Stelle verweist Zisel aber auch auf die Mengenlehre von Cantor und Zermelo (vgl. Zisel 1916, S. 31).

¹⁰⁴⁵ Die Begriffe „Inhalt“ und „Umfang“ (auch als Intension und Extension) sind schon seit Aristoteles in der traditionellen Logik präsent: unter dem Einfluss von Russell-Whitehead geht aber Zisel von der Aussagenlogik aus, bei der sich Inhalt und Umfang auf Urteile, und nicht auf Begriffe, beziehen. So erklärt er zuerst den Begriff „Inhalt“ so, dass „Inhalt“ ein „kategorisches Urteil“ sei, „an dessen Subjektstelle ein Variable steht“ (z.B. „x ist gelb“ wäre ein Inhalt). Dann aber bemerkt er, „Es wird durchaus verständlich sein, wenn wir zur Abkürzung an Stelle von ‚x ist gelb‘ nur das Prädikat gelb als Inhalt bezeichnen werden“ (Zisel 1916, S. 30-31).

¹⁰⁴⁶ Zisel (1916), S. 22.

¹⁰⁴⁷ Zisel freut sich besonders darüber, dass er „auf logischem Wege, nicht auf metaphysischem“, die Auffassung des Individuum von Cusanus und von Leibniz begründen kann (Zisel 1916, S. 36-38): „wie sich Leibniz ausdrückt: ‚l’individualité enveloppe l’infini‘, die Individualität schliesst eine Unendlichkeit in sich ein“ (*Ibidem.*, S. 38). Gegen Ende seines Buchs (und zwar im Kap. 3 der II. Abteilung der dritten und letzten Teil) wird Zisel die Spuren seiner „Lehre der Allverschiedenheit“ bis zu Plato und zu den Stoikern zurückverfolgen.

deterministisches Argument des 19. Jahrhunderts wiedererkennen, das in den vorigen Kapiteln vorliegender Arbeit schon mehrmals vorgekommen ist: Einzelereignisse und Einzeldinge sind - mit den Worten Machs - „nur einmal da“, und das relativiert die Gültigkeit eines jeden Gesetzes- und Kausalitätsbegriffs, der die Form „immer wenn..., dann...“ annimmt. Zilsel selbst (1916, S. 101) verweist auf die Folgen seiner „Lehre der Allverschiedenheit“ für die Determinismusfrage. Nachdem er nämlich die „deterministische Weltauffassung“ mit der berühmten „Laplaceschen Fiktion eines Weltgeistes“ identifiziert hat, bemerkt er:

Die Richtigkeit des Determinismus liesse sich nur kontrollieren, indem man untersucht, ob auf die gleiche Weltkonstellation immer das gleiche gefolgt ist [Fußnote: Natürlich müsste aus einer einmaligen für den Deterministen auch die ewige Wiederkunft folgen]; da infolge der Allverschiedenheit die Wiederholung der gleichen Weltkonstellation ausgeschlossen ist, so ist die Richtigkeit des Determinismus von vornherein unkontrollierbar.

Dass die Richtigkeit der deterministischen Weltauffassung sich nicht kontrollieren lässt, bedeutet natürlich nicht unbedingt, dass der Determinismus falsch wäre. Laut Zilsel darf man sehr wohl den Determinismus trotzdem voraussetzen, eine solche Voraussetzung sei allerdings eine „gefühlsmäßige Voraussetzung“ und keine „erkenntnismäßige“¹⁰⁴⁸.

Aus der Inhalt-Umfang-Relation lässt sich aber nicht nur die indeterministische Lehre der Allverschiedenheit ableiten, sondern auch der schon erwähnte Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme. Ein Inhalt lässt sich aus „Teilen“ zusammensetzen, die zueinander „disparat“ sind: diese definiert Zilsel (1916, S. 33) in der Fortsetzung seiner logischen Analyse als „echte Teile“. Mit „Teilen“ eines Inhalts meint er jene Eigenschaften, die der Inhalt umfasst: so umfasst z.B. der Inhalt „roter Würfel“ die Teile „rot (sein)“ und „Würfel (sein)“. „Disparat“ sind dann die Teile, die voneinander unabhängig sind, d.h. zwischen denen kein Verhältnis der Implikation besteht („rot“ und „Farbe“ wären z.B. keine echten Teile des Inhalts „roter Würfel“). Obwohl ich hier nicht die ganze logisch-mathematische Analyse und Berechnung von Zilsel verfolgen möchte¹⁰⁴⁹, ist dieser letzte Hinweis auf die „echten Teile“

¹⁰⁴⁸ Vgl. Zilsel (1916), S. 101: „[...] der Determinist sagt, dass er den ganzen Weltprozess als erzwungen, als einen zwangsläufigen Mechanismus fühlt.“

¹⁰⁴⁹ Der ganze I. Teil des *Anwendungsproblems* ist der Entwicklung eines logisch-mathematischen Kalküls gewidmet, mit dem Zilsel u.a. das anspruchsvolle Ziel verfolgt, nicht nur die Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen, sondern auch die Konstanz der Häufigkeitsperzentsätze logisch-mathematisch abzuleiten (vgl. Zilsel 1916, S. 43: „Schliesslich wird es auch nötig sein die Konstanz der Häufigkeitsperzentsätze nicht nur so beiläufig sondern mit logisch-mathematischer Exaktheit aus der Naturmannigfaltigkeit abzuleiten“). Leider enthält das logisch-mathematische Kalkül Zilsels grundsätzliche Fehler: nicht nur – wie auch Hahn in seiner

eines Inhalts notwendig, um endlich zu der Formulierung des schon mehrmals erwähnten *Satzes der durchgreifenden Inhaltsabnahme* zu kommen:

Mit wachsendem Umfang nimmt der Inhalt ab und zwar so, dass schon nach endlicher nicht allzugrosser Umfangszunahme mit Ausnahme der etwa festgehaltenen alle echten Inhaltsteile abgenommen haben. Diese Behauptung wollen wir den Satz von der „durchgreifenden Inhaltsabnahme“ taufen.¹⁰⁵⁰

In diesem Satz glaubt Zisel (1916, S. 63) „einen exakten Ausdruck für einen mir wichtigen Tatbestand“ gefunden zu haben, und zwar für die „möglichst grosse Naturmannigfaltigkeit“. Man sieht, wie der SDI, der den Drehpunkt der ganzen Argumentation von Zisel zur Lösung des Anwendungsproblems darstellt (vgl. das von mir oben entworfene Schema¹⁰⁵¹) mit der indeterministischen Lehre der Allverschiedenheit eng verwandt ist – er ist selbst eine indeterministische „Lehre“.

Wie kann man sich aber nun die Bedeutung dieses höchst abstrakten und komplexen Satzes veranschaulichen? Zuerst möchte ich eine wenig formale Formulierung dieses Konzepts von Zisel wiedergeben, die seine naturphilosophische und indeterministische Seite besser zum Ausdruck bringt:

[...] die Natur verschmäht nicht nur Wiederholung, es herrscht nicht nur Mannigfaltigkeit, Abwechslung überhaupt, sondern die Individuen – Dinge und Ereignisse – zeigen auch die Tendenz in jedem *einzelnen* Merkmal abzuwechseln, bei wachsendem Umfang nimmt nicht nur der Totalinhalt ab, sondern auch jeder beliebige Teil des Inhalts strebt nach Abnahme.¹⁰⁵²

Ein Beispiel von Zisel soll nun gleichzeitig die Bedeutung dieses Satzes, d.h. des SDI, klären und zum Gesetz der großen Zahlen führen: nicht nur betrachtet Zisel, wie wir gesehen haben, den SDI als Möglichkeitsbedingung der Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen, sondern

Rezension des Buchs bemerkt (Hahn 1917) – ist Zisel der Beweis des Gesetzes der großen Zahlen nicht gelungen, sondern schon die ersten Prämissen dieses Kalküls sind widersprüchlich (ich bedanke mich an dieser Stelle bei Thomas Mormann, der mir dies im Rahmen einer Privatkorrespondenz durch einen logischen Beweis gezeigt hat). Während mir die Fehlerhaftigkeit dieses Kalküls von Zisel die Bedeutung seiner naturphilosophischen und erkenntnistheoretischen Reflexionen nicht zu beeinträchtigen scheint, scheint es mir nutzlos, hier den logisch-mathematischen Teil des Buchs über die Begriffe und Konzepte hinaus zu analysieren, die ich für die Zwecke vorliegender Arbeit brauche.

¹⁰⁵⁰ Zisel (1916), S. 61.

¹⁰⁵¹ Vgl. auch Zisel (1916), S. 167: „Die durchgreifende Inhaltsabnahme in allen ihren Gestalten gestattet die Anwendung der präzisen Theorie auf die schwankende Wirklichkeit“.

¹⁰⁵² Zisel (1916), S. 41.

der SDI und das Gesetz der großen Zahlen sind so eng verwandt, dass man dieses letzte Gesetz fast als eine „Gestalt“ des SDI interpretieren kann¹⁰⁵³:

Diese Tendenz zur Abwechslung in allen einzelnen Merkmalen [...] scheint nun wirklich dasselbe Naturverhalten auszudrücken wie das Gesetz der großen Zahlen. Beim Würfelspiel z.B. wird dieser Tendenz entsprechend ein Dreierwurf sich nicht unbegrenzt oft hintereinander wiederholen können; da dasselbe auch von jedem anderen Würfelresultat gilt, ja auch von jeder bestimmten Aufeinanderfolge von Wurfergebnissen, so wird in einer grossen Zahl von Würfeln infolge der einander entgegengesetzten Tendenzen nach Abwechslung sich eine prozentuelle Verteilung der einzelnen Spielresultate herauskristallisieren, die nur von den Spielbedingungen abhängt, also offenbar nahezu konstant immer wiederkehren wird.¹⁰⁵⁴

Das Gesetz der großen Zahlen hatte Zilsel wie folgt definiert: „In Massenerscheinungen gibt es (nahezu) konstanten Durchschnittsziffern“¹⁰⁵⁵. Nun behauptet er, dass jedes Würfelresultat bei wachsender Zahl der Würfe *deswegen* durchschnittlich konstant in 1/6 der Fälle vorkommt, weil jedes der 6 Würfelresultate die „Tendenz“ hat, sich nicht zu wiederholen (was wiederum aus der Allverschiedenheit bzw. aus dem SDI folgt), und sich die Tendenzen der sechs möglichen Würfelresultate, sich nicht zu wiederholen, gegenseitig abgleichen¹⁰⁵⁶. Somit hätte Zilsel mittels einer indeterministischen Vorstellung wie jene des SDI schon einen bedeutenden Teil des Anwendungsproblems gelöst: Auf dem SDI basiert nämlich die Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen, und dieses Gesetz wiederum garantiert die Möglichkeit der Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Realität¹⁰⁵⁷.

¹⁰⁵³ Vgl. wieder Zilsel (1916), S. 167: „Die durchgreifenden Inhaltsabnahme *in allen ihren Gestalten* gestattet die Anwendung der präzisen Theorie auf die schwankende Wirklichkeit“ (meine Hervorhebung).

¹⁰⁵⁴ Zilsel (1916), S. 41.

¹⁰⁵⁵ Zilsel (1916), S. 13. Diese ist, um genau zu sein, die zweite, frequentistische, Formulierung, die Zilsel angibt. Die erste, die auf das Anwendungsproblem klarer hinweist, ist folgende: „Bei einer grossen Zahl von Wiederholungen eines Zufallspiels ist die relative Häufigkeit jedes Spielresultats nahezu gleich seiner mathematischen Wahrscheinlichkeit und nähert sich ihr mit wachsender Versuchszahl noch mehr“ (Zilsel 1916, S. 3). Mehr über die Wahrscheinlichkeitsauffassung Zilsels findet sich im nächsten Absatz.

¹⁰⁵⁶ Hier liegt natürlich der Kritikpunkt auf der Hand, dass man das Gesetz der großen Zahlen genauso gut aus der gegensätzlichen Tendenz jedes Würfelresultates, sich zu wiederholen, ableiten könnte. Es sei kurz an dieser Stelle an jene für das 19. Jh. typische Erklärung der statistischen Gesetzmäßigkeit erinnert, die durch den Hinweis auf einen gegenseitigen Ausgleich zwischen „zufälligen Ursachen“ erfolgte (vgl. oben, § 4.b und c). Noch zur Zeit der Veröffentlichung des *Anwendungsproblems* wurde das Gesetz der großen Zahlen aus dem Konzept eines „Ausgleiches“ zwischen unterschiedlichen Zufallsereignissen abgeleitet: das ist z.B. der Fall bei Meinong (1915) und Timerding (1915), die im Anhang III des *Anwendungsproblems* von Zilsel besprochen werden. Im Rahmen seiner Suche nach einer Begründung des Gesetzes der großen Zahlen nannte Timerding sein *explanandum* den „statistischen Ausgleich“ (vgl. Krüger 1987, S. 74).

¹⁰⁵⁷ Indem das Gesetz der großen Zahlen nämlich die asymptotische Annäherung der realen (d.h. empirisch festgestellten) Häufigkeit an die mathematische Wahrscheinlichkeit versichert, schlägt es die Brücke zwischen mathematischer Theorie und Realität: vgl. die schon erwähnte Stelle in Zilsel (1916, S. 4), aber auch Zilsel (1921 S. 119-120), wo er genauer zwischen dem Theorem von Bernoulli und dem von Poisson unterscheidet und in Bezug auf diesen letzten behauptet: „Auf mathematische Wege ist es offenbar ganz und gar unmöglich, die Kluft zwischen mathematischer Wahrscheinlichkeit und empirischer Realität zu überbrücken [...]. Das von Poisson so

Also basiert nach Zilsel die Erkenntnis statistischer Vorgänge und Gesetzmäßigkeiten auf einem indeterministischen Konzept: worauf basiert aber die Erkenntnis *kausaler* Vorgänge? Laut Zilsel auf zwei Bedingungen, die wir beide ebenfalls als indeterministisch (oder wenigstens nicht-deterministisch) bezeichnen können. Beide sind notwendige Bedingungen der Induktion¹⁰⁵⁸, da Zilsel sich mit „Induktion“ hauptsächlich auf die Induktion von Kausalverhältnissen bezieht. Die erste Bedingung der Induktion ist die Existenz von Partialursachen – und Zilsel äußert sich gleich gegen die „deterministische Weltauffassung“, indem er diese Bedingung einführt:

Nun ist es klar, dass es mit unserem Vorherbestimmen der Zukunft sehr schlecht bestellt wäre, wenn wir auf den Determinismus allein angewiesen wären, wenn wir, um z.B. vorauszusehen, unter welchem Winkel eine Billardkugel von der Bande abprallen wird, nicht nur den Einfallswinkel, sondern einen ganzen Weltzustand samt den Windverhältnissen auf Borneo und den Meteoriten auf den Sirius kennen müssten. Denkbar wäre sicher eine Welt, in der jedes Einzelereignis, jeder Teil des Weltprozesses nur von der vorhergehenden *Gesamtkonstellation* abhinge, wo sich aus der Kenntnis einzelner Teile des Weltprozesses niemals etwas vorhersagen liesse, aber sicher wären in ihr biologische Reaktionen zwecklos, sie wäre nicht erkennbar, es gäbe keine Naturwissenschaften, wir wären ein machtloser Spielball in den regellosen Fluten der Ereignisse, betäubte Zuschauer einer wirren und ungeheuerlichen Abwechslung, Glieder und Gedanken würden uns nicht gehorchen.¹⁰⁵⁹

Dieses Zitat bietet eine unerwartete und originelle Umkehrung der Perspektive auf den Determinismus: Nicht nur betrachtet Zilsel (trotz aller Anerkennung für die kantische Philosophie) den Determinismus als Weltbild *nicht* als notwendige Voraussetzung für die Wissenschaft; vielmehr ersetzt er den Determinismus als Weltbild durch eine ganz andere, fast gegensätzliche Möglichkeitsbedingung der Erkenntnis. Sie lautet: „man darf vernachlässigen“¹⁰⁶⁰.

Die Induktion basiert nämlich auf der Möglichkeit der Wiederholung von „Konstellationsteilen“, während der Determinismus als Weltbild, wie wir gesehen haben, laut

genannte ‚Gesetz der großen Zahlen‘, das aussagt, die Annäherung der relativen Häufigkeit an die mathematische Wahrscheinlichkeit finde realiter statt, ist [...] mit dem Bernoullischen Theorem keineswegs identisch: es ist eine physikalische Aussage, die den Rahmen der Mathematik überschreitet. [...] Wie immer aber auch [die] dem Gesetz der großen Zahlen äquivalente physikalische Behauptung formuliert werden mag, so ermöglicht doch erst sie die *Anwendung* der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die empirische Realität.“

¹⁰⁵⁸ Nach einer langen Untersuchung der im Laufe der Philosophiegeschichte versuchten Rechtfertigungen der Induktion meint Zilsel (1916, S. 99-100), er hätte nun die notwendigen Bedingungen der Induktion identifiziert, noch nicht aber die hinreichenden.

¹⁰⁵⁹ Zilsel (1916), S. 102.

¹⁰⁶⁰ Oder, wie er es auf derselben Seite ausdrückt: „wir leben [...] in einer Welt, in der man Umstände vernachlässigen darf und doch etwas weiß“ (Zilsel 1916, S. 103).

Zilsel zum Konzept einer Wiederholung von ganzen Konstellationen bzw. zur ewigen Wiederkehr des gleichen führt, d.h. zu einer Art problematischen *loop*. Zilsel betont, dass das Konzept des Bestehens der Partialursachen gegenüber dem Determinismus als Weltbild auch den Vorteil hat, dass es „kontrollierbar“ ist, und daher „uns einen Zuwachs von Erkenntnissen verschaffen“ kann (Zilsel 1916, S. 103). Diese *Gegenüberstellung* von Determinismus und ‚einfacher‘ Kausalität suggeriert den interessanten und originellen Gedanken, dass der Determinismus nicht einfach die radikal verallgemeinerte Version der Kausalität sei, sondern dass beide sich gegenseitig fast ausschließen. Auf meine Klassifizierung der Determinismusformen nach der „Breite“ (vgl. oben, §1.d) bezogen, würde das heißen, dass die Bezeichnung von einem beschränkten Objekt (z.B. von einer Theorie, von einem Gesetz usw.) als „deterministisch“ und der Determinismus als Weltbild oder als Weltanschauung sich gegenseitig ausschließen würden. Wo wir normalerweise eine Verwandtschaft sehen, sieht Zilsel eher eine Spannung.

Die zweite notwendige Bedingung der Induktion, d.h. der Erkenntnis von kausalen Verhältnissen, ist laut Zilsel erneut der Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme (SDI). Seine Aussage ist uns nun bekannt: „in der Natur herrscht [...] eine möglichst grosse Abwechslung bis in alle Inhaltsteile hinein“ (Zilsel 1916, S. 109). Wenn wir also einen Umfang von Einzeldingen oder Einzelereignissen selektieren möchten, die alle eine gemeinsame Eigenschaft haben, müssen wir sie extra (also künstlich) aussuchen. Bei wachsendem Umfang werden alle andere Eigenschaften zur möglichst großen Abwechslung tendieren, das heißt, die Elemente unseres Umfangs werden immer weniger Eigenschaften teilen (außer jener, die wir absichtlich festhalten). Nur wenn wir den SDI voraussetzen, fällt es uns auf, wenn noch eine zweite Eigenschaft ebenfalls immer wieder vorkommt: Wir kommen dann auf die Idee, dass die zwei Eigenschaften in einem notwendigen, kausalen Verhältnis zueinander stehen. Konstanz ist *deswegen* auffällig, weil Wechsel die Regel ist.¹⁰⁶¹

Somit hat Zilsel auch die Kausalität auf den SDI zurückgeführt: kausale und statistische Gesetze beruhen laut Zilsel gleichermaßen auf dem SDI¹⁰⁶², d.h. *jede Art Gesetzmäßigkeit hat dieselbe indeterministische Annahme (den SDI) als ihre Möglichkeitsbedingung*¹⁰⁶³. Mit

¹⁰⁶¹ Vgl. Zilsel (1916), S. 109.

¹⁰⁶² „Wollte also einer das Gesetz der grossen Zahlen bezweifeln oder es gar leugnen, so würde ich ihm sagen: Du verlässt dich darauf, dass dich die Speisen sättigen, das Feuer wärmen wird, du benützt alle Erzeugnisse des Handwerkers und alle Maschinen des Technikers ohne dich darüber zu wundern, dass die Natur die Erwartungen und wissenschaftlichen Theorien der Menschen täglich bestätigt, dann darfst du dich auch nicht wundern, dass es konstanten Durchschnittsziffern bei Massenerscheinungen gibt und nach irgendeiner geheimnisvollen Ursache suchen.“ (Zilsel 1916, S. 121-122).

¹⁰⁶³ „Liebst du [...] die Sprache der Kantianer, so wirst du bemerken, dass ich versucht habe, dir das Gesetz der grossen Zahlen gewissermassen transzendental zu deduzieren.“ (Zilsel 1916, S. 122). Was die kausalen Gesetze

anderen Worten: Zilsels Lösung des Anwendungsproblems klingt nach einem Paradoxon. Die Möglichkeitsbedingung der in unseren Theorien dargestellten determinierenden Verhältnisse ist eine indeterministische Struktur der Realität. Wir müssen eine Art Indeterminismus annehmen, wenn unsere deterministischen Theorien einen Realitätsbezug haben sollen.

Schließlich führt Zisel bei seiner Besprechung der Kausalität noch ein weiteres, letztes indeterministisches Konzept ein: jenes der „grossen Weltenunbekannten“¹⁰⁶⁴. Die Ursachen, die wir mittels der Induktion identifizieren können, sind, wie gesagt, bloß Partialursachen. Das, was wir bei der Erkenntnis eines jeglichen Kausalverhältnisses („wenn A, dann B“) als Wirkung (B) identifizieren, folgt nicht nur aus der angeblichen Ursache (A), sondern aus A *und* einem „unbekannten R“, d.h. aus A und einer ganzen Reihe anderer Bedingungen, die wir noch nicht kennen, und die dem Gültigkeitsbereich des von uns provisorisch identifizierten Kausalverhältnisses Grenzen setzt¹⁰⁶⁵. Die Erforschung und die Entdeckung der Naturgesetze sollten das unbekannte R asymptotisch verringern, nur: Zisel behauptet, bewiesen zu haben, „dass es niemals gänzlich zum Verschwinden gebracht werden kann“:

Darum will ich dieses nicht wegzubringende allgemeine R die „grosse Weltenunbekannte“ nennen; sie wird immer der ewig unenträtselbare, sich stets in neues Dunkel zurückziehende irrationale Rest bleiben. Alle unsere Naturgesetze bleiben nur solange in Geltung, solange diese grosse Weltenunbekannte sich nicht geändert hat, die man dann nach Belieben als Konstitution der Materie oder als Energieverteilung im Weltraum interpretieren kann oder sonstwie als Bauplatz für seinen philosophischen Bautrieb benützen mag.¹⁰⁶⁶

Wie Zisel bewiesen haben will, dass bei jeglicher Erweiterung unserer Erkenntnis immer ein unbekannter Rest übrig bleiben müsse, ist mir ein Rätsel. Vermutlich betrachtet Zisel dies als eine Folge der Allverschiedenheit (da Einzeldinge und Einzelereignisse unendlich viele Eigenschaften haben, können wir sie nicht restlos kennen), sowie als eine Folge seiner Rechtfertigung der Induktion, die auf dem Begriff der *Partialursachen* basiert. Jedenfalls erinnert das Konzept einer unvermeidbaren „grossen Weltunbekannten“ an das *Ignorabimus* von Du Bois-Reymond. Zwar ist die Natur des ‚Unerkennbaren‘ bei Zisel und bei Du Bois-

betrifft, hat Zisel nach ihren Möglichkeitsbedingungen gesucht, indem er nach den Möglichkeitsbedingungen der Induktion gesucht hat – wie wir schon gesehen haben.

¹⁰⁶⁴ Zisel (1916), S. 119-121. Über die ‚Offenheit‘ oder die Unendlichkeit des Erkenntnisprozesses bei Zisel vgl. Wulz (2011).

¹⁰⁶⁵ „Ich könnte [...] noch immer nicht schliessen, dass a immer mit b verbunden ist, denn nicht a allein sondern nur a verbunden mit einem noch unbekannten R involviert b, a *ohne* R braucht nicht mit b verbunden sein. Es wäre also zu jeder Kausalbeziehung ihr unbekanntes R zu ergänzen, das vorhanden sein muss, wenn sie gilt, also ihren Geltungsbereich einschränkt“ (Zisel 1916, S. 119).

¹⁰⁶⁶ Zisel (1916), S. 120.

Reymond durchaus unterschiedlich, jedoch steckt hinter beiden Konzepten die gemeinsame Idee einer unvermeidbaren und unüberwindbaren Grenze menschlicher Erkenntnis:

Die Welt gleicht also so ziemlich dem Anblick eines mikroskopischen Präparats: Das Präparat wird nie vollständig scharf gesehen, aber wir können alle Undeutlichkeiten, alle Unbestimmtheiten durch fortschreitende Vergrößerung in immer neue Bestimmungen auflösen. Naturgemäss kann diese Auflösung in lauter Bestimmungen nie vollendet werden. Analog steht es mit der Rationalisierung: sie ist ein unendlicher Prozess, die grosse Weltunbekannte, der irrationale Rest lässt sich immer verringern, aber nie beseitigen.¹⁰⁶⁷

c. Die Wahrscheinlichkeit und ihre Anwendung in der Physik

Das Kleid der mathematischen Physik schlottert noch um den Leib der Natur, es lässt einen Spielraum, die Natur könnte anders sein [...]¹⁰⁶⁸

Wie wir gesehen haben, hat Zisel im *Anwendungsproblem* versucht, die Frage nach dem Verhältnis zwischen Theorien und Wirklichkeit zu klären. Diese Frage ist mit jener nach dem Verhältnis zwischen Theorie und Erfahrung stets verwickelt: Zisel gelingt es jedenfalls nicht ganz diese zwei Fragen immer klar voneinander auseinanderzuhalten¹⁰⁶⁹. Über das ganze Buch hinweg scheint Zisel zwischen einem rationalistischen und einem empiristischen Standpunkt hin und her gerissen zu sein. Ob diese ‚Schwankung‘ nur scheinbar sei, und sich auf Zisels schon erwähnte Identifizierung von Erkenntnistheorie und Naturerkenntnis zurückführen lässt, sei hier dahingestellt. Jedenfalls möchte ich im Folgenden einige Beispiele für diese ‚Schwankung‘ kurz erwähnen, bevor ich die Wahrscheinlichkeitsauffassung Zisels, die ebenfalls zwischen einem rationalistischen (logischen) und einem empiristischen (frequentistischen) Standpunkt schwankt, im Kontext der damaligen Diskussionen über Wahrscheinlichkeit und Statistik genauer fokussiere.

In der Einleitung zum *Anwendungsproblem* scheint Zisel, zu einer empiristischen, frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung zu tendieren, ohne aber auf eine *a priori*

¹⁰⁶⁷ Zisel (1916), S. 157.

¹⁰⁶⁸ Zisel (1916), S. 147.

¹⁰⁶⁹ Vgl. Z.B. Zisel (1916), S. 155, wo er sich plötzlich verweigert, weiter von der „Wirklichkeit“ zu sprechen, und *stattdessen* den Begriff des „Gegebenen“ einführt.

Formulierung des Gesetzes der großen Zahlen verzichten zu wollen. Schließlich verweigert er explizit jede Äußerung darüber, ob dieses Gesetz a priori oder empirischen Ursprungs sei¹⁰⁷⁰.

Im I. Teil des Buchs leitet Zilsel, wie schon erwähnt, den Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme aus der logischen Relation zwischen Inhalt und Umfang ab: die Gültigkeit eines Satzes, der die Struktur selbst der Wirklichkeit bzw. der Natur darstellen sollte, scheint somit auf rein formalen Verhältnissen zu beruhen. Um diesen Fallstrick zu vermeiden, muss Zilsel an einer Stelle präzisieren, dass die Inhalt-Umfang-Relation „keine bloss logische Beziehung“ sei, sondern eine „Naturtatsache“ behauptet¹⁰⁷¹. Das ist aber wiederum problematisch, denn der Realitätsbezug der Logik, welcher somit ziemlich dogmatisch von Zilsel gesetzt wird, ist schließlich das eigentliche *explanandum* des Buchs. Jedenfalls erscheint der Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme im I. Teil des Buchs (bevor er eine zusätzliche, transzendente Rechtfertigung bekommt) eine Art ‚Mischling‘ zwischen einem logischen und einem empirischen Satz.

Auch was die Kausalität betrifft, scheint Zilsel fast über die ganze Länge der Arbeit das Kausalverhältnis mit der logischen Implikation zu verflechten: da wo er über die Existenz von Partialursachen als eine notwendige Bedingung der Induktion spricht, verweist er auf seinen im I. Teil des Buchs entwickelten „Inhalt-Umfang-Kalkül“, um sogar zu betonen, dass man mittels dieses Kalküls eine „Entmaterialisierung der Ursache“ vollbringen könne, indem man die Kausalität als „Inhaltsinvolvenz“ auffasse. Die (Partial)ursache wäre dann das Involvens, die Wirkung wäre das Involut: dass die für eine empirische Auffassung der Kausalität notwendige zeitliche Dimension dadurch verloren geht, betrachtet Zilsel hier sogar als Vorteil¹⁰⁷². Weiter unten aber, im letzten Kapitel des Buchs, präzisiert er, dass er „den Unterschied zwischen Denkgrund und Realursache“ nicht leugnen wolle, und dies an einer Stelle, an der er nun sogar die deduktiven „Involvenzen“ als „quasireflektorisch ausgeübte Ableitungen“ empirisch begründet¹⁰⁷³.

Nach einer Untersuchung unterschiedlicher Wissenschaften - geleitet von der Frage, wie sich das Anwendungsproblem in ihnen ergibt - behauptet Zilsel:

¹⁰⁷⁰ Vgl. Zilsel (1916), Einleitung, insb. Kap. 3. Auf S. 20 behauptet Zilsel: „Nun will ich mich beileibe nicht in eine Diskussion darüber verwickeln, ob unser ‚Gesetz‘ a priori oder empirischen Ursprungs ist“.

¹⁰⁷¹ Zilsel (1916), S. 24.

¹⁰⁷² Vgl. Zilsel (1916), § 93.

¹⁰⁷³ Vgl. Zilsel (1916), S. 165-166.

[...] so können wir als radikalste Empiristen die Ergebnisse der letzten Paragraphen in dem Satz zusammenfassen: Alle Wahrheiten ausnahmslos sind induktive, lassen sich letzten Endes nur auf Erfahrung stützen, logische sowohl als mathematische als physikalische als psychologische.¹⁰⁷⁴

Am Ende des Buchs versteht sich Zilsel aber wieder ganz als Rationalist, wobei er „als rational [...] nicht den Inhalt irgendwelcher Theorien, sondern lediglich ihre restlose Bestimmtheit, ihre Präzision“ betrachtet.¹⁰⁷⁵

Diese Spannung, dieses Schwanken zwischen einem rationalistischen und einem empiristischen Standpunkt charakterisiert die Wahrscheinlichkeitsauffassung Zilsels von den Anfängen seiner Reflexion über dieses Thema im *Anwendungsproblem* bis zu seinen kritischen Äußerungen zu den Konzepten einiger Logischen Empiristen im Rahmen der 1929 ausgeführten und 1930/31 in *Erkenntnis* veröffentlichten Diskussion über Wahrscheinlichkeit¹⁰⁷⁶. Diese Thematik möchte ich nun näher beleuchten, denn die Frage der Wahrscheinlichkeitsauffassung, wie es aus den vorigen Kapiteln hervorgegangen ist, steht im engen Zusammenhang mit der Determinismusfrage.

Wie schon oben im Kap. 4 erwähnt, wurde die klassische, Laplacesche Wahrscheinlichkeitsauffassung im Laufe des 19. Jahrhunderts in mehreren Hinsichten kritisiert, und eine neue frequentistische Wahrscheinlichkeitsauffassung fing an, sich zu verbreiten. Diese empirische Wahrscheinlichkeitsauffassung lehnte das *a priori* Konzept von „gleichmöglichen Fällen“ ab, auf dem die klassische Wahrscheinlichkeitsauffassung basierte, und auch die Zurückführung der Wahrscheinlichkeiten auf ein Nichtwissen wurde zugunsten eines Konzepts der Wahrscheinlichkeit aufgegeben, das auf empirischem Wissen beruhte, und zwar v.a. auf den in der Blütezeit der Statistik beobachteten relativen Häufigkeiten. Wie bereits geschildert¹⁰⁷⁷, war die Infragestellung der klassischen Wahrscheinlichkeitsauffassung bei gleichzeitiger Entwicklung neuer Konzepte ein langer, allmählicher Prozess: die empiristischen Wahrscheinlichkeitsauffassungen von Ellis und Venn um die Mitte des 19. Jahrhunderts waren nur noch die ersten Schritte in der Entwicklung des Frequentismus; die reifere Version einer frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung seitens Fechners (seine *Kollektivmasslehre*) wurde erst 1897 veröffentlicht und blieb noch einem Wissenschaftler wie Boltzmann, der sich mit Wahrscheinlichkeiten gründlich beschäftigte, unbekannt. Als erste vollentwickelte Version des Frequentismus kann man vermutlich erst die Theorie betrachten,

¹⁰⁷⁴ Zilsel (1916), S. 165.

¹⁰⁷⁵ Zilsel (1916), S. 168.

¹⁰⁷⁶ *Erkenntnis*, I., S. 260-285.

¹⁰⁷⁷ Vgl. oben, § 4.c.

die Richard von Mises 1919 entwickelte – drei Jahre nach der Veröffentlichung des *Anwendungsproblems*.

Als Zisel 1915 im Rahmen seiner Dissertation seinen ersten „philosophischen Versuch über das Gesetz der großen Zahlen“ wagte (daraufhin arbeitete er interessanterweise ein Jahr lang als Versicherungsmathematiker), war die Diskussion über die Wahrscheinlichkeitsauffassung voll im Gange. Seit den 1880er Jahren tobte in Deutschland vor allem unter Psychologen die Debatte über die Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffs¹⁰⁷⁸, eine Diskussion, die auch die Frage um die Möglichkeit der Darstellung physiologischer und physikalischer Vorgänge mittels der Mathematik umfasste, und somit mit dem Anwendungsproblem in Verbindung stand. Dazu kamen nach der Jahrhundertwende um 1900 die Arbeiten von Mathematikern wie Emanuel Czuber (1906) und Heinrich Emil Timerding (1915), sowie jene der werdenden Logischen Empiristen Hans Reichenbach (1916) und Richard von Mises (1919a und 1919b). Auch ein experimenteller Ansatz zur Frage der Übereinstimmung der relativen Häufigkeiten mit mathematischen Wahrscheinlichkeiten verbreitete sich Anfang des 20. Jahrhunderts: so gab es etwa Würfelversuchen mit mehreren tausend Würfeln, die in diesem Rahmen experimentell ausgeführt wurden¹⁰⁷⁹.

Zisel bezieht sich in seinem *Anwendungsproblem* sowohl auf die Psychologen (insbesondere Sterzinger, Marbe, Meinong und von Kries), als auch auf die Arbeit der Mathematiker Czuber und Timerding: Meinong und Timerding hatten gerade 1915 wichtige Studien zur Wahrscheinlichkeit veröffentlicht, und Zisel widmet den III. Anhang seines *Anwendungsproblems* einer kritischen Besprechung ihrer Ergebnisse¹⁰⁸⁰. Die Spezialthemen innerhalb der allgemeinen Diskussion um die Wahrscheinlichkeit, an die Zisel in seinem *Anwendungsproblem* anknüpft, sind zum einen die Suche nach einer Begründung des Gesetzes der großen Zahlen und zum anderen das Verhältnis zwischen mathematischer Wahrscheinlichkeit und relativer Häufigkeit (d.h., das auf die Wahrscheinlichkeit bezogene Anwendungsproblem). Es ist das Gesetz der großen Zahlen, das laut Zisel die Brücke

¹⁰⁷⁸ Unter den in der Diskussion involvierten Psychologen waren Karl Marbe, Alexius Meinong, Othmar Sterzinger, Carl Stumpf und Johannes von Kries: Vgl. Kamlah (1987).

¹⁰⁷⁹ Vgl. Lenhard – Krohn (2005), S. 297: „Man könnte direkt von einer Blütezeit der Würfelversuche sprechen, in der wissenschaftliche Aufsätze beginnen konnten mit: ‚In der Zeit vom 17. Oktober 1905 bis zum 27. Februar 1906 habe ich mit 4 Würfeln 4320 Würfe ausgeführt, und zwar stets gleichzeitig mit allen 4‘“. Auf diese empirische Ergebnisse von Otto Meixner bezieht sich auch Zisel (1916), S. 3.

¹⁰⁸⁰ Vgl. Zisel (1916), Anhang III: „Zur neuesten Literatur: Meinong und Timerding“. So rechtfertigt Zisel diesen Anhang: „Während die vorliegende Abhandlung gedruckt wurde, sind neuerlich zwei Werke über die philosophischen Fundamente der Wahrscheinlichkeitsrechnung erschienen. Da also diese beiden Werke zum Teil die gleiche Problemgruppe behandeln wie die vorstehende Abhandlung, in deren Text aber nicht mehr berücksichtigt werden konnten, so mag ein Anhang versuchen, sich mit ihnen auseinanderzusetzen.“ (Zisel 1916, S. 180).

zwischen mathematischer Wahrscheinlichkeit und relativer Häufigkeit schlägt, indem es besagt, dass die zweite sich auf Dauer bzw. bei Massenerscheinungen der ersten asymptotisch annähert¹⁰⁸¹. Auf die empirische Bestätigung des Gesetzes der großen Zahlen beruft sich Zilsel, um gegen epistemische und apriorische Wahrscheinlichkeitsauffassungen zu argumentieren: die Wahrscheinlichkeit sei nichts Psychologisches (also, auch nicht mit dem Begriff der Erwartung zu verwechseln), nichts Logisches und nichts bloß Subjektives. Zilsel betont auch die Zirkularität jeder Wahrscheinlichkeitsauffassung, die auf dem Begriff von „gleichmöglichen Fällen“ beruht, sowie jedes Versuchs, das Gesetz der großen Zahlen durch Hinweis auf seine hohe Wahrscheinlichkeit zu beweisen (Zilsel 1916, Kap. 1-3). Drei Jahre vor der Veröffentlichung von Mises (1919a und 1919b), die dem Frequentismus eine reife, ausgearbeitete Form geben wird, und parallel zu der Arbeit Reichenbachs in eine ähnliche Richtung (darauf werde ich gleich zurückkommen) scheint Zilsel schon zu einer frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung zu neigen: er lehnt alle epistemischen und apriorischen Konzepte der Wahrscheinlichkeit ab; er behauptet, es wäre sinnlos über die Wahrscheinlichkeit eines einzelnen Ereignisses zu sprechen¹⁰⁸²; schließlich gibt er zögernd zu, er glaube, „dass es in gewissem Sinn nur mathematische Wahrscheinlichkeiten a posteriori gibt“¹⁰⁸³. Dementsprechend kommt er auch zu einer neuen Formulierung des Gesetzes der großen Zahlen, die (nach seiner Auffassung) keinen apriorischen Begriff enthält: „In Massenerscheinungen gibt es (nahezu) konstante Durchschnittsziffern“¹⁰⁸⁴.

Allerdings bremst die starke Tendenz des frühen Zilsels zu einem rationalistischen Standpunkt diese Neigung zu einer frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung. So steht er vor der Idee, die mathematische Wahrscheinlichkeit als relative Häufigkeit gleich zu *definieren* (was das Anwendungsproblems – „wie kann es sein, dass die relative Häufigkeit der mathematischen Wahrscheinlichkeit entspricht?“ - in eine Tautologie verschwinden lässt) skeptisch gegenüber: diese neue, frequentistische Definition der Wahrscheinlichkeit würde

¹⁰⁸¹ Dabei definiert Zilsel die mathematische Wahrscheinlichkeit und die relative Häufigkeit wie folgt: „Die Anzahl der günstigen Fälle gebrochen durch die Zahl aller möglichen (g/m) heisst nach Definition die ‚mathematische Wahrscheinlichkeit‘ eines Ereignisses“ (Zilsel 1916, S. 1). „Unter der relativen Häufigkeit eines Ereignisses A in einer Reihe von Ereignissen versteht man die Zahl der A's in der Reihe gebrochen durch die Zahl aller Glieder der Reihe“ (*Ibidem.*, S. 3).

¹⁰⁸² Diese typisch frequentistische Überzeugung begründet Zilsel aber anders als die andere Frequentisten durch Hinweis auf seine schon erwähnte „Lehre der Allverschiedenheit“ (vgl. Zilsel 1916, S. 16 und S. 131).

¹⁰⁸³ Vgl. Zilsel (1916), S. 12: „ich glaube selbst, dass ihre [d.h. der Wahrscheinlichkeit] zahlenmässigen [sic] Bestimmung immer schon grosse Versuchsreihen voraussetzt, dass es in gewissem Sinn nur mathematische Wahrscheinlichkeiten a posteriori gibt“. Viel dezidierter behauptet er beim Vergleichen seines Konzepts mit dem von Meinong im III. Anhang: „Meine Abhandlung kennt also nur aposteriorische Wahrscheinlichkeiten oder noch schärfer eigentlich nur relative Häufigkeiten“ (Zilsel 1916, S. 184).

¹⁰⁸⁴ Zilsel (1916), S. 13. Ich glaube aber, dass ein apriorisches Element nicht zu vermeiden ist, wenn es darauf ankommt, zu definieren, was eine „Massenerscheinung“ sei.

nämlich nicht mehr garantieren, dass die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses einen präzisen und gleichbleibenden Wert annimmt¹⁰⁸⁵. Auch lehnt Zilsel jegliche induktive oder empirische Rechtfertigung des Gesetzes der großen Zahlen ab, und möchte das Gesetz unbedingt ohne Hinweis auf Erfahrung beweisen¹⁰⁸⁶. Im „Zwischenkapitel“ des III. Teils seines Buchs geht Zilsel so weit in die rationalistische Richtung, dass er die Wahrscheinlichkeit nun plötzlich als ein logisches Verhältnis der „Involvenz“ zwischen zwei „Inhalten“ definiert (z.B. zwischen dem Inhalt „Würfelwurf“ und dem Inhalt „Dreierwurf“)¹⁰⁸⁷, und scheint somit fast eine logische Wahrscheinlichkeitsauffassung¹⁰⁸⁸ zu vertreten. Gleich daraufhin betont er aber, dass die mathematische Bestimmung seiner „Inhalte“ eigentlich *a posteriori* (durch Hinweis auf Häufigkeiten) erfolge, und ein großes Ausmaß an allgemeiner Erfahrung (z.B. darüber, wie Glücksspiele funktionieren und was überhaupt ein Glücksspiel sei, oder wie Körper wie Würfel fallen) hinter jedem Ansatz zur Wahrscheinlichkeit stecke¹⁰⁸⁹.

In seinem Lebenslauf, seinem akademischen Werdegang, ja nicht zuletzt in seinem Schwanken zwischen einem empiristischen und einem rationalistischen bzw. kantischen Standpunkt hatte Zilsel bis 1916 einen heimlichen deutschen Doppelgänger: Hans Reichenbach. 1891 (im gleichen Jahr wie Zilsel) in Hamburg geboren, studierte Reichenbach Physik und Philosophie (dieselben Fächer wie Zilsel) in Berlin, Göttingen und München¹⁰⁹⁰

¹⁰⁸⁵ Vgl. Zilsel (1916), S. 11-12.

¹⁰⁸⁶ Vgl. Zilsel (1916), S. 19-21. Subtil ist die Art und Weise, wie Zilsel hier eine unmittelbare empirische Rechtfertigung des Gesetzes der großen Zahlen ablehnt, indem er zeigt, wie dieses Konzept zu einer Aporie führt. Seine Lösung derselben Aporie präsentiert er dann auf S. 123. Insgesamt argumentiert Zilsel sehr überzeugend dafür, dass das Gesetz der großen Zahlen eine andere Art von Gesetz ist als etwa die Naturgesetze, deren Gültigkeit man empirisch und induktiv begründen kann.

¹⁰⁸⁷ Vgl. Zilsel (1916), S. 124.

¹⁰⁸⁸ „According to the logical interpretation, the theory of probability belongs to logic, and probability is a logical relation between propositions, more precisely one proposition describing a given body of evidence and another proposition stating a hypothesis. The logical interpretation of probability is a natural development of the idea that probability is an epistemic notion, pertaining to our knowledge of facts, rather than to facts themselves“ (Galavotti 2008, S. 420). Auch die logische Wahrscheinlichkeitsauffassung, wie die frequentistische, wurde ungefähr ab der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt, und zwar von Mathematikern und Logikern wie Bernard Bolzano, Augustus De Morgan und George Boole sowie von Ökonomen wie William Stanley Jevons und John Maynard Keynes. Letzterer veröffentlichte 1921 seinen *Treatise on Probability*, der 1926 auf Deutsch erschien und 1927 von Zilsel für *Die Naturwissenschaften* rezensiert wurde (Zilsel 1927b). Ab den späten 1920er Jahren und unter dem Einfluss von Wittgenstein wurde die logische Wahrscheinlichkeitsauffassung auch im Wiener Kreis, vor allem von Friedrich Waismann und Rudolf Carnap, vertreten. Auf diese Entwicklungen der 1920er Jahre werde ich zurückkommen.

¹⁰⁸⁹ Vgl. Zilsel (1916), S. 125-127.

¹⁰⁹⁰ Unter seinen Professoren waren die Physiker Max Planck, Max Born, Arnold Sommerfeld und Albert Einstein, der Mathematiker David Hilbert und der Neokantianer Ernst Cassirer. „Als Albert Einstein nach dem Ende des 1. Weltkrieges sein erstes Seminar über die Relativitätstheorie abhielt, zählte Reichenbach zu den fünf Hörern, die daran teilnahmen“ (Neubauer 1982, S. 3, Fußnote 2). Reichenbach wird sich 1920 mit einer Arbeit zu *Relativitätstheorie und Erkenntnis Apriori* (Reichenbach 1920) habilitieren, in dem er die Erkenntnistheorie Kants als empirisch widerlegt erklärt und nur noch einen abgeschwächten bzw. relativierten Apriorismus vertritt. Über die Kontakte Reichenbachs mit den damaligen führenden Physikern vgl. auch Engler (2007), S. 8. Zum

und promovierte schließlich 1915 (im gleichen Jahr wie Zilsel) in Erlangen mit einer Dissertation über *Den Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit* (also über ein ähnliches Thema wie das der Dissertation Zilsels). Diese Arbeit veröffentlichte dann Reichenbach Ende 1916 / Anfang 1917 in der *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*¹⁰⁹¹ (zur selben Zeit der Veröffentlichung des *Anwendungsproblems*). Ähnlich wie Zilsel versucht hierbei Reichenbach die Wahrscheinlichkeitstheorie inklusive des Gesetzes der großen Zahlen weder empirisch noch subjektiv, sondern transzendental zu begründen (er spricht von der Wahrscheinlichkeitsfunktion als von einem „metaphysischen Prinzip der Naturerkenntnis“). Ähnlich wie Zilsel unternimmt Reichenbach anhand des Wahrscheinlichkeitsbegriffs eine Kritik des deterministischen Kausalitätsbegriffs und erweitert den Begriff der Gesetzlichkeit um die statistische Gesetzmäßigkeit. Ähnlich wie Zilsel – und offensichtlich ebenfalls unter kantischem Einfluss¹⁰⁹² – stellt Reichenbach die Frage nach dem Verhältnis zwischen mathematischer Theorie und Wirklichkeit. Ähnlich wie Zilsel führt Reichenbach die Anwendung statistischer Gesetze auf eine unerschöpfliche Komplexität der Realität zurück, die nur durch eine asymptotische Annäherung und nie vollkommen bestimmt werden kann¹⁰⁹³. Viel stärker ist aber bei Reichenbach der Bezug auf die Physik, die im *Anwendungsproblem* Zilsels eine nebensächliche Rolle spielt, während sie in der Arbeit Reichenbachs den Ausgangspunkt darstellt¹⁰⁹⁴. Dementsprechend kommt bei Reichenbach der transzendentalen Deduktion von der Möglichkeit der Erkenntnis auf die Gültigkeit der statistischen Gesetzen auch ein physikalischer Sinn zu: Letztere sind wegen der Unentbehrlichkeit statistischer

Verhältnis zwischen Cassirer und Reichenbach und zur allmählichen Distanzierung Reichenbachs von den Neukantianern vgl. Engler (2007, §2 und 3).

¹⁰⁹¹ Vgl. Reichenbach (1916/17). Vgl. auch das „Autoreferat“, das Reichenbach 1919 über seine Dissertation für die Zeitschrift *Die Naturwissenschaften* schrieb (Reichenbach 1919). Interessanterweise fehlt aber schon in diesem Autoreferat jener starke Bezug auf Kant, der die Dissertation Reichenbachs charakterisiert. Zu diesen frühen Arbeiten Reichenbachs, die sogar in einer ganz der Wahrscheinlichkeitstheorie Reichenbachs gewidmeten Monographie (Neubauer 1982) vernachlässigt werden, vgl. Lenhard – Krohn (2005), § 5 und Engler 2007, §3.

¹⁰⁹² Was Zilsel betrifft, habe ich bereits die Ähnlichkeit zwischen seinem Anwendungsproblem, d.h. der Frage nach dem Realitätsbezug der Theorien mit der Kantischen Frage nach der Gültigkeit der Erkenntnis überhaupt hervorgehoben. Reichenbach beschäftigt sich dagegen mit dem Anwendungsproblem, u.a. indem er sich anhand der Kantischen Unterscheidung zwischen reiner und empirischer Anschauung mit dem Verhältnis zwischen „Setzungsurteilen“ der Mathematik und „Wirklichkeitsurteilen“ der Physik, sowie mit der Rolle des Apriori bei letzteren, beschäftigt (vgl. Engler 2007, S. 24-5).

¹⁰⁹³ Vgl. Engler (2007), S. 24-5.

¹⁰⁹⁴ „Während Zilsel auf das allgemeine Anwendungsproblem verwies, zu dem das Gesetz der großen Zahlen eine privilegierte Beispielinstantz darstellt, waren es für Reichenbach die empirischen Messungen und deren zufällige Fehler, die unausweichlich auf das Gesetz der großen Zahlen führten“ (Lenhard – Krohn 2005, S. 311). In meiner Rekonstruktion des Kontextes und der Inhalte des *Anwendungsproblems* kommt dem Gesetz der großen Zahlen in diesem Buch eine größere Rolle zu, als die, die Lenhard und Krohn hier anerkennen: trotzdem ist es tatsächlich so, dass in Zilsels Arbeit die sporadischen Verweise auf die Physik noch nebensächlich bleiben. Diese Einstellung Zilsels sollte sich allerdings bald ändern – wie wir sehen werden.

Approximationsverfahren bei jeder physikalischen Messung in *allen* physikalischen Urteilen enthalten¹⁰⁹⁵ und in *diesem* Sinne allgemeingültig und notwendig, wenn die Erkenntnis physikalischer Gegenstände und Vorgänge überhaupt möglich sein soll.

Weder überwiegend philosophisch (Zisel) noch ausgeprägt physikalisch (Reichenbach) ist die Behandlung der Wahrscheinlichkeit in zwei Artikeln des schon erwähnten Mathematikers Richard von Mises, der damit 1919 dem Frequentismus eine solide, systematische Basis verschaffte¹⁰⁹⁶. Insbesondere der zweite Artikel stellt den Versuch einer neuen, systematischen Grundlegung der Wahrscheinlichkeitsrechnung dar, die sowohl eine neue Definition der Natur und Aufgaben der Wahrscheinlichkeitsrechnung als auch eine Zurückführung derselben auf ein Axiomensystem umfasst. Die neue, Misessche Wahrscheinlichkeitsauffassung basiert auf dem von Mises eingeführten Begriff des „Kollektivs“: Die axiomatische Definition und die „Voranstellung“ dieses Begriffs *vor* dem der Wahrscheinlichkeit¹⁰⁹⁷ verleiht jener schon erwähnten frequentistischen Idee einen präzisen Ausdruck, laut der die Wahrscheinlichkeit eines Einzelereignisses nur anhand einer vorherbestimmten Reihe oder Klasse, zu der dieses gehört, in Betracht gezogen und bestimmt werden kann.

Mises teilte mit Zisel offensichtlich den brennenden Wunsch, jede subjektive und auf *a priori* festgelegten „gleichmöglichen Fällen“ basierende Wahrscheinlichkeitsauffassung vom Tisch zu räumen¹⁰⁹⁸. Zisel hatte aber andererseits gefürchtet, wie wir gesehen haben, dass eine rein empirische Rechtfertigung des Gesetzes der großen Zahlen keine Garantie bezüglich ihrer Geltung in der Zukunft (z.B. was die Durchschnittswerte der relativen Häufigkeiten betrifft) geben könne¹⁰⁹⁹. Mises bietet nun diesbezüglich einige „Garantien“, indem er zwei die Kollektive betreffende Axiome einfach postuliert. Eine Folge von Elementen ist laut Mises genau dann ein Kollektiv, wenn (I) die relative Häufigkeit eines bestimmten Merkmales unter

¹⁰⁹⁵ Über die Anwendung statistischer Methoden zur Approximation bei Messungen vgl. oben, §4.a.

¹⁰⁹⁶ Mises (1919a) und (1919b). Mises selbst betont, dass sein Ansatz zum Problem der Wahrscheinlichkeit weder philosophisch noch physikalisch sei, vgl. Mises (1919b), S. 55.

¹⁰⁹⁷ In Bezug auf seine Grundlegung der Wahrscheinlichkeitsrechnung betont Mises: „Als den entscheidendsten Punkt betrachte ich die Voranstellung des Begriffs ‚Kollektiv‘ vor den der Wahrscheinlichkeit, wobei das, was hier als ‚Kollektiv‘ bezeichnet wird, ein neu geschaffener, exakter Begriff ist, der etwa als mathematische Präzisierung des Fechner-Brunsschen ‚Kollektiv-Gegenstandes‘ angesehen werden kann“ (Mises 1919b, S. 54). Den Frequentismus von Fechner habe ich schon oben erwähnt (§4.c). Der deutsche Mathematiker und Astronom Heinrich Bruns (1848-1919) hatte 1906 das Buch *Wahrscheinlichkeitsrechnung und Kollektivmasslehre* veröffentlicht, in dem er ebenfalls eine frequentistische Wahrscheinlichkeitsauffassung entwickelt hatte. Mises hatte sich schon 1912 mit der Kollektivmaßlehre auseinandergesetzt: vgl. Mises (1912).

¹⁰⁹⁸ Vgl. Mises (1919b), S. 52, 53, 55, 62 und 64-65.

¹⁰⁹⁹ Man könnte behaupten, dass Zisel im *Anwendungsproblem* schließlich eine rein empirische Wahrscheinlichkeitsauffassung aus demselben Grund ablehnt, aus dem Kant die humesche, empirische Auffassung der Kausalität abgelehnt hatte.

den Elementen asymptotisch gegen einen Grenzwert strebt¹¹⁰⁰ und (II) dieser Grenzwert derselbe auch innerhalb zufällig ausgesuchten Teile des Kollektivs bleibt¹¹⁰¹. So kommt Mises zur folgenden Definition von „Kollektiv“:

*Ein Kollektiv ist eine unendliche Folge von Elementen mit zufallsartiger Zuordnung von Merkmalen an die einzelnen Elemente.*¹¹⁰²

Dieser zufällige Charakter der Elemente des Kollektivs in Bezug auf ihre Merkmale ist eine Eigenschaft der Kollektive, die schwierig zu definieren ist. Mises (1919b, S. 57-58) versucht eine operationalistische Definition zu schaffen: er schlägt drei „Verfahren der Auswahl zur Bildung von Teilfolgen“ des Kollektivs vor, die eine Regellosigkeit in der Auswahl der genannten, unendlichen Teilfolgen garantieren sollen; wenn die relative Häufigkeit des in Frage kommenden Merkmals innerhalb einer so konstruierten Teilfolge denselben Wert annimmt, wie im ganzen Kollektiv, sollte die Forderung nach dem zufälligen Charakter des Kollektivs bzw. nach der Regellosigkeit der Zuordnung seiner Elemente erfüllt sein. Die Definition der Zufälligkeit der Elemente eines Kollektivs wird aber eine der größten Schwierigkeiten des Frequentismus bleiben¹¹⁰³.

Jedenfalls schafft Mises durch den Begriff des Kollektivs eine rein formale, axiomatische Bestimmung des Wahrscheinlichkeitsbegriffes¹¹⁰⁴. Die frequentistische Auffassung der Wahrscheinlichkeit als relative Häufigkeit entstand aber, wie wir oben (§4.c) gesehen haben, aus einer *empiristischen* Einstellung. Der Bezug des Axiomsystems von Mises zur Erfahrung ist nicht unmittelbar, denn Mises bezieht sich in seinen Definitionen auf unendliche Folgen und unendliche Teilfolgen, sowie auf eine *asymptotische* Konvergenz der relativen Häufigkeiten gegen einen Grenzwert, der nur im Unendlichen erreicht wird: diese sind Begriffe, die kein unmittelbares Korrelat in der Erfahrung haben können. Im § 2 seines

¹¹⁰⁰ Vgl. die „Forderung I. Existenz der Grenzwerte“: Mises (1919b), S. 55-56. Diese Forderung ist mit der Postulierung der Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen „nahe verwandt“, wenn auch nicht identisch (vgl. *ibidem.*, S. 99).

¹¹⁰¹ „Denkt man an die Anwendung bei Glücksspielen, wo es ein seit altersher verfolgtes Problem ist, durch ein ‚Spielsystem‘ seine Gewinnstchancen zu verbessern, so kann man unsere Forderung II auch als das *Axiom von der Unmöglichkeit eines Spielsystems* bezeichnen“ (Mises 1919b, S. 58).

¹¹⁰² Mises (1919b), S. 58.

¹¹⁰³ Aus heutiger Sicht stellt Galavotti (2007, S. 125) fest: „[...] problems arise in connection with von Mises’s definition of randomness, which does not support a demonstration that there are random sequences [...]. Various authors, including Alonzo Church and Abraham Wald, have tried to improve von Mises’s definition to cope with this difficulty. However, a satisfactory definition of an absolute notion of randomness has not been produced“.

¹¹⁰⁴ „Durch die Forderungen I und II und die sie erläuternden Sätze [...] wird das, was wir im Aufbau der Wahrscheinlichkeitsrechnung unter *Kollektiv* verstehen, und zugleich unser *Wahrscheinlichkeitsbegriff* vollständig bestimmt. [...] Wir müssen uns mit der abstrakten *logischen Existenz* begnügen, die allein darin liegt, daß sich mit den definierten Begriffen widerspruchsfrei operieren läßt.“ (Mises 1919b, S. 60).

Artikels kümmert sich Mises also um „Die Beziehungen zur Erfahrungswelt“, die seine Wahrscheinlichkeitstheorie haben soll, und meint:

Die im § 1 definierten Begriffen des Kollektivs, der zufallsartigen Zuordnung und der Wahrscheinlichkeit entsprechen in der Erfahrungswelt ganz bestimmte *beobachtbare Erscheinungen*, als deren Abstraktion oder Idealisierung jene Begriffe gelten wollen. Der Zusammenhang zwischen unseren Definitionen und der Wirklichkeit ist derselbe wie der zwischen geometrischen Begriffen wie Körper, Fläche, Linie usf. und den ihnen entsprechenden Gebilden des empirischen Raume.¹¹⁰⁵

Gleich daraufhin weist Mises auf die empirische Bestätigung des Gesetzes der großen Zahlen¹¹⁰⁶ hin und behauptet, dass diese empirische Tatsache „in der Annahme der *Existenz eines Grenzwertes* für eine ins Unendliche ausgedehnte Wurfreihe einen angemessenen Ausdruck findet“¹¹⁰⁷. Andererseits vertritt Mises die Idee einer strikten Trennung zwischen mathematischer Theorie und Erfahrung:

Die Feststellung, ob ein Würfel ‚richtig‘ ist [...] ist nach unserer Auffassung so wenig eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung wie die Messung der Geschwindigkeit eines bewegten Körpers eine Aufgabe der theoretischen Mechanik. Derartige Feststellungen sind Sache des Versuches [...] Eine Aufgabe der Wahrscheinlichkeitsrechnung legt erst dann vor, wenn *gewisse Wahrscheinlichkeiten gegeben* oder als gegeben vorausgesetzt sind und *andere berechnet* werden sollen.¹¹⁰⁸

Der Ansatz von Mises zum „Anwendungsproblem“ unterscheidet sich hier also grundsätzlich von jenem Zilsels im gleichnamigen Buch: Zisel war von der „Tatsache“ eines Realitätsbezugs der Theorien ausgegangen und hatte nach dessen Möglichkeitsbedingungen gefragt; Mises konstruiert eine rein formale Wahrscheinlichkeitstheorie und fragt nach ihrer *Zweckmäßigkeit*¹¹⁰⁹ im Rahmen der Erfahrung.

In seinem Artikel beschäftigt sich Mises ausführlich mit den Anwendungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung, wobei ich insbesondere auf seine Überlegungen bezüglich der Physik kurz hinweisen möchte, denn Zisel wird in einem 1921 Artikel darauf

¹¹⁰⁵ Mises (1919b), S. 60.

¹¹⁰⁶ Im § 6 seines Artikels unterscheidet Mises zwischen dem Satz, der „in der neueren Literatur“ als Gesetz der großen Zahlen gilt, und der ursprünglichen Formulierung von Poisson. Wir brauchen hier auf diese Unterscheidung nicht weiter eingehen: Bemerkenswert ist nur, dass das „moderne“ Gesetz der großen Zahlen laut Mises einen „allgemeinen Erfahrungssatz“ darstellt, während Poisson einen analytischen Satz beweisen wollte (vgl. Mises 1919b, S. 91-92).

¹¹⁰⁷ Mises (1919b), S. 61. Es sei hier kurz nochmal erwähnt, wie die empirische Bestätigung des Gesetzes der großen Zahlen für Zisel (1916) keine hinreichende Begründung ihrer *allgemeinen und notwendigen* Geltung darstellte.

¹¹⁰⁸ Mises (1919b), S. 62.

¹¹⁰⁹ Vgl. Mises (1919b), S. 60, und zwar das Ende des §1 als Übergang zum §2.

zurückkommen. Laut Mises impliziert jede Anwendung der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf ein konkretes Problem „ein[en] zweimalige[n] Übergang zwischen Theorie und Wirklichkeit“¹¹¹⁰: erstens ergibt sich ein solcher Übergang bei der Feststellung der Ausgangswerte der Rechnung sowie zweitens bei dem Vergleich zwischen den Rechnungsergebnissen und dem Verlauf des konkreten, in Betracht gezogenen Vorgangs. Was physikalische Probleme betrifft, entwickelt Mises anhand dieser Unterscheidung einen differenzierenden Blick auf unterschiedliche Phänomene. Die Probleme der Thermodynamik bzw. der statistischen Mechanik ordnet er dem Gebiet der „theoretischen Physik“ zu: hier werden die Ausgangswerte rein hypothetisch und *ad hoc* eingeführt¹¹¹¹, während die Rechnungsergebnisse nicht direkt mit der Wirklichkeit verglichen werden können (z.B. kann man nicht prüfen, ob die Moleküle tatsächlich eine gewisse Geschwindigkeitsverteilung zeigen), denn „Hypothesen von physikalischer Natur liegen dazwischen“ (Mises 1919b, S. 64). Die Einführung der Ausgangswerte ist also zuerst in einem gewissen Sinne willkürlich und wird dann anhand der Ergebnisse der Theorie und ihrer Übereinstimmung mit der Erfahrung gerechtfertigt: in diesem Rahmen und mit dieser pragmatischen Berechtigung lässt Mises sogar den Begriff der „Gleichmöglichkeit“ wieder zu¹¹¹². Dagegen gehören physikalische Erscheinungen (wie z.B. die der brownischen Bewegung), „bei denen die Ausgangswerte der Rechnung durch tatsächliche Abzählung gewonnen (oder mindestens kontrolliert) werden“ in den Bereich der „statistischen Probleme“¹¹¹³. Solche physikalischen Probleme sind laut Mises derselben Art wie z.B. jene, die die Sterblichkeitsraten miteinbeziehen. Er betont, dass man bei der Behandlung solcher Probleme mit einer gewissen Ungenauigkeit rechnen müsse, die aus der Beobachtung bloß endlicher Folgen entstehe: da die mathematische Wahrscheinlichkeitsrechnung dagegen auf unendlichen Folgen (laut Definition des Kollektivs) basiert, sind Abweichungen der Rechnungsergebnisse von den empirisch festgestellten Ergebnissen zu erwarten. Eine solche Ungenauigkeit entspricht laut Mises etwa der unvollständigen Korrespondenz zwischen reiner und empirischer Geometrie

¹¹¹⁰ Vgl. Mises (1919b), S. 63.

¹¹¹¹ Vgl. oben, den §4.c und d., wo ich darauf hingewiesen habe, dass Wahrscheinlichkeitsverteilungen wie jene der molekularen Unordnung ohne mechanische Rechtfertigung und *ad hoc* z.B. von Boltzmann eingeführt wurden.

¹¹¹² „[...] z.B. die Annahme der Gleichmöglichkeit jeder Geschwindigkeitsgröße für alle Moleküle eines im ganzen ruhenden Gases [gehört] zu den hypothetisch eingeführten Teilen des physikalischen Bildes und die Berechtigung der Einführung wird an den Ergebnissen der Theorie geprüft“ (Mises 1919b, S. 63). Vgl. auch Mises (1918).

¹¹¹³ Vgl. Mises (1919b), S. 64.

und stellt insofern kein Problem dar, als man über statistische Methoden verfügt, die das Maß der Ungenauigkeit einschätzbar machen¹¹¹⁴.

Trotz seines überwiegend mathematischen Ansatzes beschäftigte sich also Mises, der ja Ingenieur und Professor für *angewandte* Mathematik war, von Anfang an intensiv mit der Anwendung seiner frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung auf die Physik¹¹¹⁵. Mises Bemühungen, seine Art des Frequentismus zu verfeinern und die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeit im Bereich der Physik zu erforschen, mündeten 1928 in die Veröffentlichung der ersten Ausgabe seines bekannten Buchs *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit*: der ganze letzte Teil (oder „Vortrag“) dieser Arbeit ist einer Untersuchung der Rolle der Wahrscheinlichkeit und der Statistik bei einer langen Reihe differenziert betrachteter physikalischer Phänomene gewidmet – von der Gastheorie zur radioaktiven Strahlung, bis auf die neuesten Entwicklungen der Quantentheorie. In diesem Rahmen bekennt sich Mises auch zum Indeterminismus bzw. bezeichnet den Determinismus als ein in der Physik herrschendes „Vorurteil“¹¹¹⁶.

Kehren wir nun aber zur Zeit um 1920 zurück, so merken wir, dass auch Reichenbach sich in dieser Zeit weiter intensiv mit der Rolle der Wahrscheinlichkeit in der Physik beschäftigte. Er veröffentlichte in den Zeitschriften *Die Naturwissenschaften* und *Zeitschrift für Physik* eine ganze Reihe von Artikeln über die Wahrscheinlichkeit und ihre Anwendung (Reichenbach 1920b, 1920c, 1920d, 1920e). Darin scheint die in seiner Dissertation noch verfolgte Suche nach einem transzendentalen oder „metaphysischen“ Prinzip durch das Postulieren eines Axioms ersetzt worden zu sein: gerade jene „Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitssätze“, die er - wie Zilsel - 1916 transzendental deduzieren wollte, erscheint nun in Reichenbach als „Axiom“¹¹¹⁷. Trotzdem führt Reichenbach (1920c) dann wieder eine transzendente

¹¹¹⁴ Vgl. Mises (1919b) S. 64.

¹¹¹⁵ Vgl. auch Mises (1918) und Mises (1920).

¹¹¹⁶ Vgl. Mises (1928), 6. Vortrag. Über den Indeterminismus von Mises vgl. Stöltzner (2003), Kap. 8.

¹¹¹⁷ Daraus, und aus einer ausführlicheren Analyse von Reichenbach (1920b und 1920c) schließt Engler (2007, S. 29-34) gleich auf eine „Abwendung Reichenbachs von der Kantischen Philosophie“ und zu dessen „Bekehrung“ zur Erkenntnislehre von Moritz Schlick. Es stimmt, dass der von Schlick hervorgehobene Begriff der „Zuordnung“ mathematischer Symbole gewissen Wahrnehmungen im Argument Reichenbachs eine wichtige Rolle spielt. Reichenbach verweist aber explizit auf die *Allgemeine Erkenntnislehre* Schlicks (Schlick 1915) nur einmal in Bezug auf den Begriff der „impliziten Definition“. Außerdem scheinen mir kantische Elemente bei Reichenbach immer noch durchaus präsent zu sein: Vgl. z.B. die folgende Stelle aus Reichenbach (1920b, S. 47): „In ihrer [= der Wahrscheinlichkeitsrechnung] Anwendung jedoch wollen die Wahrscheinlichkeitsgesetze wirkliche *Vorgänge* beschreiben, über *zeitliche Abläufe Bestimmtes aussagen*, und es muss deshalb noch *eine durch das Auftreten des Zeitbegriffs gekennzeichnete Axiomgruppe* geben, die die Anwendung der Wahrscheinlichkeitsgesetze auf wirkliche Vorgänge behandelt, und die wir deshalb als *Axiome der Anwendbarkeit* bezeichnen wollen. Im Gegensatz zu den mathematischen Axiomen lassen sie sich auch als *physikalische Axiome* bezeichnen, wenn man Physik im allgemeinsten Sinne als Wissenschaft von raumzeitlichen Vorgängen auffaßt“. Insbesondere wegen des Bezugs auf die Zeit scheinen die „Axiome“ Reichenbachs immer noch eher den „Grundsätzen“ der Kantischen *KrV* als z.B. den schon erwähnten Axiomen

Deduktion der Wahrscheinlichkeitsgesetze aus der Möglichkeit der Erkenntnis – und insbesondere aus der Möglichkeit *physikalischer* Erkenntnis¹¹¹⁸ – durch. Eine Stelle aus Reichenbach (1920c, S. 148) erinnert außerdem noch sehr stark an die Thesen Zilsels im *Anwendungsproblem*:

[Das Kausalprinzip] bezieht sich [...] auf die *gemessenen* einzelnen Bestimmungsstücke, deren eindeutige Abhängigkeit es fordert; es kann über den *irrationalen* Rest nur die Aussage machen, dass er sich mehr und mehr in einzelne kausalabhängige Bestimmungsstücke auflösen muß, ohne doch je erschöpft zu sein.¹¹¹⁹

Reichenbach (1920c) zeigt allerdings insgesamt noch eine gewisse Tendenz zum Determinismus: um überhaupt für möglich erklärt zu werden, dürfen die Wahrscheinlichkeitsgesetze aus seiner Sicht dem Kausalprinzip nicht widersprechen¹¹²⁰; auch beim Würfelspielen „zweifelt – laut Reichenbach (1920c, S. 146) – niemand daran, daß für den Einzelwurf eine Kausalkette aufzeigbar ist, die gerade zu diesem bestimmten Resultat führen mußte“.

Als Zisel 1921 einen Aufsatz über die Anwendung der Wahrscheinlichkeit in der Physik veröffentlicht (Zisel 1921), nimmt er jedenfalls nicht auf Reichenbach, sondern auf Mises Bezug¹¹²¹. Sein Ziel in diesem Aufsatz ist sehr anspruchsvoll: er möchte versuchen, „aus einer einzigen, neuen und rein mechanischen Grundannahme völlig exakt und widerspruchsfrei mit Hilfe statistischer Erwägungen die Irreversibilität abzuleiten“ (Zisel 1921, S. 118). Es geht also um die oben (§4.c. und 4.d.) schon betrachtete boltzmannsche Deutung der Entropie und um ihre verbesserte Versionen¹¹²². Zisel kann in diesem Rahmen in zweierlei Hinsicht an die Arbeit von Mises anknüpfen: erstens hatte Mises versucht, sich mit demselben physikalischen

von Mises zu ähneln. Außerdem wird die Gültigkeit der Wahrscheinlichkeitsgesetze immer noch transzendental deduziert (vgl. Reichenbach 1920c, §IV, wo Reichenbach außerdem die Kantische Philosophie ausdrücklich lobt).

¹¹¹⁸ Das Argument Reichenbachs kann in groben Zügen wie folgt rekonstruiert werden: physikalische Erkenntnis basiert auf der Möglichkeit, bestimmten Wahrnehmungen mathematische Komplexe zuzuordnen. Diese Zuordnung ist nur näherungsweise möglich, und der Begriff der Näherung des tatsächlich Gemessenen an einen mathematisch bestimmten Wert oder an eine Verwirklichung eines Gesetzes beruht wiederum auf der Statistik bzw. der Wahrscheinlichkeit (Reichenbach 1920c, S. 150-151).

¹¹¹⁹ Vgl. z.B. mit Zisel (1916, S. 157): „Das Irrationale wird durch fortschreitende Bestimmung so lange zurückgedrängt, bis es schließlich mit der [...] grossen Weltenunbekannten zusammenfällt, mit dem letzten irrationalen Rest, der nur immer weiter verringert, nie weggeschafft werden kann.“

¹¹²⁰ Vgl. Reichenbach (1920c), § I und II.

¹¹²¹ Hat Zisel 1921 Reichenbach noch nicht gekannt, obwohl er spätestens ab 1925 sehr regelmäßig Rezensionen gerade für *Die Naturwissenschaften* verfasste? Der erste mir bekannte Beweis einer Rezeption der Arbeit Reichenbachs seitens Zisel ist eine begeisterte Rezension, die Zisel eben 1925 für *Die Naturwissenschaften* über Reichenbachs *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre* schrieb.

¹¹²² Zisel (1921, S. 118) präzisiert: „Auf andere statistisch-physikalische Probleme außer dem Entropiesatz, insbesondere auf das Quantenproblem, wird die Arbeit nicht eingehen“.

Problem auseinanderzusetzen (Mises 1920); zweitens ist Zisel überzeugt, dass eine Lösung des physikalischen Problems nur über eine neue Grundlegung und Auffassung der Wahrscheinlichkeit möglich sei, und die Artikel von Mises (1919a und 1919b) liefern in der systematischen Form eines Axiomsystems eben eine solche.

Ausgangspunkt von Zisel sind wieder das Gesetz der großen Zahlen und das Anwendungsproblem, die er beide diesmal ausdrücklich auf die Physik bezieht:

Wenn also z.B. Boltzmann aus seiner Parallelisierung von Entropie und mathematischer Wahrscheinlichkeit folgert, daß in abgeschlossenen Systemen auch Entropieabnahmen stattfinden, aber wegen der großen Molekelzahl selbst in ungeheuren Beobachtungsperioden nur äußerst selten, so ist dies ganz richtig, aber nur unter der mathematischen unbeweisbaren Voraussetzung, daß die Natur nach dem Bernoullischen Theorem auch realiter konstruiert ist.¹¹²³

Wie wir oben (vgl. §4.c und §4.d.) gesehen haben, ging Boltzmann in seiner probabilistischen Erklärung der Entropie bzw. der Irreversibilität von der Voraussetzung eines chaotischen oder zufälligen molekularen Anfangszustands aus – was im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung einer Voraussetzung von *a priori* gleichen Wahrscheinlichkeiten entsprach¹¹²⁴. Wie oben schon angemerkt, war dies sowohl eine *a priori*, als auch *ad hoc* Voraussetzung, die auf keiner physikalischen bzw. mechanischen Erklärung basierte. Wie schon im *Anwendungsproblem* lehnt nun Zisel jegliche Wahrscheinlichkeitsauffassung ab, die auf dem *a priori* Begriff der Gleichmöglichkeit basiert, und betont, dass nur das Poissonsche Gesetz der großen Zahlen der rein mathematischen Wahrscheinlichkeit einen Realitätsbezug garantiert¹¹²⁵. Außerdem verlangt Zisel, wie erwähnt, dass die Irreversibilität aus einer „mechanischen Grundannahme“ abgeleitet werden müsse. Wenn der Wahrscheinlichkeit überhaupt eine physikalische Bedeutung zukommen

¹¹²³ Zisel (1921), S 121.

¹¹²⁴ Es sei an dieser Stelle wieder das folgende Zitat aus Boltzmann (1905 [1904], S. 361) erwähnt: „[Die Wahrscheinlichkeitsrechnung] ist zwar ebenso exakt, wie jede andere Mathematik, sobald der Begriff der gleichen Wahrscheinlichkeit gegeben ist. Aber dieser kann als Fundamentalbegriff nicht wieder abgeleitet werden, sondern ist als gegeben zu betrachten“.

¹¹²⁵ Zisel identifiziert das Bernoullische Theorem mit folgendem Satz: „Durch Vergrößern der Beobachtungszahl n läßt sich eine beliebig enge Annäherung der relativen Häufigkeit r eines Ereignisses an seine apriorische Wahrscheinlichkeit p beliebig wahrscheinlich machen“, und kommentiert: „Das Theorem macht also nur eine Aussage über die *Wahrscheinlichkeit* dieser Annäherung. So nahe sich aber auch diese Wahrscheinlichkeit der Einheit bringen läßt, so ist doch durch nichts garantiert, daß sich die empirische Realität irgendwie nach dieser rein mathematischen Wahrscheinlichkeit richtet, die ja bloß auf dem höchst anfechtbaren Begriff der gleichmöglichen Fälle basiert ist.“ (Zisel 1921, S. 119). Dass sich die empirische Realität nach der mathematischen Wahrscheinlichkeit richtet, garantiert laut Zisel (der dies schon im *Anwendungsproblem* behauptet hatte) nur das Poissonsche Gesetz der großen Zahlen, „das aussagt, die Annäherung der relativen Häufigkeit an die mathematische Wahrscheinlichkeit finde realiter statt“ (Zisel 1921, S. 120).

soll, dann ist laut Zisel eine empirische, realitätsbezogene Wahrscheinlichkeitsauffassung vonnöten.

Der Frequentismus von Mises (1919a und 1919b), der den Begriff der Gleichmöglichkeit und die subjektiven Wahrscheinlichkeitsauffassungen ablehnt, der die Wahrscheinlichkeit als Häufigkeit betrachtet und der die Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen postuliert (vgl. oben, seine „Forderung I“) schien Zisel offensichtlich zunächst als guter Kandidat für eine physikalisch inhaltvolle Wahrscheinlichkeitsauffassung: dementsprechend widmet Zisel den ganzen § 3 seines Artikels einer kritischen Untersuchung des misesschen Vorschlags. Als besonders problematisch erweist sich dabei, laut Zisel, die Forderung II des misesschen Axiomsystems: Zisel erkennt, dass Mises durch die Forderung II *de facto* eine Definition des Zufalls wagt¹¹²⁶, und zeigt, dass die von Mises vorgeschlagenen Auswahlverfahren von Teilfolgen in systematischer Hinsicht Schwierigkeiten bereiten¹¹²⁷. Auch der Versuch von Mises, aufgrund seiner Wahrscheinlichkeitsauffassung der statistischen Mechanik eine neue Grundlage zu geben (Mises 1920), wird von Zisel einen ganzen Absatz (§ 8) lang kritisch untersucht. Zisel behauptet hier, dass der Vorschlag von Mises (1920) im Vergleich zu den neueren Versuchen, die Voraussetzungen der statistischen Mechanik zu verbessern, sogar einen Rückschritt darstellt, und zwar einen Schritt zurück auf jene unbegründete Hypothese der Unordnung Boltzmanns, wobei Mises die Unordnung nun sogar zweimal postulieren würde¹¹²⁸. In Bezug auf Mises kommt also Zisel (1921, S. 124) zu dem Schluss, dass „seine Grundlagen für eine exakte Darstellung der Wahrscheinlichkeitsrechnung und statistischen Mechanik nicht brauchbar [zu sein scheinen]“.

Zisel überprüft in den §§ 4-9 auch andere Versuche, der statistischen Mechanik eine Grundlage zu geben: die Unordnungshypothese Boltzmanns, die Ergodenhypothese und ähnliche Hypothesen von Ehrenfest, Hertz, Szarvassi und anderen Physikern, sowie die statistische Mechanik von Gibbs. Während das Problem Letzterer sei, dass sie eine Ableitung und Begründung des zweiten Hauptsatzes einfach nicht ermöglicht, spürt Zisel bei allen anderen immer ein Element der Subjektivität in der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsauffassung auf – wobei er besonders vehement die mehr oder weniger versteckte Voraussetzung der „gleichmöglichen Fällen“ bekämpft:

¹¹²⁶ Vgl. Zisel (1921), S. 123: „Die Aufstellung des Postulats II erklärt sich also offenbar aus dem Bestreben, den einzigen Gegenstand der Wahrscheinlichkeitsrechnung, die ‚regellosen‘ Kollektive ohne Verwendung des höchst anrühigen Zufallsbegriffes zu definieren. In Wahrheit scheint aber Mises nicht die Schwierigkeiten dieses Begriffes, sondern nur das *Wort* Zufall umgegangen zu haben.“

¹¹²⁷ Vgl. Zisel (1921), S. 122-24.

¹¹²⁸ Vgl. Zisel (1921), S. 136.

Wenn wir also nunmehr an unsere Neubegründung der statistischen Mechanik gehen [...] so werden wir uns vor allem peinlich davor hüten müssen, irgendwo die gleichmöglichen Fälle oder den beobachtenden Physiker in die Ableitung einzuschmuggeln.¹¹²⁹

Wie schon erwähnt, möchte Zisel im zweiten Teil seines Aufsatzes der statistischen Mechanik eine eigene neue Grundlage schaffen und dabei versuchen, „aus einer einzigen, neuen und rein mechanischen Grundannahme [...] die Irreversibilität abzuleiten“. Seine mechanische Grundannahme nennt er „Allagodenhypothese“ (aus dem Altgriechischen Wort *allaghé*, d.h. „Abwechslung“): „Wir schreiben [...] dem System gewissermaßen eine Art Abwechslungsbedürfnis zu“¹¹³⁰. Es ist nicht schwierig, hinter diesem Begriff das indeterministische Weltbild des *Anwendungsproblems* wieder zu erkennen¹¹³¹. Zisel entwickelt erneut einen auf der Mengenlehre basierten mathematisch-logischen Kalkül durch, um zu beweisen, dass aus seiner Allagodenhypothese der zweite Hauptsatz folgt. Im abschließenden Absatz relativiert Zisel ein wenig die Bedeutung seiner Ergebnisse:

Im Grunde genommen hat sich aus der Allagodenvoraussetzung eigentlich nur folgender Satz ergeben: Wenn es einen gewissen Zustand gibt, in welchem ein statistisches System überwiegend lange verweilt, so nähert es sich diesem Zustand von jedem Ausgangszustand aus *sofort bei Prozessbeginn*. Durch welche physikalische Kennzeichen (Temperaturverhältnisse, Molekelgeschwindigkeiten, Schwingungszahlen usf.) dieser von uns bloß mathematisch charakterisierte „häufigste“ Zustand ausgezeichnet ist, haben wir nicht entschieden. Dies bedeutet indes methodisch keinen Fehler, sondern wohl einen Vorzug der dargelegten Theorie, denn es muß durchaus der Empirie überlassen bleiben festzustellen, wie dieser „Gleichgewichtszustand“ physikalisch aussieht.¹¹³²

Hier sind zwei Bemerkungen angebracht. Wie im *Anwendungsproblem* scheint Zisel zuerst nach einer empirischen, realitätsbezogenen Wahrscheinlichkeitsauffassung zu streben, um dann bei einem rein formalen Beweis zu landen. Im Vergleich zum *Anwendungsproblem* führt er aber keine transzendente Deduktion: Stattdessen legt er ein größeres Gewicht auf die Empirie, mit derer Hilfe festgestellt werden soll, wie einen bestimmten Zustand physikalisch zu betrachten ist, wobei durch den Vergleich der Ergebnisse des Kalküls mit der Empirie „gewisse Korrekturen“ „keineswegs ausgeschlossen“ sind (Zisel 1921, S. 151).

¹¹²⁹ Zisel (1921), S. 137.

¹¹³⁰ Zisel (1921), S. 148.

¹¹³¹ Zisel selbst verweist am Ende seines Aufsatzes auf sein *Anwendungsproblem* und vertritt erneut die These, dass aus der Allagodenhypothese (die offensichtlich den Satz der durchgreifenden Inhaltsabnahme ersetzt) die Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen folgt, die wiederum die Vorbedingung für die Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeitsrechnung auf die Natur sei (Zisel 1921, S. 153-54).

¹¹³² Zisel (1921), S. 151.

Die zweite Bemerkung betrifft den im Zitat angesprochenen Begriff des „Prozessbeginns“. Es war insbesondere die Irreversibilität, die Zilsel aus einer „rein mechanischen Grundannahme“ (der Allagodenhypothese) ableiten wollte. Aus der Allagodenhypothese folgt laut Zilsel, dass „die Entropie zunächst wachsen, später wieder abnehmen [müsse]“, und „dies besagt, dass die Allagodenhypothese einen Unterschied zwischen dem Prozeßbeginn und späteren Zeiten des Prozeßverlaufes macht“ (Zilsel 1921, S. 151). Kein reales System in der Natur – betont Zilsel – ist jemals abgeschlossen. Wenn wir von Anfangsbedingungen bzw. vom „Prozessbeginn“ sprechen, heißt dies, dass wir zu einem bestimmten Zeitpunkt das System isolieren: „Durch eine solche Isolation ist aber die Gleichberechtigung aller Zeitpunkte aufgehoben und *ein* Zeitpunkt ausgezeichnet: sie bedeutet den *Beginn* [...]“ (Zilsel 1921, S. 152). Hier wird von Zilsel – so könnte man sagen – jene im klassischen wissenschaftlichen Determinismus implizierte zeitliche Symmetrie durch eine pragmatische Einstellung gebrochen¹¹³³. Dementsprechend definiert Zilsel den Inhalt des Entropiesatzes als:

nicht formal und kausal, sondern material und *inkausal*; er sagt nichts aus über funktionale Beziehungen zwischen Parametern, sondern er stellt auf Grund der Erfahrung gewissermaßen eine Anfangskonstellation dieser Parameter fest. Er sagt nämlich aus, die Natur sei erfahrungsgemäß derart konstelliert, daß aus ihr irgendwo ausgeschnittene Teilsysteme vom Zeitpunkt ihrer Isolation ab allagodisch sich weiter entwickeln.¹¹³⁴

Somit bringt Zilsel den nicht-deterministischen Charakter des zweiten Hauptsatzes, d.h. eines fundamentalen Satzes der Physik, ganz klar ans Licht: erstens entspricht der Zweite Hauptsatz nicht der logischen Form der Kausalität; zweitens führt er – im Gegensatz zu den Differentialgleichungen – eine zeitliche Asymmetrie ein¹¹³⁵; drittens wird er von einer indeterministischen Grundannahme, der Allagodenhypothese, abgeleitet. Im Rahmen einer Einführung in die Naturphilosophie vertritt Zilsel 1928 außerdem explizit und klar die Position von Franz Serafin Exner:

¹¹³³ Mit dem Auslösen einer zeitlichen Asymmetrie durch das Eingreifen in natürliche Vorgänge wird sich Zilsel auch später beschäftigen: Vgl. Zilsel (1927a) und Zilsel (1928), S. 120-123. Auch Reichenbach interessierte sich in denselben Jahren für den Zusammenhang zwischen physikalischer Gesetzmäßigkeit und zeitlicher Asymmetrie: vgl. Reichenbach (1925).

¹¹³⁴ Zilsel (1921), S. 153; meine Hervorhebung.

¹¹³⁵ Mit dem Zusammenhang zwischen zweitem Hauptsatz und „Einsinnigkeit der Zeit“ wird sich Zilsel einige Jahr später wieder beschäftigen: Vgl. Zilsel 1927a. In diesem Aufsatz zieht er auch kurz die Quantentheorie in Betracht (vgl. Zilsel 1927a, S. 284), betont jedoch eher die Kontinuität zwischen Quantentheorie und klassischer Mechanik, und scheint insgesamt den Zweiten Hauptsatz und die „Einsinnigkeit der Zeit“, die dieser impliziert, viel interessanter und mehr untersuchungswürdig zu finden.

Alle beobachtbaren Grobvorgänge der Physik sind also als Durchschnitterscheinungen aufzufassen: alle gewöhnlich beobachtbaren Gesetzmäßigkeiten sind Groß- oder *Makrogesetze*, die bloß statistisch hervorgehen aus den Klein- oder *Mikrogesetzen*.¹¹³⁶

Er betont außerdem wieder die wesentliche Rolle der „Unordnung“ (durch diesen Begriff hat er inzwischen jene der „Allverschiedenheit“, des „Satzes der durchgreifenden Inhaltsabnahme“ und der „Allagodenhypothese“ ersetzt): auf „diese unausbleibliche Zerstreuung und Mischung“ bezieht er sich, wenn er behauptet:

Dieselbe Konstellation der Welt also, die die Natur erkennbar macht und die Auffindung der Makrogesetze ermöglicht, dieselbe zeichnet auch an der Zeit die eine Ablaufsrichtung vor der andern aus [...]¹¹³⁷

Zilsel hat also 1915 bis 1928 immer wieder Konzepte der „Unordnung“, der Abwechslung, sowie der Unwiederholbarkeit des Einzelnen vertreten und hierbei Theorien formuliert, bei denen diese Konzepte der Erkennbarkeit und der Gesetzlichkeit der Natur, sowie letztendlich der Existenz der Zeit zugrunde lagen: Dies scheint mir Grund genug zu sein, um Zilsel zu dem „Wiener Indeterminismus“ zu rechnen.

Nach 1921 arbeitete Zilsel kaum noch an der Entwicklung einer eigenen ausführlichen Theorie zur Wahrscheinlichkeitsauffassung und zur Anwendung der Wahrscheinlichkeit in der Physik: ob er von der Anerkennung der vielen Fehler im *Anwendungsproblem* entmutigt wurde¹¹³⁸ oder einfach seinen Forschungsschwerpunkt auf andere Themen verschieben wollte (vgl. unten, §7.d), lässt sich schwer sagen. Sein allgemeines Interesse an Wahrscheinlichkeitstheorien ist aber bis zum Ende der 1920er Jahre gut bezeugt. 1925 etwa fragt Zilsel in einer Rezension des Buchs vom Neukantianer Bruno Bauch über *Das Naturgesetz* rhetorisch:

¹¹³⁶ Zilsel (1928), S. 116. Zilsel bemerkt auch: „Ja, man braucht den Atomismus in seinen Folgerungen nur wirklich durchzudenken, um einzusehen, daß selbst eine so alltägliche Makroregelmäßigkeit wie das Hebelgesetz aus dem Verhalten der gegeneinander schwingenden und strahlenden Atome des Hebels nur statistisch hervorgehen kann“ (*Ebenda*). Komischerweise verweist Zilsel nicht auf Exner, der ja der erste (meines Wissens) gewesen ist, der die Vorstellung wagte, dass ein Gesetz wie das Fallgesetz ein Durchschnittsgesetz sei (vgl. Exner 1909, S. 18).

¹¹³⁷ Zilsel (1928), S. 122.

¹¹³⁸ Schon erwähnt habe ich die kritische Rezension des *Anwendungsproblems* seitens Hans Hahn (1917), der aber insgesamt das Buch positiv beurteilte. In einem von Raven und Krohn (2006/2007, Fußnote 71) auf Englisch wiedergegebenen Brief Zilsels an Reichenbach aus dem Jahr 1925 liest man: „By the way, my *Application Problem* contains a lot of mistakes. To make mistakes seems to adhere to the essence of philosophy; one only wishes to have a philosophical method in which right and wrong are discernible at all, and in which the mistakes are discovered as quickly as possible“.

Bricht Objektivität zusammen, wird Wissenschaft unmöglich, wenn in einem gesetzlichen, d.h. von Funktionen durchzogenen Kontinuum eine abzählbare Menge völlig ungesetzlicher Ausnahmefälle eingebettet ist? Oder wenn als Funktionsargumente nur statistische Mengen aus im Einzelfall völlig ungesetzlichen Exemplaren eingehen (Bohr!)?¹¹³⁹

Dabei bezieht er sich offensichtlich bereits auch auf die Quantentheorie bzw. Atomtheorie Bohrs, die in den folgenden Jahren durch die Quantenmechanik Heisenbergs und Schrödingers sukzessive ergänzt und verbessert wurde¹¹⁴⁰.

1927 bespricht Zinsel die deutsche Ausgabe des Buchs *Über Wahrscheinlichkeit* von Keynes, in dem die „Häufigkeitstheorie“ der Wahrscheinlichkeit zugunsten einer logischen Wahrscheinlichkeitsauffassung abgelehnt wird. In seiner Besprechung verteidigt Zinsel mit seinen üblichen Argumenten¹¹⁴¹ eine statistische Wahrscheinlichkeitsauffassung, gibt aber auch zu, dass der Frequentismus die Frage offen lässt, wie eine Übertragung der schon beobachteten relativen Häufigkeiten auf andere Fälle gerechtfertigt werden könne. Eine solche Übertragung würde nämlich auf einem induktiver Schluss basieren, aber – wie wir vom *Anwendungsproblem* wissen – die Induktion basiert laut Zinsel wiederum auf Häufigkeiten, also wäre eine solche Rechtfertigung zirkulär. So fasst also Zinsel die Lage zusammen:

Eine bloß statistische Theorie der Wahrscheinlichkeit, die der Induktion hilflos gegenübersteht, ist also wohl ebenso unzureichend wie eine apriorische, die sich vor der relativen Häufigkeit in Schweigen hüllt. Der große wissenschaftliche Wert des Buches von Keynes liegt daher [...] in seiner tiefdringenden Untersuchung der Induktion. Eine wirklich befriedigende philosophische Theorie der Wahrscheinlichkeitsrechnung wird aber wohl von einer *statistischen* Definition der Wahrscheinlichkeit auszugehen haben, wird jedoch mit den gewonnenen präzisen Begriffen unbedingt auch der Schwierigkeiten des Induktionsproblems Herr werden müssen.¹¹⁴²

¹¹³⁹ Zinsel (1925b), S. 409.

¹¹⁴⁰ Die Entwicklungen der neueren Physik inklusive der Anfänge der Quantenmechanik betrachtet Zinsel in (Zinsel 1928) und kommentiert sie, wie folgt: „Die Entdeckung neuer Tatsachen, der Aufbau und der Zusammenschluß der Theorien geht seit den letzten Jahrzehnten mit solcher Sturmeseile vor sich, daß es für den Physiker und Philosophen wahrhaft wieder eine Lust geworden ist zu leben“ (Zinsel 1928, S. 113). Die Hauptideen des *Anwendungsproblems* finden sich allerdings in diesem Aufsatz noch in kaum veränderter Form: wie schon erwähnt, spricht Zinsel hier von einer grundsätzlichen „Unordnung“ und behauptet immer noch, dass sie die fundamentale (d.h. nicht aus anderen Gesetzen ableitbaren) „Naturkonstellation“ und die notwendige Voraussetzung (er benutzt nicht mehr das Kantische Wort „Möglichkeitsbedingung“) der Erkenntnis überhaupt ist, weil sie die Induktion ermöglicht; auch seine Einschätzung des Gesetzes der großen Zahlen hat sich nicht verändert (vgl. Zinsel 1928, S. 116-120).

¹¹⁴¹ Darunter erscheint wieder das Anwendungsproblem: „[Keynes] geht aus von undefinierten apriorischen Wahrscheinlichkeiten, von undefinierten ‚vernunftgemäßen‘ Erwartungen, stellt über sie Axiome auf und erhält so eine Reihe von Sätzen. Was aber haben wir von diesen Sätzen, wenn durch *nichts* garantiert ist, daß sich z.B. Würfelresultate in großen Serien durchschnittlich nach ihnen richten? [...] fraglich ist [...], ob dieses Gebäude irgendeine Anwendung auf die Realität zuläßt“ (Zinsel 1927b, S. 868).

¹¹⁴² Zinsel (1927b), S. 869.

Eine logische Wahrscheinlichkeitsauffassung ist also laut Zilsel unbefriedigend, weil sie den Bezug zur Empirie (das Anwendungsproblem) unerklärt läßt; eine frequentistische ist zu bevorzugen, die aber noch durch eine angebrachte Theorie der Induktion ergänzt werden soll: es bliebe sonst unsere Erwartung ohne Rechtfertigung, dass die empirisch festgestellten Durchschnittswerte auch für andere Fälle oder in der Zukunft gelten müssen.

Vor diesem Hintergrund werden die Beiträge Zilsels zur bekannten Diskussion über Wahrscheinlichkeit verständlich, die 1929 im Rahmen der vom Verein Ernst Mach in Prag organisierten „ersten Tagung für Erkenntnislehre der exakten Wissenschaften“ durchgeführt¹¹⁴³ und in der ersten Nummer von *Erkenntnis* (1930/31) veröffentlicht wurde. Im Rahmen einer Sektion über „Wahrscheinlichkeit und Kausalität“ vertraten Reichenbach und Mises hierbei wieder ihre voneinander unterschiedlichen frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassungen¹¹⁴⁴, während Friedrich Waismann jene auch von Wittgenstein¹¹⁴⁵ und Carnap¹¹⁴⁶ unterstützte logische Wahrscheinlichkeitsauffassung vertritt (1930/31a) und verteidigt (1930/31b), laut der die Wahrscheinlichkeitswerte eine logische Nähe zweier Sätze ausdrücken.

Im Rahmen dieser Diskussion wiederholt Zilsel seine übliche Thesen: eine rein epistemische Wahrscheinlichkeitsauffassung, wie die logische, könne niemals die Tatsache der Konvergenz der relativen Häufigkeiten erklären¹¹⁴⁷; der Frequentismus hingegen lasse das Induktionsproblem offen; die Induktion müsse eine von „Abwechslung“, „Zufallsausgleich“, „Unordnung“ charakterisierte Naturkonstellation voraussetzen¹¹⁴⁸; das Anwendungsproblem sei bei alledem eine bis heute hin offene Frage, die endlich angegangen werden müsse: „Es ist

¹¹⁴³ Über diese Tagung vgl. Stadler (1997), S. 376ff.

¹¹⁴⁴ Vgl. Reichenbach (1930/31a) und (1930/31b) und Mises (1930/31a) und (1930/31b). Reichenbach (1930/31a) stellt eigentlich eine im Vergleich zu seinen Aufsätzen aus dem Jahr 1920 sehr gereifte Version seines Frequentismus dar (die Auffassung der Wahrscheinlichkeit als relative Häufigkeit stand nicht im Zentrum seiner Aufsätze aus dem Jahr 1920). Er knüpft an die Wahrscheinlichkeitstheorie von Mises an aber lehnt ihre axiomatische und deduktive Form im Grunde ab und entwickelt stattdessen seine eigene induktive und pragmatische Version des Frequentismus, die nun auch eine „Wahrscheinlichkeitslogik“ (mittels derer man Aussagen einen Wahrscheinlichkeitswert zuschreibt) umfasst. Mises (1930/31a) enthält eine ausführliche Kritik an dem deterministischen Konzept des Laplaceschen Dämons und ist hauptsächlich einer Widerlegung des Determinismus gewidmet.

¹¹⁴⁵ Vgl. Waismann (1967), S. 93ff. und S. 98ff. Der Text entspricht Notizen von Waismann, die er im Rahmen von Gesprächen mit Wittgenstein aufgeschrieben hatte, und die der Verfassung eines Buchs hätten dienen sollen, das eine systematische Darstellung der Philosophie Wittgensteins hätte anbieten sollen. Das Buch ist nie zustande gekommen und die Notizen wurden 1967 aus dem Nachlass Waismanns von Brian McGuinness herausgegeben.

¹¹⁴⁶ Vgl. Carnap (1930/31). Carnap wird sich später ausführlicher mit der Wahrscheinlichkeitstheorie beschäftigen und wird sowohl eine frequentistische als auch eine logische Wahrscheinlichkeitsauffassung nebeneinander gelten lassen (vgl. Carnap 1950).

¹¹⁴⁷ „Ich habe niemals verstanden, wie man durch noch so viele logische und mathematische Operationen aus Sätzen über Erwartungen herauspressen kann, was sich in einer Serie von Münzenwürfen wirklich ereignet“ (Zilsel 1930/31), S. 260.

¹¹⁴⁸ Vgl. Zilsel (1930/31), insb. S. 262.

nicht so wichtig, in welche Schachtel man das Anwendungsproblem hineintut. Aber bitte: irgendwo möge man es doch untersuchen!“¹¹⁴⁹

Doch scheint niemand der Diskutanten die Fragen Zilsels ernst zu nehmen: er bleibt zwischen den Blöcken des Frequentismus (Reichenbach, Mises¹¹⁵⁰) und der logischen Wahrscheinlichkeitsauffassung (Waismann, Dubislav, Carnap) mit seinem Ansatz isoliert. Was die Induktion betrifft, zeigte sich im Rahmen der Diskussion eine Tendenz zu einer rein pragmatischen Rechtfertigung¹¹⁵¹. Was das Anwendungsproblem angeht, musste Zisel im Rahmen einer Versammlung von Logischen Empiristen offensichtlich isoliert bleiben, denn die immer wieder von Zisel gestellte Frage nach dem Verhältnis zwischen Theorie und Wirklichkeit (bzw. Natur) aus ihrer Sicht aufgrund des in ihr enthaltenen „metaphysischen“ Begriffs der Wirklichkeit (bzw. Natur) sicherlich „sinnlos“ erscheinen musste.

Wieviel in dem konstruierten Zahlennetz der Theorie gehört der Natur an, wieviel bloß den Berechnungswünschen des konstruierenden Physikers? Ist das eigentliche Wesen der Natur erlebnisartig zu denken und ist also das Zahlennetz nur ein zu mehr oder weniger praktischen Zwecken von Menschen hergestelltes Darstellungsmittel, oder erfassen wir gerade in den Beziehungen der Rechnungsgrößen den innersten Kern der Welt? Oder ist es gar überhaupt sinnlos zu fragen, wem der „Kern“ der Natur „ähnelt“, so daß vielleicht beide Hälften unserer Doppelfrage nur leere Worte zusammenstellen?“¹¹⁵²

Dem aufmerksamen Leser vorliegender Arbeit wird nicht entgangen sein, wie dieses Zitat einem wichtigen roten Faden entspricht, der die bisher verfolgten Entwicklungen der Determinismusfrage durchzieht. Die meisten Vertreter des Logischen Empirismus in Berlin und in Wien hätten sich sicherlich für die letzte von Zisel in Form einer Frage erwähnte Lösung entschieden: die Frage, inwiefern und wieso Natur und Rechnungsgrößen bzw. Naturverlauf und Rechnungsergebnissen einander entsprechen, sei im Grunde eine sinnlose Frage¹¹⁵³. Hiergegen ließe sich mit Zisel einwenden: „Kein Leser wird hier die Lösung dieser

¹¹⁴⁹ Zisel (1930/31), S. 272.

¹¹⁵⁰ Die Unterschiede zwischen der Position von Mises und jener von Reichenbach möchte ich damit nicht unterschätzen: vgl. insb. Reichenbach (1930/31), S. 274-277.

¹¹⁵¹ Vgl. Reichenbach (1930/31a) und Neurath (1930/31), S. 277.

¹¹⁵² Zisel (1928), S. 115.

¹¹⁵³ Vgl. z.B. Mises (1930/31b, S. 279), der im Rahmen der Diskussion der einzige ist, der auf die Frage Zilsels eingeht: „Herr Zisel hat [...] wieder das ‚Anwendungsproblem‘ aufgeworfen. Da muß ich mich inkompetent erklären. Wenn ich aufrichtig sein soll, habe ich das Gefühl, daß hinter dem Wort ‚Anwendungsproblem‘ das steckt, was man mit Recht ein Scheinproblem nennt. Die Auffassung, daß es neben den Theorien für bestimmte Sachgebiete noch eine weitere Theorie darüber gibt, wie die Sätze der ersteren Theorie auf die Wirklichkeit angewendet werden können, scheint mit ein Analogon zur Lehre vom ‚Ding an sich‘ zu sein“. Reichenbach erweist sich in der Hinsicht erneut als ein mit Zisel gewissermaßen „verwandter Geist“, da er später dessen Frage wieder aufnehmen wird, um ihr einen ganzen Abschnitt seiner wichtigen *Wahrscheinlichkeitslehre* zu widmen (Reichenbach 1935, 9. Abschnitt). Über die Außenseiterrolle Zilsels innerhalb des Wiener Kreises vgl. Nemeth (1997), S. 159.

und vieler weit spezieller Probleme erwarten“¹¹⁵⁴ - was allerdings das Problem nicht automatisch sinnlos macht.

d. Der Wille zur Rationalisierung: Indeterminismus, Politik, Gesellschaft

In ihren Arbeiten haben Forman (1971) und Coen (2007) versucht, Einstellungen zur Determinismusfrage mit politischen Überzeugungen in Zusammenhang zu bringen: Forman hat sich hierbei auf den historischen Kontext der Entwicklung der Quantenmechanik bezogen, wobei er einerseits Determinismus und politisch-kulturellen Konservatismus sowie andererseits Indeterminismus und politisch-kulturellen Progressivismus in Verbindung gesetzt hat. Coen hat hingegen die schon erwähnte These vertreten, laut der die Orientierung an der Wahrscheinlichkeitstheorie und an den statistischen Gesetzen einen typischen Zug des österreichischen Liberalismus darstelle, dessen Anfänge weit ins 19. Jahrhundert zurückreichen.

Ich halte es für sehr schwierig, das Bestehen einer eindeutigen Beziehung zwischen Einstellungen zur Determinismusfrage und politischen Überzeugungen historisch oder systematisch zu beweisen: im Fall von Forman sind Gegenbeispiele (das eklatanteste ist Heisenberg) leicht zu finden, während Coen aus meiner Sicht die Repräsentativität der Familie Exner und ihres Kreises überschätzt, wenn sie ihre (sehr wertvolle) Forschungsergebnisse bezüglich dieser letzten auf eine ganze österreichische indeterministische liberale Tradition übertragen will. Trotzdem ist es möglich, zu zeigen, dass die Determinismusfrage – in Österreich und überhaupt – eine ideologische, gesellschaftliche und/oder politische Bedeutung annehmen konnte. Wir haben z.B. schon gesehen, wie dies im Rahmen der Reaktionen auf die *Ignorabimus*-Rede von Du Bois-Reymond oder im Falle des französischen katholischen Anti-Determinismus zum Ausdruck kam. Nun möchte ich den österreichischen Kontext fokussieren, in dem Zilsel sein Denken entwickelte, um dann zu behaupten, dass er die Determinismusfrage auch in einem gesellschaftlichen und politischen Zusammenhang behandelt hat. Dabei werde ich vor allem zwei Dinge zu zeigen versuchen: erstens, dass der Indeterminismus Zilsels ihn an einem Kampf gegen den Irrationalismus nicht gehindert hat; zweitens möchte ich anhand seiner Auffassung der Gesetzlichkeit historischer und sozialer Prozesse hervorheben, wie sein Indeterminismus zugunsten der Anerkennung der

¹¹⁵⁴ Zilsel (1928), S. 115.

Wissenschaftlichkeit der Sozialwissenschaften ins Spiel gebracht werden konnte. Zunächst ist es aber angebracht, diesem philosophischen Vorhaben eine historische Kontextualisierung vorausgehen zu lassen.

Während Zilsel immer noch das Franz-Joseph-Gymnasium besuchte, und der sogenannte „erste Wiener Kreis“¹¹⁵⁵ – zu dem die schon erwähnten Frank, Hahn und Mises gehörten – anfang, sich zu treffen, durchlebte Österreich eine Zeit massiver politischer und sozialer Veränderungen: 1907 genehmigte Kaiser Franz Josef die Gesetzesvorlagen zur Einführung des (so genannten) allgemeinen, gleichen, direkten und geheimen Wahlrechts in Österreich. Trotz des weiterhin bestehenden Ausschlusses von Frauen vom Wahlrecht und zahlreichen anderen Einschränkungen wurde dadurch die Wählerzahl stark erhöht – was dem raschen Zuwachs der neuen Massenparteien den Weg bahnte¹¹⁵⁶. Nach dem „Lagerbegriff“ Wandruszkas¹¹⁵⁷ kann die damalige politische Landschaft in drei „Lager“ gegliedert werden: das sozialistische, das konservativ-christlichsoziale und das liberal-deutschnationale. Es handelte sich um drei „konkurrierende *Weltanschauungen*“ (Kuprian 1997, S. 22), deren Zielsetzung nicht allein in der Vermehrung politisch-institutioneller Macht und in der Durchsetzung der Interessen von Parteiangehörigen lag: vielmehr ging es laut dem Historiker Ernst Hanisch darum, „Totalentwürfe der Gesellschaft“ mit Blick auf ein „Ganzes“ anzustreben. In den weltanschaulichen Entwürfen waren neben der Politik auch Wirtschaft, Sozietät, Kultur und das Alltagsleben inkludiert¹¹⁵⁸. Im Rahmen eines solchen Versuchs einer „totale[n] Vereinnahmung der Menschen“ (Kuprian 1997, S. 22) wuchs auch die direkte politische Bedeutung der Wissenschaft im Aufbau einer Weltanschauung an.

Zweifellos als politische Stellungnahme galt die ebenso im Jahr 1907 von Papst Pius X veröffentlichte *Enzyklika* „Pascendi dominici gregis“ (besser bekannt als *Syllabus*) gegen den Modernismus. Der steigende Einfluss der modernen Wissenschaft auf die Weltanschauung der Menschen erscheint hierin als eine der Hauptsorgen des Papstes¹¹⁵⁹. Die österreichischen

¹¹⁵⁵ Vgl. Haller (1985).

¹¹⁵⁶ Vgl. Kuprian (1997), S. 19-20, Ucakar (1995), S. 359ff. und Csendes (1989), S. 264-266.

¹¹⁵⁷ Vgl. Wandruszka (1977), Kap. 1, in dem der Autor diesen Begriff einführt, „um für ‚Bewegungen‘, ‚Parteien‘ und ‚Gruppen‘ einen umfassenden Ausdruck zu gebrauchen, der nicht nur durch den täglichen Sprachgebrauch gerechtfertigt erscheint, sondern auch den militanten Charakter des Phänomens gut zum Ausdruck bringt“ (S. 291). Vgl. auch Hanisch (1994), S. 117-153.

¹¹⁵⁸ Vgl. Hanisch (1994), S. 117: „Die österreichischen Parteien formierten sich rasch als Weltanschauungsparteien, die immer mehr wollten, als die Interessen ihrer Mitglieder politisch durchzusetzen und die Regierungsmacht zu erobern. Sie erhoben den Anspruch auf das ‚Ganze‘; es ging jeweils um Totalentwürfe der Gesellschaft, des Lebens. Alle Bereiche der Wirtschaft, der Sozietät der Kultur, des Alltags sollten einbezogen werden.“

¹¹⁵⁹ Vgl. insbesondere § 10.2., „De ordine inter fidem et scientiam“ und § 31f. („*quanto rerum naturalium studia vehementis fervent, tanto magis severiores altioresque disciplinae defluorint*“ – S. 247, Hervorhebung im Originaltext) der österreichischen kommentierten Ausgabe (Pius X 1908), die schon an sich eine aussagekräftige

Christlich-sozialen (sowie ihre Gegner) bekamen dadurch einen zusätzlichen Bezugspunkt, um im Rahmen der 1907-08 in ganz Österreich heftig geführten Debatten zur Freiheit der Wissenschaft und der Universitätslehre Stellung zu nehmen¹¹⁶⁰. Im Zentrum der politischen Auseinandersetzungen standen Wissenschaft und Ausbildung. Ausgetragen wurde der Konflikt an verschiedenen Orten und von verschiedenen Akteuren. An Universitäten, im Parlament sowie in der Öffentlichkeit nahmen Professoren, Studenten, Politiker sowie andere Bürger an Reden und Demonstrationen teil. Inhaltlich kann man in diesen Debatten zwei miteinander verbundene Hauptgegenstände erkennen: einerseits einen politisch-institutionellen Kampf zwischen Christlich-sozialen und den anderen zwei Lagern um die Ausbildung und die „Eroberung speziell der Universitäten“¹¹⁶¹; andererseits einen „Kulturkampf“ zwischen Kirchenlehre und Wissenschaft um die Weltanschauung der Bürger¹¹⁶². Diese Jahre müssen für Zilsel prägend gewesen sein: so erscheinen Spuren der damaligen Auseinandersetzungen in seinen Schriften, wenn etwa auf eine Konkurrenz zwischen religiösem und wissenschaftlichem Weltbild hingewiesen und „die Religion als Lückenbüßerin der Wissenschaft“ abgelehnt wird¹¹⁶³.

Im Rahmen einer „Kulturdebatte im Parlament“¹¹⁶⁴, die in drei Sitzungen vom 3. bis dem 5. Dezember 1907 stattfand, wurde auch die Determinismusfrage angesprochen. Der

Quelle für die Rezeption der *Enzyklika* in Österreich. Die erwähnten Paragraphen bezeugen den Eingriff des Papstes in die öffentlichen Institutionen für Wissenschaft und Ausbildung.

¹¹⁶⁰ Eine Rekonstruktion dieser Debatten und weitere bibliographische Hinweise dazu enthält Coen (2007), S. 238-243.

¹¹⁶¹ Laut einer Rekonstruktion der Zeitschrift der österreichischen Freidenker erzählte der christlich-soziale Wiener Bürgermeister Karl Lueger beim Katholikentag im November 1907 „was die Christlich-Sozialen in Österreich schon erreicht haben und was die christlich-soziale Partei, beziehungsweise der Klerikalismus noch zu erobern gedenken. Dr. Lueger führte aus: ‚Es ist viel erreicht worden, aber alles ist nicht erreicht. Es ist in meiner Vaterstadt Wien so weit schon gekommen, daß die Volksschule eigentlich kein Gegenstand des Streites mehr ist; einig wirken die Lehrer und Katecheten [...] und auch das Kreuzzeichen werden sie uns nicht mehr zu nehmen wagen. Aber wir haben noch andere große Arbeit zu leisten, es gilt die Eroberung speziell der Universität. Die Universitäten dürfen nicht weiterhin ein Boden für Umsturzideen, ein Boden für Revolution, ein Boden für Vaterlands- und Religionslosigkeit sein.‘“ (*Der Freidenker*, N.2, Jänner 1908, S. 107).

¹¹⁶² Vgl. Höttinger (1949) über den „Fall Wahrmond“ und die Rekonstruktion einer Kulturdebatte über „Theologie und Wissenschaft“ im Parlament in den Ausgaben der *Freidenker* von Jänner 1908, N. 2, bis August 1908, N. 15. Laut dieser Zeitschrift drehte sich „der Kampf vorzugsweise darum, ob ein Gegensatz zwischen der modernen Kultur und der theologischen, christkatholischen Weltanschauung besteht oder nicht“ (N. 14, Juli 1908, S. 107).

¹¹⁶³ „Der wissenschaftliche Geist der europäischen Neuzeit [...] ist stark genug, Wissenslücken männlich zu ertragen: er hat zu warten gelernt und weiß, daß Erkenntnis ein nie vollendeter Prozess ist. Wichtig wäre es, das auch ein gereinigtes *religiöses* Erleben Verwahrung einlegt gegen den Mißbrauch, die Religion als Lückenbüßerin der Wissenschaft zu verwenden. Beide Kulturgebilde haben wohl das gleiche Interesse, sich der Verschiedenheit ihres Ursprungs und ihrer Ziele zu erinnern. [...] Bedarf reine Religiosität der *Wissenslücken*, hat sie nicht Kraft genug, auch in *erkannten* Tatsachen ihr Heiliges zu finden?“ (Zilsel 1928, S. 128).

¹¹⁶⁴ Unter dem Titel „Theologie und Wissenschaft“ findet man in der schon erwähnten Zeitschrift der Freidenker Österreichs, *Der Freidenker*, eine Rekonstruktion dieser Debatte „nach dem stenographischen Protokoll“: vgl. *Der Freidenker*, N. 2, Jänner 1908, S. 9.

Abgeordnete Dr. Thomas Masaryk, Brentano-Schüler¹¹⁶⁵ und zukünftiger Mitbegründer sowie erster Staatspräsident der Tschechoslowakei, charakterisierte hierin wie folgt den Gegensatz zwischen „Wissenschaft bzw. wissenschaftlicher Philosophie“ und „Theologie“:

[...] die ganze Wissenschaft anerkennt die Gesetzmäßigkeit des Weltalls, der Natur, der Gesellschaft und der Geschichte. [...] Die Theologie und die kirchliche geistige Arbeit derselben basiert auf dem Glauben an die Autorität und betrachten die Natur, die Gesellschaft, die Geschichte als indeterminiert.¹¹⁶⁶

Masaryk, der sich sowohl mit der Philosophie der Wahrscheinlichkeit (Masaryk 1884), als auch mit den Grundlagen des Marxismus beschäftigt hatte (Masaryk [1899] 1964), vertrat damit die marxistische Überzeugung, dass auch die Gesellschaft und die Geschichte genau wie die Natur von einer Gesetzmäßigkeit charakterisiert sind. Sein Argument erinnert an die schon erwähnte Position von Haeckel und Ostwald als Freidenker und Monisten (vgl. oben, §6.a). Auch in Österreich waren Freidenker und Monisten ab dem späten 19. Jh. gesellschaftlich und politisch aktiv¹¹⁶⁷ und verfochten in den Jahren nach der Jahrhundertwende bis dem Ersten Weltkrieg ihre Positionen: wie etwa die Anerkennung der uneingeschränkten Gültigkeit der Naturgesetze, die Gleichsetzung des vernünftigen Denkens mit dem kausalen Denken, die Aufdeckung des illusorischen Charakters der menschlichen Freiheit, die Unmöglichkeit des Zufalls¹¹⁶⁸. Dieser Weltanschauung entsprach ein ideologisches und politisches Programm der durchgreifenden Säkularisierung der Gesellschaft und des Staates, des Pazifismus und der fortschrittlichen Reform der Gesellschaft (z.B. die Gleichstellung der Frauen mit den Männern und der unehelichen mit den ehelichen Kindern)¹¹⁶⁹.

¹¹⁶⁵ Über die Tätigkeit Masaryks als Philosoph vgl. Stadler (1997), S. 65, 85, und 120.

¹¹⁶⁶ Zit. in: *Der Freidenker*, N. 2, Jänner 1908, S. 10. Weiter findet man in den Ausgaben n: 8, April 1908, N. 9, Mai 1908 und N. 11, Juli 1908 einen interessanten Meinungsaustausch der Abgeordneten über Materialismus und Metaphysik.

¹¹⁶⁷ Über die Freidenker und die Monisten in Österreich vgl. Sertl (1994) und Stadler (1981).

¹¹⁶⁸ Unter den vielen möglichen Beispielen aus der Zeitschrift der Freidenker, *Der Freidenker*, vgl. folgende Stellen: „Die ganze Welt ist durch die moderne Wissenschaft als ein einheitliches großes Ganzes erkannt worden, als ein Kosmos, der durch feste Naturgesetze regiert wird. Dieser Kosmos umfaßt den unendlichen Weltraum und die darin nach festen Gesetzen sich bewegenden Weltkörper [...]; zugleich aber auch die Organismen [...]“ (N. 2, Februar 1905, S. 2). „Willensfreiheit (Indeterminismus). Gleich allen übrigen Funktionen des Gehirns (Empfinden, Vorstellen, Denken) ist auch das Wollen der Menschen eine physiologische Funktion [...]. Das alte Dogma der Willensfreiheit (Indeterminismus) erscheint daher unhaltbar und muß durch den Determinismus ersetzt werden“ (*Ebenda* S. 3). „[...] man gelangte zur Erkenntnis der *Naturgesetze*, der Grundlage aller großartigen, erhabenen Fortschritte auf allen Gebieten des menschlichen Schaffens ohne Ausnahme“ (N. 3, März 1906, S. 18). „Das, was wir ‚Zufall‘ benennen, das blinde Ohngefähr, ist eben nichts anderes als die unbekannte Ursache gewisser Erscheinungen [...]“ (N. 7, April 1910, S. 51. Der ganze Aufsatz ist eine Verteidigung des Determinismus).

¹¹⁶⁹ Das Programm, das die Freidenker (die keine politische Partei waren, auch wenn die Sozialdemokraten innerhalb Bewegung mit der Zeit an Gewicht gewannen) 1907 verfochten, umfasste die folgenden 12 Punkte:

Die schon erwähnte Rektoratsrede „Über Gesetze in Naturwissenschaft und Humanistik“ von Franz Serafin Exner ist vor diesem Hintergrund zu sehen. Auch Exner wollte die Wissenschaft vor dem Eingriff der Christlich-sozialen verteidigen¹¹⁷⁰ und vertrat die Überzeugung, dass menschliche Tätigkeiten und gesellschaftliche Entwicklungen einer Gesetzmäßigkeit gehorchen – und zwar einer *statistischen* Gesetzmäßigkeit¹¹⁷¹. Mit seinen Ansichten zur Determinismusfrage wandte er sich zugleich *gegen* das sozialistische Ideal einer gerechteren Güterverteilung: mit Hinweis auf jene Normalverteilung, die aus dem Gesetz der großen Zahlen resultiert, behauptete Exner in seiner Rektoratsrede, dass die Geschichte der Menschheit von Natur aus zu dem wahrscheinlicheren Zustand einer Ungleichförmigkeit tendiert,

bei welchem [...] ein mittlerer Wert am häufigsten, davon nach oben oder unten abweichende aber um so seltener vorkommen je mehr sie vom Durchschnitte sich entfernen. Darum die große Zahl der Durchschnittsmenschen in jedem Volke, denen nur wenige Genies aber auch nur wenige ganz tief stehende Individuen gegenüber stehen; darum auch in materieller Beziehung die Masse des Mittelstandes gegenüber den vereinzelt erscheinenden ganz Reichen und ganz Besitzlosen. Die völlig gleichmäßige Verteilung der geistigen wie der materiellen Güter wäre ein außerordentlich unwahrscheinlicher Zustand [...]¹¹⁷²

Der Lauf dieses Gedankenganges von Exner liefert ein ausgezeichnetes Beispiel dafür, wie ein physikalisches Weltbild zu einer Weltanschauung und letztlich zu einer politischen Ideologie ausgearbeitet werden kann: So kommt Exner etwa zu folgendem politischen Schluss:

„1.) Wege zur Hintanhaltung der Kriege und Mittel zur Beseitigung der Armeen. 2.) Allseitige Verpflichtung der Freidenker zum Kampf gegen alle Religionsbekenntnisse. 3.) Beseitigung der vom Staat gezahlten Missionare. 4.) Staatsmonopol der Schulen und Ausscheidung der Religionen. 5.) Verbot der Prozessionen und strenge hygienische Revision der Klöster und Wallfahrtsorte. 6.) Beseitigung des religiösen Schwures bei den Gerichten. 7.) Aufhebung sämtlicher Klöster überhaupt. 8.) Aufhebung der bestehenden Erleichterungen für Geistliche, rücksichtlich der Ableistung der Militärdienstpflcht. 9.) Absolute Gleichstellung der Frau mit dem Mann und Gleichberechtigung aller Kinder, auch der unehelichen. 10.) Ausschließliche Anstellung von Laienpersonen in die Humanitätsanstalten. 11.) Einführung der Feuerbestattung und der Zivilmatriken. 12.) Beseitigung sämtlicher Anordnungen und Paragraphen, welche die öffentliche Tätigkeit der Konfessionslosen unmöglich machen.“ (wiedergegeben in: Sertl 1994, S. 59).

¹¹⁷⁰ Vgl. Coen (2007), S. 246-247.

¹¹⁷¹ Vgl. Exner (1919), S. 695: „Bildet nicht auch der Mensch einen Teil der Natur? und ist nicht alle menschliche Tätigkeit ein Teil des Geschehens in der Natur? Sollten nicht auch hier die gleichen Tendenzen sich geltend machen? Fast möchte man es glauben und tatsächlich zeigt es sich überall, wo menschliche Tätigkeit kollektiv auftritt, eine Tendenz zu Gesetzmäßigkeit. [...] Es wäre wohl verlockend, die Wirkung des Gesetzes der großen Zahlen auch auf dem Gebiete menschlicher Tätigkeit zu verfolgen [...]“.

¹¹⁷² Exner (1908/09), S. 27. Wie wir sehen werden, wird Zilsel gegenüber dem Geniebegriff eine völlig andere, kritische und dekonstruierende bzw. ent-naturalisierende Haltung entwickeln.

Was Naturnotwendigkeit scheint, daß größte Armut und größter Reichtum zufällig nebeneinander bestehen, das sieht man häufig genug als Unrecht an und der Ruf nach ausgleichender Gerechtigkeit, womöglich nach völlig gleicher Verteilung des Besitzes, wird oft erhoben. Das wäre aber ebenso unvernünftig, als wollte man darüber klagen, daß die Ziegelsteine eines Neubaus nicht von selbst in die Höhe gehen.¹¹⁷³

Die Passage zeigt klar, das ein physikalisches Weltbild, welches wir (Stöltzner folgend) mit guten Gründen als indeterministisch bezeichnet haben, nicht notwendigerweise in eine irrationalistische Weltanschauung resultieren muss: Exner verweist auf Gesetze und appelliert ausgerechnet an die Vernunft, indem er das Ideal einer „ausgleichenden Gerechtigkeit“ als „unvernünftig“ bezeichnet.

Trotzdem waren Liberalen und Sozialdemokraten zu der Zeit, in der der Christlich-soziale und Antisemit Karl Lueger Bürgermeister von Wien war (1897-1910), und in der Edgar Zilsel seine frühe Bildung bekam, allgemein in einer Phase der Konvergenz bezüglich der Wertschätzung der Wissenschaft und der Ablehnung des Irrationalismus. Es war nämlich eine Art Irrationalismus jene, die von dem gemeinsamen Gegner Karl Lueger und von den Unterstützern seiner nationalistischen, antisemitischen und an konservativen und religiösen Werten orientierten Politik verkörpert und für die eigene Zwecke missbraucht wurde. So beschrieb der Schriftsteller Felix Salten eine typische rhetorische Aufführung Luegers:

Aber wie spricht er auch zu ihnen. Das Dröhnen ihres Beifalls löst erst alle seine Gabe. [...] In dem rasenden Anlauf, dessen sein Temperament fähig ist, überrennt er Vernunftgründe und Beweise, stampft große Bedeutungen in den Boden, schleudert dann wieder mit einem Wort Nichtigkeiten so steil empor, daß sie wie die höchsten Gipfel der Dinge erscheinen. [...] In seinem Rednerfuror, wenn ihm schon alles egal ist, fängt er freilich auch den Schimpf der Straße ein, reißt den Niederen und Geistesarmen alberne Sprüche des Aberglaubens vom Munde, schnappt selbst den Pfaffen die Effekte weg, die auf der Kanzel längst versagen wollten – aber er siegt mit alledem.¹¹⁷⁴

Mit seinem vorangetragenen Irrationalismus verfolgte Lueger ganz bewusst populistische Zwecke, verdankte er doch den eigenen politischen Aufstieg weithin seiner rabiatischen Opposition gegen die rationalistische, urbane, kapitalistische, moderne und wissenschaftsorientierte liberale Tradition, die er für die große wirtschaftliche Krise des späten 19. Jahrhunderts erfolgreich verantwortlich gemacht hatte.

¹¹⁷³ Exner (1909), S. 40. Dagegen ließe sich leicht einwenden, dass der Sozialismus gerade *deswegen* für eine abgezielte und absichtliche Umverteilung der Güter plädiert, weil die ‚spontane‘ Verteilung der Güter der in ihm enthaltenen Vorstellung der Gerechtigkeit nicht entspricht. Um die Metapher Exners zu benutzen: gerade deswegen, weil „die Ziegelsteine eines Neubaus nicht von selbst in die Höhe gehen“, muss man sie hochziehen, wenn man ein Haus bauen will!

¹¹⁷⁴ Aus: Felix Salten, *Das österreichische Antlitz* (1910), zit. In: Csendes – Oppl (2006), S. 235.

Die österreichischen Liberalen hatten sich schon ab den 1860er Jahren für eine Aufwertung der Naturwissenschaften im Rahmen der bürgerlichen Ausbildung und für eine entsprechende Reform der *curricula* erfolgreich engagiert¹¹⁷⁵. Dem liberalen Weltbild nach stellte die Wissenschaft einen wesentlichen Teil humanistischer Ausbildung dar und deren öffentliche Förderung hätte gleichermaßen gegen den „bürokratischen Absolutismus“ sowie gegen den „klerikalen Dogmatismus wirken sollen“¹¹⁷⁶. Nach der Krise des Liberalismus in den letzten Dezennien des 19. Jahrhunderts wurden die reformistischen Ambitionen der Liberalen bezüglich der Ausbildung der österreichischen Bürger in vielen Hinsichten von dem linken „Kulturlager“ geteilt und beerbt¹¹⁷⁷, und mündeten im Zusammenhang mit der österreichischen „Spätaufklärung“¹¹⁷⁸ in die Initiativen für Schulreform und Volksbildung. Als ausgebildeter Lehrer für Physik und Philosophie war Zilsel ab 1916 an vielen diesen Initiativen, so etwa der Volksschule und der Lehrerbildung, aktiv beteiligt.

¹¹⁷⁵ 1867 hob die liberale Zeitung *Neue Freie Presse* eine interessante österreichische Spezifität in dieser Hinsicht hervor, wie Coen (2007) berichtet: „...Austria had ‘clearly and sharply’ rejected the educational models of Britain and Germany. The German *Gymnasium* devoted over half of classroom time to studies of the classics, the Austrian *Gymnasium* less than a third. [...] Austrian distinct advantage over its European challengers on the battlefield of education lays in its modern curriculum, in the teaching of natural science not merely alongside the classics but as an integral part of a humanistic education.” (Coen 2007, S. 81). In dem Zitat fasst Coen den Inhalt eines Artikels der *Neuen Freien Presse* zusammen: der Ausdruck in Anführungszeichen ist aus der *Presse* entnommen. Coen (2007) richtet viel Aufmerksamkeit auf die liberalen Vorstellungen und Ideale bezüglich der Ausbildung und auf das entsprechende institutionelle Engagement der österreichischen Liberalen (vgl. vor allem Kap. 1-3). Die Spezifität der österreichischen Liberalen in dieser Hinsicht ist aber teilweise zu relativieren: Daums Buch über die Wissenschaftspopularisierung in *Deutschland* im 19. Jh. weist darauf hin, dass diese ebenso mit der Entwicklung des deutschen Bürgertums und des deutschen Liberalismus zusammenfiel (Daum 2002, vgl. vor allem die Einleitung und das Kap. 2).

¹¹⁷⁶ Vgl. Coen (2007), S.79: “As a part of humanistic education, natural science was a means of cultivating a liberal character. This emphasis was part of the liberals’ critique of bureaucratic absolutism. [...] ...with the beginning of the constitutional rule in the 1860s...could Austrian liberals make their aims for science explicit. In the 1860s Austrian liberals embraced natural science once again as a means of inoculating the public against clerical dogmatism.”

¹¹⁷⁷ Vgl. Hachoen (2009), S. 391: „The socialists claimed the liberal legacy. Already around the turn of the century, socialists and liberals began collaborating on cultural questions such as school reform and popular education (*Volksbildung*), and constituted a united anticlerical front. The Viennese progressive provided a bridge between the liberals and socialists. Most were...heavily but not exclusively Jewish, open to democracy, supportive of economic planning and social legislation. They shared with the socialists a belief in the blessings of scientific culture, and the building of municipal socialism in interwar Red Vienna proved a solid terrain for their collaboration.“. Über die Konvergenz zwischen Liberalen und Sozialdemokraten vgl. auch Stadler (1981, S. 444; und 1997, I. Teil, Kap. 5) und Coen (2007), S. 338.

¹¹⁷⁸ Vgl. Stadler (1981); (1982), II. Teil; (1997), I. Teil, Kap. 5. Der Begriff der „Spätaufklärung“ bezieht sich auf „zahlreiche neolibérale Strömungen und Vereine am Rande und innerhalb des ‚linken Lagers‘ (der sozialdemokratischen Kulturbewegung) [...], die wegen ihrer programmatischen Homogenität, ideologischen Verwandtschaft und personellen Verflechtung einheitlich als Syndrom einer ‚Spätaufklärung‘ beschrieben werden können [...]: Allen diesen Bewegungen war eine humanitär-kosmopolitische Grundhaltung, eine extreme Fortschritts- und Vernunftorientierung sowie eine sozial- und lebensreformerische Ausrichtung gemeinsam. Des Weiteren arbeiteten diese Gruppierungen in Theorie und Praxis an einem antimetaphysischen Weltbild und einer Ethisierung des Alltags mit nichtrevolutionärer Strategie, was ihrer vorwiegend radikalbürgerlichen Grundhaltung entsprach.“ (Stadler 1997), S. 210.

Zilsels erste beide Bücher (*Das Anwendungsproblem* und *Die Geniereligion*), welche die Anfänge einer akademischen Karriere hätten sein können, wurden während des Ersten Weltkriegs geschrieben, was man nahezu vergisst: so wenig direkte Hinweise auf den Krieg sind in ihnen enthalten. Bei genauer Betrachtung lassen sich allerdings durchaus Spuren einer Auseinandersetzung mit den damals gesellschaftlich und politisch relevanten Fragen um „Gesetzmäßigkeit vs. Gesetzlosigkeit“ und „Rationalismus vs. Irrationalismus“ finden¹¹⁷⁹. Das oben schon analysierte Buch über *Das Anwendungsproblem* (1916) enthält insbesondere ein Kapitel „Zur Geschichte des Paares Rational-Irrational“¹¹⁸⁰, in dem Zisel klar macht, dass dieser Gegensatz in der Geschichte der Philosophie

nicht nur konstatiert, sondern auch gewertet wurde, dass er als ein Gegensatz von Wertvollem und Wertlosem, wenn nicht gar Schlechtem gefasst wurde, so dass er neben seiner Bedeutung für die theoretische auch eine für die praktische Philosophie gewinnen konnte.¹¹⁸¹

In seiner historisch-philosophischen Rekonstruktion bemerkt Zisel, wie die Rationalisten alles Irrationale, Unpräzise und Unbestimmte als etwas „Böses“ immer betrachtet haben¹¹⁸². Am Ende des Kapitels erinnert Zisel daran, dass „in neuerer Zeit“ eine Art Umkehrung im Vergleich zum rationalistischen Bild durch einige Philosophen (er erwähnt Nietzsche, Vaihinger, Boutroux, Bergson) stattgefunden habe: Sein und Wirklichkeit werden hier dem Irrationalen zugeschlagen, während man das Rationale zur Fiktion degradiert¹¹⁸³. Ohne weitere Kommentare schließt Zisel das Kapitel mit der trockenen Bemerkung ab:

Dass mit dieser Umstülpung des Platonismus auch die Wertung des Paares sich umkehrte und Rationalität als „Todesstarrheit“ zum Radikal-Bösen gestempelt wurde, ist erklärlich (Bergson).¹¹⁸⁴

Wir wissen aber (vgl. oben, §7.b), dass Zisel zu diesem Zeitpunkt eine gewisse, wenn auch schwankende Vorliebe für den Rationalismus hatte, dass er sogar behauptete, jeder Philosoph solle ein Rationalist sein:

¹¹⁷⁹ Das zweite Buch Zilsels, *Die Geniereligion* (Zisel [1918] 1990), wird von Dvořák (1990) sehr gut in den damaligen historischen und kulturellen Kontext eingebettet.

¹¹⁸⁰ Zisel (1916), III. Teil, II. Abteilung, 1. Kapitel.

¹¹⁸¹ Zisel (1916), S. 134.

¹¹⁸² Vgl. z.B. Zisel (1916), S. 137: „Ich glaube wirklich, dass man sich nicht allzusehr wundern darf, bei den antiken metaphysischen Rationalisten in allen möglichen Verkleidungen die Unpräzision als das Radikal-Böse vorzufinden. Diese Philosophen scheinen mir unter dem schwankenden, breiartigen, unpräzisen Charakter der Welt zu *leiden*. Ich möchte sie mit Kurzsichtigen vergleichen, die sich nach scharfen Brillen sehnen“.

¹¹⁸³ Vgl. Zisel (1916), S. 145.

¹¹⁸⁴ Zisel (1916), S. 145.

Er [der Philosoph] will aus dem ungenauen, ineinander verfließenden *Brei* der Umwelt, die auch immer etwas anders sein könnte als sie ist, sich auf einen sicheren und exakten Felsen retten, auf dem er ruhen, zuschauen und RECHT HABEN kann. Wo ist der Felsen zu finden?¹¹⁸⁵

Zilsel begibt sich dann über die Länge eines ganzen Kapitels¹¹⁸⁶ auf die Suche nach diesem „Felsen“ und kommt – wie schon erwähnt – zu dem Schluss, dass alles – inklusive Mathematik und Logik – einen empirischen Charakter bzw. einen empirischen Ursprung habe, und somit kontingent und ungewiss sei, außer „[der] reine[n] Rationalität, nämlich [...] der Präzision“ (Zilsel 1916, S. 152). Im Laufe dieses Versuchs Zilsels, „das Rationale [...] dem Feinde nicht preis[zu]geben“ (*Ebenda*), wird klar, dass es hier nicht mehr um eine rein erkenntnistheoretische Streitigkeit zwischen Rationalismus und Empirismus geht: in rein erkenntnistheoretischer Hinsicht scheint Zilsel im Gegenteil, oft zum Empirismus zu tendieren (z.B. bei seiner Wahrscheinlichkeitsauffassung, wie wir gesehen haben). Mit den „metaphysischen“ Rationalisten teilt er auch nicht die Überzeugung, dass die Realität an sich rational wäre: wir haben ihn als Indeterministen auch aufgrund seiner These bezeichnet, dass die Wirklichkeit primär chaotisch und irrational sei. Die Art Rationalismus, die er aber plötzlich leidenschaftlich verteidigt, könnte man als ‚Rationalismus des Willens‘ bzw. als ‚Wille zur Rationalisierung‘ bezeichnen, und sie markiert den Übergang von einem erkenntnistheoretischen zu einem ethischen Diskurs: „Das Rationale ist nicht gegeben, sondern aufgegeben [...] Nicht vom Rationalen sollten wir reden, sondern von der Rationalisierung“ (Zilsel 1916, S. 157), und diese Rationalisierung betrachtet Zilsel als absolutes „Ziel. Der Philosoph setzt voraus, dass dieses Ziel erstrebenswert ist“¹¹⁸⁷.

Zum Ideal der Objektivität und der Präzision bzw. zum „Ideal der Sache“ verpflichtete sich Zilsel erneut in seinem zweiten frühen Buch, das zwei Jahre nach dem *Anwendungsproblem* erschien: *Die Geniereligion. Ein kritischer Versuch über das moderne Persönlichkeitsideal, mit einer historischen Begründung* (1918)¹¹⁸⁸. In diesem Buch betrachtet Zilsel „das moderne Persönlichkeitsideal“ in Form einer historischen, systematischen und psychologischen Untersuchung, die auf eine ‚Entzauberung‘ des zur damaligen Zeit verbreiteten

¹¹⁸⁵ Zilsel (1916), S. 146. Großbuchstaben im Originaltext.

¹¹⁸⁶ Zilsel (1916), III. Teil, II. Abteilung, 2. Kapitel.

¹¹⁸⁷ Zilsel (1916), S. 169; Hervorhebung im Originaltext. Über den Begriff der „Rationalisierung“ bei Zilsel und die Rolle der Rationalisierung in seiner Philosophie vgl. auch Wulz (2011).

¹¹⁸⁸ Eine aufmerksame und interessante Analyse dieses Werks bietet Nemeth (1997).

„Genieenthusiasmus“ abzielte¹¹⁸⁹. Im ersten Teil des Buchs zerlegt Zilsel systematisch die „Geniereligion“ in einige „Dogmen“ und analysiert deren Verhältnis zueinander. Der zweite Teil des Buchs ist hauptsächlich einer psychologischen Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Dogmen und der menschlichen Erfahrung gewidmet: Zilsel versucht hierin zu klären, welchen psychologischen und emotionalen Bedürfnissen die Genieverehrung entgegenkommt. Erst im dritten Teil des Buchs kommt Zilsel zu seinem „Ideal der Sache“¹¹⁹⁰. In diesem Teil beschäftigt er sich mit dem interessanten Konzept einer „Rationalisierung“ der „Werterlebnisse“, die durch eine solche zu „Werturteilen“ werden¹¹⁹¹. Diese Rationalisierung ergibt sich, wenn „verschwommene Wertgefühle, wie Ehrfurcht und Inbrunst“ zu präzisen Werturteilen werden, die nicht mehr bloß subjektiv sind, nicht mehr bei einer sachlichen Überprüfung leicht „abfärben“¹¹⁹² und sich nicht ausschließlich auf eine Person beziehen, sondern auf ein Ziel. Das zu verfolgende Ziel bleibt für Zilsel genau dasselbe, das ihm im *Anwendungsproblem* vorschwebte, und zwar ein metaphysisches:

Welches Streben vermag also einen Weg bis in die Metaphysik zu weisen, welches ist das absolute Ziel, das als Sieger aus der Zersetzung aller Wertmaßstäbe hervorgehen kann, und wo ist vor allem der Beweis seiner Gültigkeit, der jedem Zweifel und jeder Prüfung standzuhalten vermag? Dieser Beweis und dieses Ziel wird sich nirgends finden lassen, wenn nicht im Zweifel, in der Prüfung selber. Und wirklich muss jede Prüfung schon ein Ziel voraussetzen: wer zweifelt, will sich aus nebelhaftem Schwanken zur Starrheit durchdringen; man kann nicht prüfen, wenn man nicht glaubt, daß es einen Sinn hat, nach *Wahrheit* zu suchen, wenn man nicht voraussetzt, daß Rationalität und Konsequenz, d.h. aber *Präzision* ein erstrebenswertes Ziel ist. [...] Darum müssen wir die Rationalität als den einzigen absoluten Wert, als das metaphysische Ziel anerkennen, danach wir streben, das wir aber nie erreichen können.¹¹⁹³

¹¹⁸⁹ Eine ‚Entzauberung‘ ergibt sich, aus meiner Sicht, „wenn wir erkennen, daß selbst ein so suggestiver Massenglaube wie der an den Genie- und Persönlichkeitswert seine natürliche Ursachen hat, wie jede andere Tatsache auch, daß er historisch entstanden und noch lange nicht zweihundert Jahre alt ist. Daß Menschen voreilig werten und nicht bloß sachlich betrachten, wollen wir als notwendig und begreiflich erkennen, denn jeder Organismus muß auf die Umwelt reagieren, muß ablehnen und zugreifen und muß gleiche Reaktionen auch anderen Organismen zumuten, wenn er in einer Herde lebt und mit sozialen Instinkten begabt ist. Doch auch diese biologische Wurzel der Werte bleibt eine Tatsache [...]“ (Zilsel 1990 [1918], S. 220).

¹¹⁹⁰ Über Zilsels „Ideal der Sache“ vgl. auch Nemeth (1997), § 4.

¹¹⁹¹ Vgl. Zilsel (1990 [1918]), S. 205. Vgl. auch S. 211: „Wir müssen untersuchen, welche Werterlebnisse von vornherein ungeeignet sind, wirklich von allen Menschen erlebt zu werden, müssen alle Wertungen zu Werturteilen rationalisieren, Wertmaßstäbe erarbeiten und jene Wertungen, die dieser Rationalisierung nicht standhalten, durch Reflexion in bloße Neigungen und subjektive Gefühle verwandeln“. Mit „Rationalisierung“ meint Zilsel also zugleich eine „Objektivierung“: „Wem es um seine objektive Werte ernst ist, der muß sich jeden Zweifel an seinen Wertmaßstäben gefallen lassen; hält man ihm Widersprüche und Probleme entgegen, dann muß er Rede stehen und seine Behauptungen mit Gründen belegen können [...]. Der enthusiastische und dogmatische Predigertön des Genieverkünders, der jede Prüfung seines Ideals als Entweihung verketzert, scheint deshalb ganz und gar ungeeignet, über absolute Werte das letzte Wort zu behalten“ (Zilsel 1990 [1918], S. 209).

¹¹⁹² Über das interessante Konzept eines „Abfärben der Gefühle“ vgl. das Vorkapitel des II. Teils des Buchs: Zilsel (1990 [1918]), S. 104-107.

¹¹⁹³ Zilsel (1990 [1918]), S. 220-221.

Zilsel schildert hier in Bezug auf Werte einen Rationalisierungsprozess, den er in ähnlicher Weise schon im *Anwendungsproblem* auf die Erkenntnis bezogen hatte: damals hatten sich alle Erkenntnisse (inklusive der Gesetze, die sich dank des Gesetzes der großen Zahlen aus der „Allverschiedenheit“ herauskristallisieren) schließlich als empirisch und kontingent erwiesen, und nur die Rationalität, die Präzision an sich, blieb dem Rationalisten als verlässlichen „Felsen“ übrig; hier – in der *Geniereligion* – scheint Zilsel alle möglichen („praktische, ästhetische, soziale und kulturelle“) Werte und Ziele im Endeffekt auf ein einziges Ziel zu reduzieren, das als objektiv gelten darf: das theoretische Ziel der Rationalisierung¹¹⁹⁴. „Dieses Ziel selber kann nicht wieder bezweifelt werden“¹¹⁹⁵: das „Ideal der Sache“, „die aus der allgemeinen Rationalisierung hervorgehen soll“ (d.h. das Ideal der „ganzen Wahrheit“), ist zwar laut Zilsel prinzipiell unerreichbar, gilt aber trotzdem als absolut und primär:

Der innere und feste Glaube an dieses Ideal wird sich durch Gründe zwar niemals erzeugen lassen, denn es wäre widersinnig, auf Beweise für etwas zu warten, was in jedem Denken und Beweisen schon als Voraussetzung eingeschlossen ist.¹¹⁹⁶

So überzeugend dieses Argument klingen mag, scheint das Absprechen allen ethischen und ästhetischen Werturteilen jeglichen Anspruchs auf Objektivität und deren Degradierung zu bloß subjektiven Wertgefühlen zugunsten eines einzigen objektiven Werts theoretischer Natur etwas übertrieben zu sein. Eine aufmerksame und historisch bewusste Lektüre der *Geniereligion* verrät aber leicht, dass das Ziel der Rationalisierung bzw. das Ideal der Sache keine bloß theoretische Angelegenheit ist, sondern einen starken ethischen Charakter hat: mittels des Ideals der Rationalisierung will Zilsel jene Menschenverehrung bekämpfen, derer Kehrseite die Menschenverachtung ist¹¹⁹⁷, er will jene Geniemetaphysik attackieren, die durch ungerechtfertigte Forderungen und Vorschriften zu einem „Foltergerät“ werden kann¹¹⁹⁸; er spricht sogar von den Tränen, „die fließen müssen, weil eine unreine Metaphysik der Persönlichkeit, der Kultur, des Staates, der Nation, des Krieges ihren unklaren Irrtümern

¹¹⁹⁴ Vgl. Zilsel (1990 [1918]), S. 226-227, wo er erklärt, warum „jegliches Ideal sich schließlich zum theoretischen Wert kristallisieren muß“.

¹¹⁹⁵ Zilsel (1990 [1918]), S. 221.

¹¹⁹⁶ Zilsel (1990 [1918]), S. 229.

¹¹⁹⁷ Die Begriffe der „Menschenverachtung“ und der „Mengenverachtung“, die die gefährliche Kehrseite der Geniereligion darstellen, erwähnt Zilsel (1990 [1918]) z.B. auf S. 216 und auf S. 217. Die Dogmatik der Geniereligion sieht eine Einteilung der Menschen in zwei Klassen (eigentlich drei, wenn man die Genievereherer als zusätzliche Klasse neben den Genies und der Menge zählt): die Gegenüberstellung zwischen Genie und Menge untersucht Zilsel unter verschiedenen Aspekten insbesondere im I. Teil seines Buchs.

¹¹⁹⁸ Vgl. Zilsel (1990 [1918]), S. 216 und 217.

nachhängt“¹¹⁹⁹. Dieser „unreinen Metaphysik“ setzt er eine Metaphysik der „toleranten Sachlichkeit“ entgegen, „die die Gedanken richtet und nicht die Denker, die Ziele prüft, ohne die Natur zu schulmeistern und die Menschen zu vergewaltigen“.¹²⁰⁰ Der aus einer jüdischen Familie stammende und im antisemitischen Wien Karl Luegers aufgewachsene Zilsel widmet ein ganzes Kapitel seines Buchs dem Konzept der Toleranz, um zu behaupten, dass echte Toleranz nicht aus Verehrung, sondern aus Demut stamme, wobei diese mit der Sachlichkeit zusammenhänge, jene hingegen in der Geniereligion implizit sei¹²⁰¹.

Bemerkenswert ist, dass Zilsel sich durch sein ausgeprägtes Beharren auf Rationalisierung gerade zu einer Haltung bekannte, die den Juden von der antisemitischen Propaganda vorgeworfen wurde, indem sie willkürlich mit anderen negativ behafteten Charakterzügen in Verbindung gebracht wurde. Ein Beispiel dafür ist die folgende Passage von Jakob Wassermann:

[...] Es ging ein Zug von Rationalismus durch all diese Juden, der jede innigere Beziehung trübte. Bei den Niedrigen äußerte er sich und wirkte im Niedrigen, Anbetung des Erfolgs und des Reichtums, Vorteils- und Gewinnsucht, Machtgier und gesellschaftlichem Opportunismus; bei den Höheren war es das Unvermögen zur Idee und Intuition. Die Wissenschaft war ein Götze; der Geist war unumschränkter Herr; was sich der Errechnung versagte, war untergeordnete Kategorie; errechnet werden konnte auch das Schicksal, zerfasert die heimlichsten, dunkelsten Gebiete der Seele. Es war überhaupt in ihnen ein Wille und Entschluß zur Entgeheimnisung der Welt, und sie wagten sich darin so weit, daß in vielen Fällen, für mich wenigstens, Schamlosigkeit von Forschertrieb nicht zu unterscheiden war.¹²⁰²

Doch hätte man gerade Zilsel überhaupt keine Erfolgsanbetung, keine Machtgier und keinen Opportunismus zuschreiben können: nachdem er seine historische Untersuchung zum Geniebegriff 1923 zu einer Habilitationsschrift ausgearbeitet hatte und diese als ‚zu wenig philosophisch‘ für eine Habilitation im Fach Philosophie kritisiert worden war, verzichtete er spontan auf die Chance zur Überarbeitung und somit letztlich auf die Möglichkeit, sich zu

¹¹⁹⁹ Zilsel (1990 [1918]), S. 213.

¹²⁰⁰ Zilsel (1990 [1918]), S. 217.

¹²⁰¹ Vgl. Zilsel (1990 [1918]), S. 121. Eine Darstellung des antisemitischen Kontexts, in dem Zilsel aufwuchs und lebte bietet Dvořák (1993).

¹²⁰² Wassermann (1984 [1904-33]), S. 112. Der Schriftsteller Jakob Wassermann war selbst ein Jude. Hilde Spiel kommentiert in der Einleitung zu diesem Band (der verschiedene Schriften von Wassermann umfasst) das damals nicht seltene Phänomen des Selbsthasses deutschsprachiger Juden. Auch Chamberlain, den Zilsel an verschiedenen Stellen seines Buchs kritisiert, vertrat ähnliche Thesen: so paraphrasiert ihn Dvořák (1990), S. 24-25: „Den Juden kommt nach Chamberlain (aber wir müssen uns immer in Erinnerung rufen: er steht für zahlreiche ähnlich agitierende Autoren) deswegen eine besondere Bedeutung und Gefährlichkeit zu, weil sie einerseits die Ideen des Materialismus und der Rationalität verkörpern (und zugleich unfähig zu schöpferischer Phantasie sind), und es ihnen andererseits gelungen ist, sich als ‚reine Rasse‘ zu behaupten“.

habilitieren¹²⁰³. In einem Brief, in dem Zilsel Moritz Schlick (der seine Habilitation unterstützt hatte) seine Entscheidung erklärt, gibt er zugleich interessante Hinweise auf die weitere Entwicklung seiner Arbeit und seines Denkens:

Anknüpfend an meine philosophischen und physikalischen Arbeiten über Zufalls- und Massenerscheinungen in der unbelebten Natur war *mein Interesse in den letzten Jahren vor allem der Anwendung naturwissenschaftlicher Methoden auf geisteswissenschaftliche Gebiete sowie der Aufdeckung einigermaßen exakter Gesetze des geisteswissenschaftlichen Geschehens zugewendet*. Der angedeutete weite Problemkreis dürfte mich nicht nur durch längere Zeit voraussichtlich weiter beschäftigen, sondern ich habe speziell für die Fortführung meiner Geschichte des Geniebegriffs sehr umfangreiches Material schon gesammelt [...] Wie lange die endgültige Ausarbeitung der weiteren Teile meine Zeit noch vorwiegend in Anspruch nehmen wird, kann ich selbstverständlich derzeit nicht angeben. Ich könnte es aber vor mir nicht rechtfertigen, wenn ich die Richtung meiner wissenschaftlichen Arbeit statt durch die Probleme, mein Interesse für sie und meine Vorarbeiten, durch Erwägungen anderer Art beeinflussen ließe¹²⁰⁴.

Aus der abgelehnten Habilitationsschrift Zilsels wurde tatsächlich das 1926 veröffentlichte und breit rezipierte¹²⁰⁵ Werk *Die Entstehung des Geniebegriffes. Ein Beitrag zur Ideengeschichte der Antike und des Frühkapitalismus*. Gleich am Beginn des Buches steht ein Zitat Spinozas, welches im Grunde eine Erweiterung jenes Programms der „Rationalisierung“ ankündigt, das Zilsel nunmehr auch im „geisteswissenschaftlichen Gebiet“ durchführen will:

[...] nur einen Weg kann es daher geben, die Natur irgendwelcher Dinge zu erkennen: den Weg nämlich über die allgemeinen Gesetze und Regeln der Natur. Gemütsbewegungen also, menschliche Handlungen und Begehungen werde ich betrachten, als sei die Rede von Linien, Flächen und Körpern.¹²⁰⁶

Man kann unterschiedliche Strategien identifizieren, mit denen Zilsel in seinem Buch versucht, „die Entstehungs- und Entwicklungsbedingungen des Geniebegriffs kausal zu untersuchen“¹²⁰⁷. Wie in seinem vorigen Buch bedient er sich erstens „psychologischer

¹²⁰³ Zum gescheiterten Habilitationsverfahren Zilsels vgl. die schon erwähnten Dvořák (1981), S. 20-22 und Stadler (1997), §12.1.7.

¹²⁰⁴ Zit. in Dvořák (1990), S. 10; meine Hervorhebung. In ähnlicher Weise beschreibt Zilsel seine Arbeit in einem Brief an den Dekan der Philosophischen Fakultät: „Nun habe ich mich, wie aus meinen bisherigen Arbeiten hervorgeht, der Philosophie nicht etwa von literargeschichtlicher Seite her zufällig genähert, sondern meine natur- und geschichtsphilosophischen Darlegungen an physikalischen und geistgeschichtlichen Tatbeständen zu entwickeln versucht, in der Meinung der Philosophie dadurch besser zu dienen als durch ihre enge Abgrenzung gegen den fruchtbaren Boden der Einzelwissenschaften“ (zit. *Ebenda*, S. 12-13).

¹²⁰⁵ Das Buch wurde u.a. von Benedetto Croce und Georg Lukács besprochen: vgl. Raven - Krohn (2003), S. xlv. Über die Rezeption dieses Werks Zilsels vgl. Fleck (1993, S. 513) und Wulz (2012).

¹²⁰⁶ Spinoza, zit. in Zilsel (1972 [1926]), S. III.

¹²⁰⁷ Zilsel (1972 [1926]), S. 1. Zu der Auffassung der Gesetzmäßigkeit, die Zilsel in diesem Werk vertritt, vgl. Nemeth (2011), § IV.

Methoden“, um Korrelationen zwischen dem Geniebegriff und bestimmten menschlichen Erlebnissen zu finden. In diesem zweiten Buch Zilsels über den Geniebegriff überwiegen aber soziologische Analysen, bei denen Zisel versucht, Korrelationen zwischen Genieauffassungen und gesellschaftlichen Zusammenhängen zu finden¹²⁰⁸. Die ganze Fülle des historischen Materials über Genieauffassungen und soziale, wirtschaftliche und demographische Strukturen von der Antike bis zur Renaissance¹²⁰⁹, die Zisel im Buch gesammelt hat, soll dem Versuch dienen,

der Erkenntnis näher zu kommen, welche Vorstellungen von überragenden Menschen regelmäßig mit gewissen Zuständen der menschlichen Gesellschaft verknüpft sind. So soll uns die Geschichte des Geniebegriffs dazu dienen, soweit es gelingt, die sozialen *Gesetze* aufzudecken, die seine Entwicklung beherrschen.¹²¹⁰

Es ist klar, dass Zisel seine Arbeit als *case-study* benutzen will, um das seit dem späten 19. Jahrhundert heftig diskutierte Problem einer angeblichen Unterscheidung zwischen „erklärenden“ oder „nomothetischen“ Naturwissenschaften und „verstehenden“ oder „idiographischen“ Geistes- und Sozialwissenschaften empirisch anzupacken¹²¹¹:

Was immer aber auch in methodologischen Diskussionen an Gründen und Gegengründen vorgebracht werden mag: *wenn* historische Gesetze existieren, so wird man sie nur finden, wenn man nach ihnen mit den richtigen Methoden sucht, die Richtigkeit der Methoden aber wird einzig und allein erweisen, was man mit ihnen findet.¹²¹²

¹²⁰⁸ Die verschiedene Ansätze zum Geniebegriff bei Zisel (1990 [1918]) und bei Zisel (1972 [1926]) vergleichend meint Nemeth (1997, S. 157), dass Zisel „1918 nicht denselben Begriff wie später, nur mit anderen Methoden, analysiert, sondern hat in dieser Schrift den Gegenstand, um den es ihm ging, überhaupt erst zu gewinnen versucht. Im Nachhinein können die Ansätze einer psychologischen Erklärung, die er in der ‚Geniereligion‘ entwickelt, wohl in eine Analogie zu den historisch-soziologischen Erklärungen in der ‚Entstehung des Geniebegriffs‘ von 1926 gesetzt werden (obwohl ich die Fruchtbarkeit dieser Analogisierung in Zweifel ziehe). Aber die interessanteren Seiten des Werks werden dabei übersehen“.

¹²⁰⁹ Zisel hatte geplant, seine Untersuchung bis zur Gegenwart zu erstrecken, und sein Werk dementsprechend um weitere Bände zu erweitern (vgl. Zisel 1972 [1926], „Vorwort“). Diesen Plan hat er aber dann offensichtlich aus Gründen aufgegeben, über die man nur spekulieren kann.

¹²¹⁰ Zisel (1972 [1926]), S. 2.

¹²¹¹ Zisel (1972 [1926], S. 323) fragt nämlich rhetorisch: „Wie also wollte man sich verwundern und darüber spekulieren, daß gesetzliche Zusammenhänge in der Geschichte noch kaum gefunden sind, wenn man sie kaum noch recht gesucht hat?“. Vgl. auch Zisel (1972 [1926]), S. 2.

¹²¹² Zisel (1972 [1926]), S. 321; Hervorhebung im Originaltext. Ich möchte hier wieder auf eine gewisse „Geistesverwandtschaft“ zwischen Zisel und Reichenbach hinweisen, denn dieses Zitat Zilsels ähnelt jener bekannten Rechtfertigung der Induktion, die Reichenbach viele Jahre später vorschlagen wird: „Wer induktive Schlüsse benutzt, gleicht einem Fischer, der sein Netz an einer unbekannten Stelle des Meeres auswirft – er weiß nicht, ob er Fische fangen wird, aber er weiß auch, daß er sein Netz auswerfen muß, falls er Fische fangen will. Jede induktive Voraussage gleicht einem Netz, das man in das Meer physikalischer Ereignisse hineinwirft; wir wissen nichts darüber, ob wir einen guten Fang tun werden, aber wir versuchen es wenigstens und bedienen uns des besten Mittels, das uns zu Verfügung steht“ (Reichenbach 1953, S. 276-277). Zu diesem Zeitpunkt hat Reichenbach aber schon eine ausführlich ausgearbeitete Methode entwickelt (jene der „induktiven Voraussage“

Diese neue Einstellung Zilsels ist im Vergleich zu dem entschlossenen epistemologischen Rationalismus kantischer Art des *Anwendungsproblems* irgendwie ‚bescheidener‘: damals war er davon ausgegangen, dass es Gesetze gibt und dass sie einen Realitätsbezug haben, und er wollte mittels einer transzendentalen Deduktion wohl ihre Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit untermauern; jetzt präsentiert er die Existenz historischer Gesetze als Hypothese. Damals hatte er *die* Induktion als überhaupt *die* Methode präsentiert, um zu Erkenntnis zu gelangen; hier spricht Zilsel nun von „Methoden“ im Plural, er scheint die Frage nach der „Richtigkeit“ der Methoden teilweise offen zu lassen, und er deutet eine pragmatische, *post hoc* Rechtfertigung dieser Methoden an¹²¹³.

Diese Vorsicht¹²¹⁴ hängt aber nicht hauptsächlich mit der Tatsache zusammen, dass er sich im *Anwendungsproblem* auf Mathematik und Naturwissenschaften bezogen hatte, nun aber auf historische und gesellschaftliche Phänomene. Die Methoden, die er für die Geistes- und Sozialwissenschaften umreißt, unterscheiden sich nämlich aus seiner Sicht nicht prinzipiell von denen der Naturwissenschaften: wie die Astronomen sollen laut Zilsel auch die Sozialwissenschaftler „arbeitsteilig und nach planvollen Gesichtspunkten“ so viele Daten wie möglich sammeln, „katalogisieren“ und „statistisch verarbeiten“¹²¹⁵. Wie die Astronomen können Sozialwissenschaftler zwar keine richtigen Experimente gestalten, diese Schwierigkeit jedoch durch vergleichende Analysen von Daten kompensieren: „Es wäre doch verwunderlich – meint Zilsel wohl mit einer gewissen Naivität – „wenn ein solcher Vergleich italienischer und ägyptischer und chinesischer und neupersischer Renaissancebewegungen gar keine Gesetze würde erkennen lassen“¹²¹⁶. Genau wie Exner zuvor (vgl. oben, §7.a.) führt Zilsel den Unterschied zwischen Gastheorie und Geschichte bloß auf die Größenordnung¹²¹⁷ des Forschungsobjekts zurück. Dabei kommt er zum folgenden, phantasievollen Ausruf:

bzw. „Prophezeiungen“), und somit hat er jene „Variable“ festgehalten, die im Zitat Zilsels noch offen beleibt (die Richtigkeit der Methoden).

¹²¹³ Weitere Ausdrücke einer bei Zilsel insgesamt nicht sehr ausgeprägten Tendenz zum Pragmatismus findet man in Zilsel (1992 [1930b]), S. 95 und S. 97. Pragmatische Aspekte in der Philosophie Zilsels werden von Wulz (2011, S. 304-305, und 2012, letzten Absatz) identifiziert.

¹²¹⁴ Vgl. z.B. die folgende Formulierung: „Trotzdem ist es vielleicht nicht ganz unsinnig nach gesetzlichen Erklärungen auch in der Geschichte zu suchen, denn zumindest Entwicklungstendenzen, mehr oder weniger ausgebildete Vorstufen zu Gesetzen werden sich wohl finden lassen.“ (Zilsel 1972 [1926], S. 321).

¹²¹⁵ Vgl. Zilsel (1972 [1926]), S. 321-322.

¹²¹⁶ Zilsel (1972 [1926]), S. 323. Ob man von einer neupersischen oder chinesischen „Renaissance“ sprechen kann, sei dahingestellt.

¹²¹⁷ Vgl. auch Zilsel (1992 [1931c]), S. 102ff., wo von „Größenunterschieden“ die Rede ist. Insbesondere die folgende Stelle erinnert sehr stark an Exner (vgl. oben, §7.a): „das Gebiet der Geschichte umfaßt menschliche Vorgänge und ihre Ursachen, die um eine Stufe langsamer ablaufen als die Reaktionen der Individuen und um eine Stufe schneller als die biologische Stammesentwicklung.“ (Zilsel 1992 [1931c], S. 106; Hervorhebung im Originaltext).

[...] in der Gastheorie [...] hat der Forscher nach Gesetzen verhältnismäßig leichtes Spiel, denn er ist nicht von der Größenordnung einer Einzelmolekel und übersieht deshalb auf einen Blick die Massenerscheinung. Wie herrlich leicht hätte es nicht ein riesenhafter Methusalem von der Größenordnung der italienischen Renaissance, gesetzliche Erklärungen zu finden, wenn er das Anschwellen der Städte und den Literatenzank, die Bücherflut und die Bevölkerungsbewegung, die religiösen Strömungen und die Handelsflotten, die Betriebe und die Bilder und Bauten, die Preisbewegung und die Ideen in Eins zusammenschauen könnte!¹²¹⁸

Was Zilsel hier dem „Methusalem“ zuschreibt, trifft auf ihn selbst nicht zu: Die Ergebnisse seiner Untersuchungen – die er unter dem erwartungserweckenden Titel „Endergebnis: Gesetze über den Geniebegriff“ zusammenfasst – sind unter dem Gesichtspunkt der Identifizierung von historischen und sozialen Gesetzen eher dürftig. Im erwähnten Absatz scheint er bloß seine auf die Renaissance bezogenen historischen und soziologischen Befunde mittels einer abstrakteren Formulierung zusammenzufassen. In dieser Hinsicht scheint die folgende Kritik, welche Georg Lukács im Rahmen einer Besprechung von Zilsels Buch anbringt, verständlich: Was Zilsel laut Lukács hervorgebracht habe seien:

[...] bloße Verallgemeinerungen empirischer Tatsachenbeobachtungen, also, ihrer logischen Struktur nach, gar keine Gesetze. Denn sie zeigen bloß gewisse Strukturzusammenhänge zwischen Tatsachenkomplexen auf, ohne die bewegende Kräfte aufzuweisen, die diese Veränderungen mit Notwendigkeit hervorbringen.¹²¹⁹

Zilsel, der schon 1918 der sozialdemokratischen Partei beigetreten war¹²²⁰, distanzierte sich mit der Zeit immer bewusster von jener deterministischen Auffassung der Gesetzlichkeit, die viele seiner marxistischen Genossen vertraten. 1926 hatte er sich offensichtlich von seinem frühen erkenntnistheoretischen Rationalismus weg- und zu einer nach und nach immer empiristischeren Einstellung hin bewegt¹²²¹: In der *Entstehung des Geniebegriffes* sucht er nach keinen Gesetzen, die die „logische Struktur“ der „Notwendigkeit“ hätten. Sein schon im *Anwendungsproblem* ausführlich formulierter Indeterminismus ist in eine statistische und probabilistische Auffassung der Gesetzmäßigkeit gemündet, die keine streng deterministischen und absolut gültigen sondern bloß noch statistischen Gesetze vorsieht, die im Durchschnitt gelten und Ausnahmen zulassen.

¹²¹⁸ Zilsel (1972 [1926]), S. 321.

¹²¹⁹ Lukács, zit. in: Maus (1972), S. VI-VII. Dazu vgl. Fleck (1993, S. 504-506) und Wulz (2012). Auch Jardine aus heutiger Sicht sieht die angeblichen Gesetze, die Zilsel in der *Entstehung des Geniebegriffes* gefunden haben soll, durchaus kritisch: „[...] the few, and admittedly provisional, examples Zilsel gives of such laws are extraordinarily bland and lacking in explanatory power [...]“ (Jardine 2003, S. 92).

¹²²⁰ Vgl. Dvořák (1990), S. 17.

¹²²¹ Vgl. dazu das Konzept einer „Transposition der Philosophie in empirische Forschung“, das Nemeth (1997, S. 158-159) auf die Entwicklung des Denkens Zilsels bezieht.

Eine solche nicht-deterministische Auffassung der Gesetzmäßigkeit vertritt Zilsel auch in einem Aufsatz, der ein Jahr nach der Veröffentlichung der *Entstehung des Geniebegriffes* mit dem Titel „Über die Asymmetrie der Kausalität und die Einsinnigkeit der Zeit“ in der wichtigen Zeitschrift *Die Naturwissenschaften*¹²²² erschien¹²²³. Hier knüpft er an die Machsche Auffassung der Kausalität als funktionale Abhängigkeit an und behauptet, der Ursachebegriff verliere seine Bedeutsamkeit bei physikalischen Gesetzen, die die Zeit als Variable nicht enthalten und die dagegen Variablen enthalten, von denen alle gleichermaßen oder keine dem menschlichen Eingriff zugänglich sind (der menschliche Eingriff löst nämlich eine zeitliche Asymmetrie zwischen Ursache und Wirkung aus). Seiner einheitlichen Auffassung der Wissenschaften entsprechend geht er am Ende dieses an der Physik orientierten Artikels lückenlos erneut auf die Frage der historischen Gesetze ein. Dabei werden zwei Punkte klar, die den Sozialdemokraten Zilsel von anderen Marxisten trennten¹²²⁴:

*Wenn historische Gesetze bestehen, könnten es selbstverständlich nur Makrogesetze sein. Nun dreht sich z.B. der ganze Streit um die „materialistische“ Geschichtsauffassung um die Frage, ob die wirtschaftlichen oder die mit ihnen verflochtenen kulturellen, religiösen, künstlerischen Gebilde abhängig oder unabhängig variabel sind. In Makrogesetzen aber ist es alles weniger als selbstverständlich, daß abhängige gegen unabhängige Variable überhaupt sich immer scheiden lassen. Auch solche außerphysikalische Fragen werden nur durch empirische Einzelforschung beantwortet werden.*¹²²⁵

Erstens betrachtet Zilsel immer noch die Existenz historischer Gesetze als eine – wenn auch für ihn glaubwürdige und plausible – Hypothese, die noch empirisch geprüft werden müsse. Zweitens äußert er einen gewissen Skeptizismus gegenüber der marxistischen und materialistischen Theorie vom „Überbau“ als „Widerspiegelung“ der Basis. Welche Variablen in einem Makrosystem abhängig und welche unabhängig seien, könne man laut Zilsel nicht immer leicht feststellen.

Nach seinem gescheiterten Habilitationsversuch scheint Zilsel sein politisches Engagement intensiviert zu haben¹²²⁶: 1923 ließ er sich vom normalen Schuldienst freistellen, um im

¹²²² Über diese Zeitschrift vgl. Stöltzner (2003), Kap. 5.

¹²²³ Zilsel (1927a). Dazu vgl. Nemeth (2011), §2.

¹²²⁴ Zum Verhältnis Zilsels mit dem Marxismus vgl. Fleck (1993) und Wulz (2012).

¹²²⁵ Zilsel (1927a), S. 286. Hervorhebung im Originaltext.

¹²²⁶ Die folgende Stelle aus Zilsel (1992 [1929b], S. 43-44) könnte als ziemlich bitteren, rückblickenden Kommentar zu dieser „Wende“ gelesen werden: „Es gibt kaum eine Tätigkeit, die den Charakter durch ihre soziologischen Bedingungen so sehr gefährdet, wie die des Autors oder akademischen Lehrers. Man schreibt unter großen Schwierigkeiten Bücher, man steht allein unter zahlreichen Konkurrenten, oder Kollegen strecken hilfreiche Hände entgegen, die waschen und gewaschen werden wollen. Und da soll *Politik* den Charakter

Rahmen jener Volksbildung zu arbeiten¹²²⁷, die das Leben des „Roten Wiens“ wesentlich charakterisierte¹²²⁸. Zwischen 1929 und 1933 veröffentlichte Zisel regelmäßig Aufsätze in sozialdemokratischen Zeitschriften, insbesondere in *Der Kampf*¹²²⁹. Im Rahmen dieser Aufsätze distanziert er sich nicht nur von einem grob gedachten Materialismus¹²³⁰ und Mechanismus (den er als veralteten „Vorurteil“ der Wissenschaft betrachtete)¹²³¹, sondern er kritisiert auch wieder eine zu deterministische Auffassung des historischen Materialismus: so opponiert er z.B. gegen die von einigen Marxisten vorgebrachte ‚Prophezeiung‘, laut der die damaligen wirtschaftlichen und sozialen Entwicklungen (Basis) alle Philosophie (Überbau) zum Verschwinden bringen würden: „Es ist wirklich nur das zweitausend Jahre alte fatalistische Mißverständnis des Determinismus, das hier ‚marxistisch‘ die Philosophie zu überwinden beansprucht“¹²³². Vor allem aber besteht Zisel darauf, dass die materialistische Geschichtsauffassung „ja noch gar nicht anständig bestätigt und überprüft“ sei und verweigert sich daran wie an ein „Parteidogma“ zu glauben¹²³³.

Den strengen Determinismus lässt Zisel hier so wenig als Dogma gelten, wie er ihn im *Anwendungsproblem* als Wirklichkeit oder als „Gegebenes“ gelten ließ. Was er aber immer noch – und noch kräftiger als im *Anwendungsproblem* – verteidigt, ist den Willen oder das

verderben? Die gemeinsame Wahlarbeit unter proletarischen Genossen in der letzten politischen Sektion gibt mehr sittlichen Halt als die ganze windige Welt der Rezensionen und der akademischen Würde. Da also der Kampf für Altersversicherung und Mieterschutz ein gutes Gegengewicht gegen Gelehrtdünkel und Autoreneitelkeit gibt, ist es recht heilsam, wenn Philosophen auch Sozialisten sind“.

¹²²⁷ Vgl. Götz – Pankratz (1993). *Die Entstehung des Geniebegriffes* ist der Volkshochschule gewidmet (vgl. Zisel (1972 [1926], Vorwort).

¹²²⁸ Vgl. Stadler (1982), Teil II und Coen (2007), S. 338-339.

¹²²⁹ Von seinen dreizehn zwischen 1929 und 1933 entstandenen Artikeln sind nur drei in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht worden (abgesehen von den Rezensionen, die er für *Die Naturwissenschaften* immer noch regelmäßig geschrieben hat): von den restlichen zehn Veröffentlichungen erschienen neun in der von Friedrich Adler herausgegebenen sozialdemokratischen Monatsschrift *Der Kampf* und eine in der Zeitschrift der sozialdemokratischen Freidenker *Der Atheist*.

¹²³⁰ Vgl. insbesondere Zisel (1992 [1931a]), in dem er den Begriff des Materialismus einer historisch-philosophischen Analyse unterzieht und ihm eine an Mach orientierte Auffassung des Verhältnisses zwischen Physikalischem und Psychischen entgegensetzt. Über Zisels Auffassung des Materialismus, sowie über seine Auseinandersetzung mit der materialistischen Geschichtsauffassung vgl. Fleck (1993), Nemeth (2011, § III) und Wulz (2012).

¹²³¹ Vgl. Zisel (1992 [1929b]), S. 40, wo er Mach als Überwinder des Mechanismus preist, aber vor allem Zisel (1932b).

¹²³² Zisel (1992 [1929b]), S. 42-43.

¹²³³ Zisel (1992 [1931b]), S. 90: „Gerade weil ich Marxens Geschichtstheorie in ihrer radikalsten Fassung für richtig halte, wehre ich mich gegen ihren Mißbrauch. Sie ist ja noch gar nicht anständig bestätigt und überprüft. Man soll sie endlich an der geschichtlichen Empirie bewähren [...] Und auch ihre Stempelung zu einem Parteidogma schädigt gleichermaßen Partei und Theorie. Jeder Wissenschaftler weiß um die gewaltigen Schwierigkeiten, die jeder weitgespannten Theorie notwendig anhaften. Da ich Wissenschaftler bin, würde ich einer Partei, die 400 000 Mitgliedern die Zustimmung zu einer unerhört heiklen, nur durch die sorgfältigsten Untersuchungen zu bestätigenden Theorie wirklich zumutet, überhaupt nicht angehören wollen [...]“. Eine sehr informierte und reflektierte Darstellung des Zusammenhangs zwischen den epistemologischen Überlegungen und Überzeugungen Zisels und seinem Engagement als Sozialdemokraten bzw. als „wissenschaftlichen Sozialisten“ (vgl. Zisel 1992 [1929], S. 31) bietet Wulz (2011 und 2012).

Streben zur Rationalisierung, und diese bedeutet für ihn vor allem: kausales Denken¹²³⁴. Dementsprechend kritisiert er unerbittlich in seinem Aufsatz „Soziologische Bemerkungen zur Philosophie der Gegenwart“ (Zilsel 1930) jede antikausale Strömung in Philosophie, Literatur und Wissenschaft: Unter dieser Kritik fallen etwa die Befürworter einer prinzipiellen Trennung zwischen Natur- und Geistes- oder Sozialwissenschaften (u.a. Dilthey, Windelband, Rickert, Spann, Troeltsch); die Verfechter einer Sonderstellung der Biologie hinsichtlich der Physik bzw. Vitalisten aller Art (u.a. Reinke, Driesch, Boutroux, Bergson); die Befürworter der Idee einer vom Körper getrennten Seele (u.a. Stumpf, Driesch, Scheler und die Parapsychologen); Berufsliteraten, die als „Sprachrohr“ einer „irrationalistischen Ideologie“ dienen¹²³⁵ (Chamberlain, Keyserling, Spengler; dazu kommen Scheler, Bergson und Nietzsche, die „literatenähnlich philosophieren“¹²³⁶); die „Rassenmetaphysiker“, Anthroposophen und Theosophen, sowie die Vertreter der „philosophischen Metaphysik“, die Zilsel jetzt als „Privatmythologie“ bezeichnet¹²³⁷. Aber auch berufsmäßig akademische Professoren (darunter Neukantianer und Phänomenologen) werden von Zilsel kritisch betrachtet: zwar seien sie keine Irrationalisten *tout court*, jedoch strebten sie realitätsferne begriffliche Einteilungen und damit keine rationale Gesetze an¹²³⁸. Schließlich kritisiert Zilsel auch den „undeterministische[n] Zweig der jungen Quantenmechanik“ und all diejenigen (inklusive „so überragende[r] Mathematiker und Physiker wie H. Weyl und Bohr“), die über die neue „Unschärferelation“ spekulieren und versuchen, „die Nichtfeststellbarkeit der Elektronengesetze irrational-metaphysisch auszudeuten“¹²³⁹.

¹²³⁴ Vgl. z.B. Zilsel (1992 [1929b]), S. 33, wo er die (neuzeitlichen) „Verkünder des neuen weltlich-rationalen Geistes“ als „Verkünder des Geistes der kausalen Forschung“ bezeichnet, und Zilsel (1930), S. 416: „Das höchste Ziel der wissenschaftlichen Rationalisierungsarbeit ist immer die Beziehung ‚wenn..., so...‘ [...]“.

¹²³⁵ „Irrationale Erlebnisse sind natürlich in *jedem* Menschen und sogar ganz überwiegend vorhanden; daß sie dem Rationalisierungsstreben der europäischen Stadtgesellschaft Widerstand leisten ist selbstverständlich, ebenso daß dieser Widerstand im höchstrationalisierten Maschinenzeitalter sich noch erheblich verschärft. Wenn er aber laut werden soll, bedarf dieser Widerstand eines Sprachrohres [...] Eben dieses Sprachrohr [...] sind die Berufsliteraten [...] Es liegt hier ein hübsches Beispiel für die ‚Dialektik‘ des geschichtlichen Geschehens vor: die Rationalisierung der Stadtgesellschaft erzeugt den Buchdruck und verbreitet das Lesen, das breite Lesepublikum erzeugt die Berufsliteraten, das Literatentum die irrationalistische Ideologie“ (Zilsel 1930, S. 414).

¹²³⁶ Zilsel (1930), S. 413.

¹²³⁷ In der *Geniereligion* war noch von einer „guten“ Metaphysik die Rede, die sich durch ihren Bezug auf Werte und vor allem auf Ziele notwendigerweise von der Tatsachenwelt entfernen musste. In seinen polemischen und politischen Schriften kritisiert nun Zilsel die Metaphysik *tout court* (vgl. z.B. Zilsel 1992 [1929b], S. 35, und Zilsel 1992 [1931a], S. 82-83). Ob der Kontakt zum Wiener Kreis in dieser Hinsicht Zilsel beeinflusst hat, sei dahingestellt.

¹²³⁸ Zilsel (1930), S. 416-418.

¹²³⁹ Zilsel (1930), S. 420-421. Im selben Jahr, in dem Zilsel diesen Aufsatz in *Der Kampf* veröffentlichte, erschien eine Nummer von *Der Atheist* (das Organ der „Internationale proletarischen Freidenker“ in Wien, in dem auch Zilsel später einen Aufsatz publizieren wird (Zilsel 1932b)), die dem allgemeinen Thema der „Krise der bürgerlichen Wissenschaft“ gewidmet war (*Der Atheist*, Jg. 4., N.10, Oktober 1930): im ersten Artikel, „Die Flucht ins Ungewisse“, wird die indeterministische Deutung der Quantenmechanik als „reaktionäre

All diesen Formen des „akausalen“ Denkens setzt Zilsel eine entschlossene Wertschätzung des rationalen und kausalen Denkens in der Philosophie und in den Einzelwissenschaften entgegen: dabei verfolgt er eine zweifache argumentative Strategie, die eine historisch-deskriptive und eine normative Seite hat. Einerseits beschreibt Zilsel, wie das rationale und kausale Denken die Philosophie von ihrem Ursprung an charakterisiert habe und von der Philosophie allmählich in die Einzelwissenschaften eingeflossen sei¹²⁴⁰; außerdem erklärt Zilsel die Suche nach Gesetzen zum Motor des gesellschaftlichen Fortschritts Europas¹²⁴¹. Damit hat er fast bloß deskriptive Voraussetzungen geschaffen, um die von ihm kritisierten akausalen Strömungen als ein „neuartiges“ Gebilde erscheinen zu lassen, welches das Wesen der Philosophie und der Entwicklung der europäischen Gesellschaft verleugnet¹²⁴². Hiergegen stellt Zilsel seine normativ gemeinte Philosophieverfassung: nachdem die klassische Philosophie jene „noch wenig differenzierte Gesamtheorie“ gewesen ist, aus der „die heutigen Fachwissenschaften hervorgegangen“ seien¹²⁴³, solle sich die Philosophie nun weiter als rationales Denken im engen Kontakt mit den Einzelwissenschaften entwickeln¹²⁴⁴. Von diesen unterscheidet sich die Philosophie laut Zilsel darin, dass sie als „Gesamtheorie“ „die allgemeinsten und besonders die verbindenden Grenzprobleme der leblosen und belebten Natur, der Gesellschaft und des Bewußtseins exakt erforscht“¹²⁴⁵. „[F]ür die philosophische Gesamtheorie unentbehrlich“ sei laut Zilsel „eine Verschmelzung naturwissenschaftlicher und historisch-soziologischer Gedankengänge“¹²⁴⁶: dementsprechend schreibt Zilsel 1930 in

Wissenschaft“ kritisiert, die ideologisch als „Methode des gedanklichen Ausweichens vor sehr gewissen irdischen Tatsachen“ gedeutet wird (*Ibidem.*, S. 3). Zilsel äußert seine skeptische Einstellung gegenüber den angeblich „undeterministischen“ Folgen der Quantenmechanik in: Zilsel (1927a), S. 284, Zilsel (1929a), S. 935, und vor allem in Zilsel (1935). Im Gegensatz dazu ist Zilsel (1933), eine Rezension von Schrödinger (1932), sehr kurz und zurückhaltend.

¹²⁴⁰ Vgl. insb. Zilsel (1992 [1929b]).

¹²⁴¹ Vgl. z.B. Zilsel (1930), S. 421ff. Ab der Zeit um 1930 zeichnet sich in den Schriften Zilsels ein neues Forschungsobjekt ab, das in den Mittelpunkt seiner weiteren historischen und soziologischen Untersuchungen rücken wird: die Entstehung der modernen Wissenschaft und des Begriffs des Naturgesetzes. Dieses Thema wird ihn bis zu seinem Tod beschäftigen und stellt bisher den bekanntesten Teil seiner Arbeit dar (man denke z.B. an die sogenannte „Zilsel-These“ zur Entstehung der modernen Wissenschaft), was vermutlich auch damit zu tun hat, dass er auch im Exil in England und in den USA diese Fragestellung weiter verfolgte, und die entsprechenden wissenschaftlichen Aufsätze in Englischer Sprache veröffentlichte (vgl. Zilsel 2003). Ich werde hier die ‚amerikanischen‘ Schriften Zilsels, die den zeitlichen Rahmen vorliegender Arbeit deutlich sprengen, nicht in Betracht ziehen.

¹²⁴² Zilsel weicht dabei bewusst vom Weberianischen Ideal der neutralen Wissenschaft ab: „Wenn [...] eine ablehnende Stellung des Verfassers öfter zum Vorschein gekommen sein dürfte, so erklärt sich das daraus, daß auch die soziologische Erklärung eines Gedankens nicht ganz unabhängig davon ist, wie man selber über die fragliche Sachlage denkt.“ (Zilsel 1930, S. 424).

¹²⁴³ Zilsel (1992 [1929b]), S. 34.

¹²⁴⁴ So behauptet z.B. Zilsel (1992 [1929b], S. 39), „daß auch in der Gegenwart fruchtbar sich nur philosophieren läßt in jener innigen Verbindung mit den lebendigen Wissenschaften, die die klassische Philosophie des 17. Jahrhunderts ausgezeichnet hat“.

¹²⁴⁵ Zilsel (1992 [1929b]), S. 41.

¹²⁴⁶ Zilsel (1992 [1929b]), S. 44.

einem Brief an Reichenbach, dass er historische Prozesse als Naturprozesse auffasse, und versuche, sie mittels statistischer Gesetze zu verbinden¹²⁴⁷.

Die statistische, also nicht deterministische Auffassung von Gesetzmäßigkeit spielt bei Zilsel eine wesentliche Rolle mit Bezug auf eine einheitliche Wissenschaftsauffassung: gerade die Schwächung des Gesetzesbegriffs und die Abkoppelung der Gesetzlichkeit vom Determinismus ermöglichen, Disziplinen, die keine streng deterministische Gesetze vorsehen, als im Prinzip genau so wissenschaftlich wie die Vorbildwissenschaft Physik zu betrachten. Bezüglich der Versuche von Neovitalisten, durch Hinweis auf den nicht deterministischen Charakter der Lebensphänomene eine prinzipielle Trennung zwischen Lebenswissenschaften und Physik herbeizuführen, schrieb Zilsel 1928:

Es ist [...] nicht richtig, daß in der Physik die Zukunft jedes Teilstücks schon in ihm selber festgelegt sei: der Fehler der neovitalistischen Beweisführung liegt nicht darin, daß sie das Leben über-, sondern daß sie die Physik unterschätzt.¹²⁴⁸

Auch die Ablehnung einer prinzipiellen Trennung zwischen Sozialwissenschaften und Naturwissenschaften begründet Zilsel wesentlich aus dem Konzept statistischer Gesetzmäßigkeit heraus: die beeindruckende Figur des „Methusalems“, der die Geschichte auf dieselbe (statistische) Weise betrachtet wie der Physiker die Moleküle eines Gases, wurde schon erwähnt. Auch bei dieser Betrachtungsweise sucht Zilsel übrigens nach den historischen und soziologischen Bedingungen:

Die hochkapitalistische Großstadt ballt Millionen Menschen auf engem Raum zusammen und macht es dadurch leichter als zuvor, wimmelnde Individuen zu gesetzmäßig flutenden Massen einheitlich zusammenzuschauen; der organisierte Kapitalismus betreibt planmäßig Statistik der Gütererzeugung, Statistik des Handelns, Statistik der Bevölkerungsbewegung; er bemüht sich heute, wirtschaftliche Konjunkturen ebenso zu erforschen und zu prognostizieren wie das Wetter. Würde man da nicht erwarten, daß unsere Wissenschaft auch das Geistesleben der Gesellschaften statistisch-gesetzlich zu erforschen sucht, daß unsere Philosophie mit Feuereifer daran arbeitet, die Geisteswissenschaften [...] endlich mit der Naturwissenschaft zu einer Gesamtheorie zu verschweißen?¹²⁴⁹

¹²⁴⁷ Raven – Krohn (2003, S. xlix) zitieren in Englischer Übersetzung den Brief, in dem Zilsel u.a. in Bezug auf seine Arbeit schreibt: „it considers historical processes themselves as natural processes and attempts to connect them by statistical laws“.

¹²⁴⁸ Zilsel (1928), S. 138.

¹²⁴⁹ Zilsel (1930), S. 411.

Das „Geistesleben der Gesellschaften“ kann laut Zilsel aufgrund statistischer Gesetze „wie das Wetter“ „prognostiziert werden“: nicht mit absoluter Sicherheit, aber trotzdem wissenschaftlich¹²⁵⁰.

Die Art und Weise wie Zilsel sich auf eine nicht deterministische, statistische Auffassung der Gesetzmäßigkeit beruft, um für eine einheitliche Auffassung der Wissenschaften zu plädieren, bezeugt wohl seine Nähe zum Wiener Kreis, insbesondere zu dessen sogenannten „linken Flügel“. Mit dem Wiener Kreis teilte Zilsel das Bekenntnis zur einer „wissenschaftlichen Weltauffassung“ und er war wie auch andere Mitglieder des Kreises Vorstandsmitglied des gesellschaftlich engagierten Vereins „Ernst Mach“¹²⁵¹. Seine bereits erwähnte, an den Fachwissenschaften orientierte Auffassung der Philosophie, seine Metaphysikkritik, sowie seine Betonung der Einheit der wissenschaftlichen Erkenntnis sind Züge eines Denkens, das auch im Wiener Kreis stark vertreten war. Die Ablehnung jedes *prinzipiellen* Unterschieds zwischen Sozial- und Naturwissenschaften bildete ein Hauptziel des ab den frühen 1930ern Jahren vor allem vom „linken Flügel“ des Wiener Kreises verfolgten Programms der „Einheitswissenschaft“¹²⁵². Otto Neurath und Philipp Frank, die zum linken Flügel des Wiener Kreises gehörten, berufen sich im Rahmen ihrer Verteidigung der Einheit der Wissenschaft u.a. an die Statistik – und zwar mit Argumenten, die an die erwähnten Argumente Zilsels stark erinnern¹²⁵³.

Philipp Frank nimmt zum Beispiel 1932 Zilsels bildlichen Vergleich zwischen der Entwicklung der Gesellschaft und dem Verhalten eines Gases erneut auf, um die

¹²⁵⁰ Diese Analogie erscheint wieder in Zilsel (1941), S. 570: „Historical phenomena are scarcely more difficult to predict than the weather and certainly not more difficult than volcanic eruptions and earthquakes. What would scientists think of a geophysicist who gives up the search for geophysical laws because of their inexactness?“. Vgl. auch Zilsel (1992 [1931c]).

¹²⁵¹ Über das gesellschaftliche, volksbildnerische und politische Engagement des Wiener Kreises vgl. insb. Stadler (1982), Stadler (1997) und Romizi (2012a). Hier sei nur erwähnt, dass der Verein „Ernst Mach“ auf Verlassung der schon mehrmals erwähnten österreichischen Freidenker gegründet wurde. Was insbesondere das politische Engagement betrifft, hat Dahms (1993, S. 477-478) behauptet, es hätte in der Wiener Zeit „eine regelmäßige tagende Arbeitsgemeinschaft“ gegeben, an der Zilsel, Neurath und der Parteivorsitzende der Sozialdemokraten und Theoretiker des Austromarxismus Otto Bauer teilnahmen.

¹²⁵² Zum Programm der „Einheitswissenschaft“ vgl. Nemeth (1981), S. 148-155; Schulte – McGuinness (Hrsg. 1992); Cartwright – Cat – Fleck – Uebel (1996), Part 3; Nemeth – Roudet (Hrsg. 2005).

¹²⁵³ Das bedeutet nicht, dass Zilsel mit dem Programm der „Einheitswissenschaft“ im Ganzen übereinstimmte: insbesondere die Idee, eine „Einheitswissenschaft“ auf „Protokollsätzen“ zu basieren, sah Zilsel kritisch: vgl. Zilsel (1932/33) und dazu Rutte (1993). Auch seine Rezension von Neuraths *Empirische Soziologie* enthält durchaus kritische Bemerkungen (vgl. Zilsel 1992 [1932c], und dazu Fleck 1993, S. 506-508). Zu dem von Neurath, Carnap und Morris geleiteten internationalen Projekt für eine *International Encyclopedia of Unified Science* wird aber Zilsel 1942 mit einem Artikel über die Probleme des Empirismus beitragen (Zilsel 1947 [1942c]).

materialistische Geschichtsauffassung zu untermauern¹²⁵⁴. Dabei hebt er als gemeinsamen Charakter beider Forschungsobjekte ihre nicht-deterministische Gesetzmäßigkeit hervor:

Die historischen und soziologischen Wissenschaften haben es [...] nicht mit den psychologischen Zuständen des einzelnen Menschen zu tun, sie sprechen von sozialen Zuständen wie Bevölkerungsdichte, Krankheiten, politischen Parteien, Staatsverfassungen usw. [...]

Wir müssen [...] annehmen, daß alle beobachtbaren Zustandsgrößen nur einen Makrozustand definieren, für den es überhaupt nie eine strenge Gesetzmäßigkeit gibt, sondern, wie wir später sehen werden, nur Vorhersagungen über das durchschnittliche Verhalten.¹²⁵⁵

Die Argumentationsstrategie, die sich auf den nicht-deterministischen Charakter *aller* Gesetze beruft, um die Einheit der Wissenschaft zu begründen, kommt bei Neurath noch klarer zum Ausdruck – so etwa in dem Aufsatz über „Soziologische Prognosen“, der 1936 in *Erkenntnis* veröffentlicht wurde:

Wenn er [d.h. der Soziologe] dafür plädiert, die soziologischen Prognosen wie die aller anderen Wissenschaften der Einheitswissenschaft des Physikalismus einzufügen, dann wird er weniger darauf hinweisen, daß die Soziologie ebenso Treffliches leistet wie die erfolgreichsten Wissenschaften, sondern darauf, daß gewisse Einschränkungen, die für die Soziologie offenbar Geltung haben, in gewissem Maße für alle Wissenschaften Geltung haben und daß die soziologischen Prognosen wissenschaftliche Prognosen wie alle anderen sind.¹²⁵⁶

Diese von Zilsel vertretene und von einem Teil des Wiener Kreises geteilte Argumentationslinie markiert die Wende vom Determinismus zum Indeterminismus mit Bezug eher auf die statistische Mechanik als auf die Quantenmechanik sowie mit einer bemerkenswerten Umdrehung des im 19. Jh. vertretenen Arguments zugunsten einer einheitlichen Auffassung der Wissenschaften: Während Quetelet für die Behauptung auf die Statistik zurückgegriffen hatte, Sozial- und Naturwissenschaften seien hinsichtlich der Determiniertheit gleichwertig (vgl. oben, §4.b), weisen jetzt Zilsel, Frank und Neurath auf den ‚bloß‘ statistischen Charakter aller Gesetzmäßigkeiten hin, um zu behaupten, dass die Naturwissenschaften genauso wie die Sozialwissenschaften von einem Maß an Undeterminiertheit oder Unbestimmtheit charakterisiert seien. Da wir am Anfang dieser ‚Reise‘ durch die Geschichte der Determinismusfrage bemerkt haben, dass der implizite wissenschaftliche Determinismus mit einer bestimmten (und zwar mit der klassischen)

¹²⁵⁴ Frank (1932), S. 204-209.

¹²⁵⁵ Frank (1932), S. 205.

¹²⁵⁶ Neurath ([1936] 1981), S. 776. Mehr über Statistik und Einheitswissenschaft bei Neurath findet man in Romizi (2012b).

Wissenschaftsauffassung zusammenhing, wird es uns nicht wundern, dass die Überwindung des wissenschaftlichen Determinismus von einer neuen Auffassung der Wissenschaftlichkeit begleitet ist, und zwar von einer, die sich als empirisch und pragmatisch versteht, und die einen „irrationalen Rest“ zulässt, ohne deswegen dem Irrationalismus verfallen zu müssen.

8. Zusammenfassung, Schlussbemerkungen, Ausblick

Den wissenschaftlichen Determinismus, den die Quantenmechanik angeblich überwunden haben soll, hat es nie gegeben. Vielmehr gab es in der Zeit von der Entwicklung der klassischen Mechanik bis zur Entstehung der Quantenmechanik eine Vielfalt von unterschiedlichen und sich verändernden deterministischen Konzepten, die mit der Wissenschaft – und insbesondere mit der Physik – mehr oder weniger eng verbunden waren. Diese Vielfalt habe ich in der vorliegenden Arbeit differenziert analysiert, indem ich die verschiedenen Konzeptionen des wissenschaftlichen Determinismus in ihre jeweiligen historischen Kontexte eingebettet habe. Dafür war es zunächst nötig, in systematischer Herangehensweise ein begriffliches Instrumentarium zu entwickeln, das über gängige, zu stark vereinfachende Unterscheidungen (z. B. zwischen „epistemischen“ und „ontologischen“ Determinismus) hinausgeht.

Ein solches Instrumentarium habe ich im Kap. 1 entwickelt, wobei es zunächst wichtig war, auf die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Konzept eines wissenschaftlichen Determinismus und anderen Konzepten – wie System, Kausalität, Zeit – aufmerksam zu machen. In weiterer Folge habe ich ein dreidimensionales Messsystem vorgeschlagen, das eine Einordnung und Analyse jeder Form des wissenschaftlichen Determinismus ermöglichen soll. Das erste Kriterium der „Festigkeit“ weist auf den Grad der Notwendigkeit des jeweiligen determinierenden Verhältnisses hin: dieses wurde historisch in mindestens drei verschiedenen Formen aufgefasst, zu denen anzumerken ist, dass sie nicht immer klar getrennt wurden: als Bikonditional, nach dem Muster der deduktiven Implikation; als zeitlich asymmetrisches Kausalverhältnis; als statistisches Verhältnis (im 19. Jh. war von einem „statistischen Determinismus“ die Rede - vgl. § 4.b). Als zweites Kriterium, mit dessen Hilfe die gebräuchliche, jedoch als unzulänglich zu bezeichnende Unterscheidung „epistemisch vs. ontologisch“ ersetzt werden soll, habe ich die „Tiefe“ vorgeschlagen: ich beziehe mich damit auf den Grad an *ontological commitment*, der in jeder Formulierung des wissenschaftlichen Determinismus steckt. Der wissenschaftliche Determinismus kann nämlich im realistischen Sinn gemeint werden (als Beschreibung der Welt an sich), im normativen Sinn (als Ziel jeder Theorie, die wissenschaftlich sein soll, sowie als notwendige Annahme jeder wissenschaftlichen Praxis), im pragmatischen Sinn (als bloß heuristisch fruchtbare, aber nicht notwendige Annahme) oder im feststellenden Sinn (als Beschreibung einer tatsächlichen, und daher notwendigerweise beschränkten, empirischen Evidenz). Schließlich sollte mittels eines dritten Kriteriums die „Breite“ des Objekts, dem ein deterministischer Charakter

zugeschrieben wird, eingeschätzt werden: denn dieser wurde im Laufe der Geschichte und bis heute auf sehr unterschiedliche Objekte bezogen, von sehr beschränkten, wie im Fall von „deterministischen Systemen“ oder „deterministischen Gesetzen“, bis auf die ganze Welt.

Diese begriffliche Differenzierung, die ich meiner historischen Betrachtung der Formen und der Wandlungen des wissenschaftlichen Determinismus vorausgeschickt habe, macht u.a. sofort klar, dass auch die Dichotomie „Determinismus vs. Indeterminismus“ unzulänglich ist: nicht immer ist das Gegenteil von „deterministisch“ gleich „indeterministisch“, und nicht jeder Ablehnung des Determinismus entspricht eine indeterministische Theorie. Für den Zugang, den ich für die vorliegende Arbeit gewählt habe, war es entscheidend, ein solches dichotomes Denken zu überwinden: der Fokus lag vielmehr auf den Formulierungen, den Schwächungen und den Ablehnungen des wissenschaftlichen Determinismus. Von indeterministischen Positionen habe ich nur dann gesprochen, wenn sie über eine Ablehnung des Determinismus hinaus als *positive* Behauptungen formuliert wurden, die man mit guten Gründen als „indeterministisch“ bezeichnen kann.

Mit diesem analytischen Instrumentarium ausgerüstet, habe ich eine kritische Revision der *received opinion* zum wissenschaftlichen Determinismus vorgenommen. Denn diese ist bis dato, wie ich in Kapitel 2 gezeigt habe, als mangelhaft und widersprüchlich zu bezeichnen, u.a. weil sie das Resultat eines extrem pauschalisierenden Rückblicks auf jahrhundertlange Entwicklungen der Wissenschaft und der Philosophie ist. Sie behauptet, dass der wissenschaftliche Determinismus in Zusammenhang mit der Newtonschen Mechanik entstanden ist: Newton war aber kein Determinist. Laplace erscheint in der *received opinion* als der Hauptvertreter des deterministischen Weltbilds, seine berühmte Fiktion einer alles vorhersagenden „Intelligenz“ betrat aber die Bühne der Ideengeschichte erst fast 150 Jahre nach der Veröffentlichung der Newtonschen *Principia*. Laplace selber sprach außerdem nie vom „wissenschaftlichen Determinismus“: dieser Begriff entstand erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts – wie Cassirer und Hacking festgestellt haben. Zu diesem Zeitpunkt war aber der wissenschaftliche Determinismus u.a. dank der sogenannten „probabilistischen Revolution“ schon *eroded* (der Ausdruck stammt von Hacking selbst).

Diese und andere Ungereimtheiten legen die Notwendigkeit nahe, der *received opinion* eine differenziertere und damit genauere Analyse der historischen Kontexte, in denen sich unterschiedliche Formen des wissenschaftlichen Determinismus entwickelten, entgegensetzen. Denn schließlich steht hier die Klärung eines Begriffes an, der innerhalb

der Entwicklung der Wissenschaften eine prägende Funktion einnahm und immer noch einnimmt.

Wenn man mit der *received opinion* davon ausgehen will, dass der wissenschaftliche Determinismus (sozusagen in seiner Ur-Form) in der klassischen Mechanik wurzelt und in der Laplaceschen Vorstellung einer allwissenden Intelligenz am besten dargestellt wird, kann man den wesentlich *mathematischen* Charakter des wissenschaftlichen Determinismus nicht übersehen. Der wissenschaftliche Determinismus gleicht also den zwei Behauptungen, dass eine vollkommen präzise mathematische Beschreibung eines „physikalischen“ Zustands im Prinzip immer möglich ist, und dass man anhand dieser auf die Beschreibung jedes vorigen oder späteren Zustands schließen kann. Dies geschieht typischerweise durch die Lösung von Differentialgleichungen: der wissenschaftliche Determinismus impliziert also auch, dass Differentialgleichungen immer und eindeutig gelöst werden können. In Bezug auf dieses Konzept habe ich von einem „impliziten wissenschaftlichen Determinismus“ gesprochen: es gab nämlich bis ins späte 19. Jh. keine explizite Lehre des wissenschaftlichen Determinismus. Der implizite wissenschaftliche Determinismus wirft einige Fragen auf. Was das in ihm dargestellte, determinierende Verhältnis zwischen Zuständen angeht, fällt die Identifizierung des mathematischen, zeitlosen Verhältnisses der Implikation mit einem zeitlich asymmetrischen Kausalverhältnis auf: eine solche Identifikation ist nur dann gerechtfertigt, wenn man den mathematischen Entitäten, die in den Differentialgleichungen vorkommen, eine unmittelbare physikalische Bedeutung zuschreibt. Diese Annahme einer unmittelbaren Realitätsbezogenheit der Mathematik (die Mechanik war lange ein Teil der Mathematik) basierte bei der Entwicklung der klassischen Mechanik weniger auf experimenteller Bestätigung mathematisch formulierter Voraussagen als vielmehr auf einem rationalistischen Realitätsbegriff. Dieser bewahrte den wissenschaftlichen Determinismus lange davor, empirisch widerlegt zu werden, wie ich in Kap. 2 betont habe.

Was die „Tiefe“ des wissenschaftlichen Determinismus angeht, wird es also aus dieser historischen Rekonstruktion in philosophischer Hinsicht klar, dass der Glaube an ihn im *realistischen* Sinn mit einer rationalistischen Einstellung stark zusammenhängt.

Der implizite Glaube an den wissenschaftlichen Determinismus, der mit der Entwicklung der klassischen Mechanik verbunden ist, wurde aber auch von einem bestimmten Wissenschaftsverständnis Aristotelischen Ursprungs gestützt. Dieses identifizierte die wissenschaftliche Erkenntnis mit der Kausalerkenntnis und betrachtete die Wissenschaft als geschlossenes deduktives System, bei dem jeder Satz aus allgemeingültigen und notwendigen

Prinzipien abgeleitet wird. Daraus folgt, dass der Mechanik als Wissenschaft noch drei wichtige Eigenschaften (neben der schon erwähnten (1) Realitätsbezogenheit) zugeschrieben wurden: (2) ein Ausschließlichkeitsanspruch als Beschreibung und Erklärung der Realität; (3) der Anspruch, eine Kausalerklärung der Phänomene zu sein; (4) die absolute Gewissheit. Es ist leicht zu erkennen, wie ein solches Wissenschaftsverständnis den wissenschaftlichen Determinismus wesentlich stabilisierte. Offensichtlich ist es nicht so sehr die klassische Mechanik an sich, die den wissenschaftlichen Determinismus impliziert: die klassische Mechanik ist heutzutage noch ein anerkannter Teil der Physik, auch wenn unser Weltbild (angeblich) kein deterministisches mehr ist. Vielmehr war es das Zusammenspiel der Mechanik mit einem bestimmten Realitäts- und Wissenschaftsverständnis, das den wissenschaftlichen Determinismus hervorbrachte.

War aber jener wissenschaftliche Determinismus, den die klassische Mechanik zusammen mit dem erwähnten klassischen Wissenschaftsverständnis implizierte, auch ein Weltbild, oder sogar eine Weltanschauung? Wenn man die Frage nach der „Breite“ des impliziten wissenschaftlichen Determinismus stellt, fällt einem eine gewisse Spannung auf: einerseits hätten jene Allgemeingültigkeit und Notwendigkeit (samt Ausschließlichkeitsanspruch), die das klassische Wissenschaftsverständnis der Mechanik *qua* Wissenschaft zuschrieb, suggerieren müssen, dass der in ihr enthaltene wissenschaftliche Determinismus in Bezug auf die ganze Realität gilt. Andererseits konnte man bis in das 19. Jh. hinein verhindern, dass der wissenschaftliche Determinismus (oder genauer: der Mechanismus, der im Gegensatz zum wissenschaftlichen Determinismus ein schon expliziter Begriff war) überzeugend und erfolgreich auch auf die Lebewesen und auf den menschlichen Willen und das menschliche Handeln bezogen wurde. Sowohl philosophische als auch wissenschaftliche Faktoren haben damals die Verallgemeinerung des wissenschaftlichen Determinismus bis zu einem Weltbild oder einer Weltanschauung verhindert. Was die Philosophie angeht, wirkten dualistische Vorstellungen (wie die Descartsche Dichotomie zwischen *res cogitans* und *res extensa* oder die Kantische zwischen *Phänomenon* und *Noumenon*), sowie die Vorstellung einer prinzipiellen Grenze der menschlichen Erkenntnis (z.B. bei Newton) gegen die Verallgemeinerung des wissenschaftlichen Determinismus. Was die Wissenschaft betrifft, konnte das deterministische wissenschaftliche Paradigma erst allmählich im Laufe des 19. Jahrhunderts die Bereiche der Biologie, der Physiologie, der Psychologie und der Sozialwissenschaften erfolgreich erobern, und nur dann eine Verallgemeinerung des wissenschaftlichen Determinismus glaubwürdig machen.

Dass der wissenschaftliche Determinismus gleichzeitig explizit gemacht und angefochten wurde, ist als Folge dieses Eindringens der mathematisch-physikalischen, deterministischen Denkweise in die wissenschaftliche Auseinandersetzungen mit dem Organischen und v.a. mit menschlichem Handeln zu bewerten. Hacking hat nämlich gezeigt, dass das Wort „Determinismus“ in Europa zunächst (ab dem Ende des 18. Jahrhunderts) im ethischen Sinn, d.h. in Bezug auf die Frage um die menschliche Willensfreiheit, benutzt wurde. Der Begriff eines „wissenschaftlichen Determinismus“ tauchte erst ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auf, und zwar im Rahmen von Debatten, bei denen vor allem Naturwissenschaftler und Philosophen sich mehr oder weniger direkt mit der Frage des freien Willens auseinandersetzten. Diese Diskussionen habe ich in Kap. 6 (sowie auch in § 4.b.) rekonstruiert: es ging darum, die schon vollzogene Erstreckung der naturwissenschaftlichen Perspektive auf die Betrachtung des Menschen und seines Handels, sowie ihre ethischen Folgen, zu reflektieren. Dies brachte offensichtlich auch eine Reflexion des wissenschaftlichen Weltbilds und der impliziten Annahmen der wissenschaftlichen Praxis mit sich.

Epistemologische und erkenntnistheoretische Reflexionen bezüglich des Gültigkeitsbereichs und des Realitätsanspruchs wissenschaftlicher Theorien wurden freilich auch vorher angestellt (wie u.a. die Kap. 3 und 4 meiner Arbeit verdeutlichen sollen): dabei handelte es sich aber um exklusive wissenschafts- und erkenntnistheoretische Überlegungen und Theorien, die nur eine kleine Minderheit von Fachleuten beschäftigten. Dank ihrer schon erwähnten neuen ethischen Implikationen, sowie ihrer zunehmenden Verbreitung und Popularisierung und ihrer technischen Auswirkungen, drangen dann die Wissenschaften (insbesondere die Naturwissenschaften) im Laufe des 19. Jahrhunderts mehr und mehr in das Leben der Menschen ein und nahmen bald weltanschauliche und ideologische Züge (vgl. Kap. 5) an. Der wissenschaftliche Determinismusbegriff wurde somit in einem öffentlichen, emotional beladenen und ideologischen Kontext explizit: für oder gegen den Determinismus zu sein konnte bedeuten, für oder gegen die Annahme eines freien Willens und die damit verbundene Eigenverantwortung des Menschen, für oder gegen die Kirche bzw. den religiösen Glauben, für oder gegen die Wissenschaft zu sein.

Rückblickend und aus der dritte-Person-Perspektive kann man aber frühere Entwicklungen bei der Ausarbeitung und Reflexion der klassischen Mechanik und bei der Entfaltung des wissenschaftstheoretischen Denkens identifizieren, die den wissenschaftlichen Determinismus im späten 19. Jh. als in vielen Hinsichten schwaches Konzept erscheinen lassen.

Was die „Tiefe“ des (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus betrifft: der immer stärkeren Formalisierung der Mechanik entsprach schon ab dem späten 18. Jh. ein wachsender Zweifel an ihrer Realitätsbezogenheit. Ein ähnlicher und zeitlich paralleler Prozess der „Entontologisierung“ von Kausalität und Gesetzen geschah auf der Meta-Ebene der Erkenntnistheorie – ausgehend, wie ich meine, von der Kantischen Philosophie. Bei Kant habe ich die Anfänge jener Relativierung der Gültigkeit und der Realitätsbezogenheit der Prinzipien der Mechanik und der Kausalität verortet, die sich im Laufe des 19. Jahrhunderts verstärkt hat. Diese allmähliche Relativierung hat in weiterer Folge zu konventionalistisch und pragmatisch gefärbten Auffassungen wissenschaftlicher Theorien (inklusive der in ihnen ausgedrückten Gesetzmäßigkeit) geführt. Anhand der Auffassung der Mechanik und der Kausalität bei Mach, Hertz und Poincaré (§ 3. c.) sollte gezeigt werden, wie diese Entwicklung vorangeschritten und gereift ist. Vor dem Hintergrund des in vielen Hinsichten schon modernen Wissenschaftsverständnisses der Genannten kommt dem impliziten wissenschaftlichen Determinismus, der in der Mechanik enthalten ist, eine andere Bedeutung zu: die Welt kann höchstens in einer gewissen Hinsicht, oder relativ zu gewissen Merkmalen, oder dank gewisser Ordnungsformen des erkennenden Subjekts als „deterministisch“ erscheinen.

Im 4. Kapitel habe ich eine Schwächung des impliziten wissenschaftlichen Determinismus hinsichtlich seiner „Festigkeit“ beleuchtet, die während desselben Zeitraums stattgefunden hat. Diese geschah hauptsächlich infolge der Verbreitung statistischer Methoden in den Sozial- und in den Naturwissenschaften im Laufe des 19. Jahrhunderts. Statistische Arbeits- und Denkweisen basierten auf einer ganz neuen Art von Gesetzmäßigkeit, die dem Einzelfall oder dem Einzelereignis einen gewissen Grad an Undeterminiertheit zumaß. Die statistische Gesetzmäßigkeit hat (*qua* Gesetzmäßigkeit) eine deterministische und (*qua* „bloß“ statistisch) eine indeterministische Seite: die deterministische Seite wurde im Bereich der Sozialwissenschaften viel stärker und teilweise als bedrohlich wahrgenommen, während die indeterministische in der Physik für Aufregung sorgte, indem sie dem impliziten dominanten Paradigma des Determinismus widersprach. Am Ende dieser Entwicklungen und deutlich *vor* der Entstehung der Quantenmechanik, waren sogar Formen des Indeterminismus zur Reife gekommen: eine neue Wahrscheinlichkeitsauffassung (der Frequentismus), sowie die statistische Erklärung thermodynamischer Prozesse, stützten sich beide auf die Annahme eines zufälligen Charakters der Einzelfälle bzw. einer grundlegenden Unordnung auf der Mikro-Ebene physikalischer Phänomene. Außerdem schien nun ein fundamentales

physikalisches Gesetz, der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, im Gegensatz zum klassischen Wissenschaftsideal bloß mit einer (sehr hohen) Wahrscheinlichkeit zu gelten.

Eine gewisse Ambiguität charakterisierte also den wissenschaftlichen Determinismus, als er in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts auftauchte und diskutiert wurde: einerseits wurde er auf unterschiedliche Weisen von populären Naturwissenschaftlern (wie Du Bois-Reymond, Helmholtz, Bernard, Ostwald, Haeckel, Poincaré) als Hauptteil des wissenschaftlichen Weltbildes öffentlich propagiert und auch als Argument gegen religiöse, konservative, irrationalistische, anti-intellektualistische oder wissenschaftsfeindliche Weltbilder eingebracht. Andererseits war er aber epistemologisch und wissenschaftlich bereits suspekt, fragwürdig und schließlich so weit obsolet geworden, dass dieselben Wissenschaftler teilweise in ihrem deterministischen Glauben zu schwanken schienen und ihre Zweifel in Bezug auf gewisse Aspekte des wissenschaftlichen Determinismus direkt oder indirekt äußerten. Anti-deterministische bis indeterministische Konzepte wurden von Denkern entwickelt, denen keine Wissenschaftsfeindlichkeit zugeschrieben werden kann (die meisten waren im Gegenteil als Wissenschaftler tätig), wie u.a. Fechner, Boussinesq, Boutroux, James und Peirce. Die Bandbreite der antideterministischen Argumente, die sie hervorbrachten, ist recht groß: nun wurde z.B. die schon erwähnte Argumentationslinie verfolgt, der zufolge die determinierenden Gesetze der Realität nicht ganz entsprechen; die Idee, nach der die menschliche Erkenntnis prinzipielle Grenzen hat, die nicht einmal die Laplacesche „Intelligenz“ überschreiten kann, wurde ebenfalls weiter verfolgt und sogar verstärkt (*Ignorabimus*); ein bestimmter Emergentismus wurde formuliert, laut dem die Gesetze, die in einer „Welt“ oder „Schicht“ oder Zeit herrschen, nicht für andere Welten oder Zeiten gelten; es wurde schließlich aufgezeigt, dass sowohl die Charakteristika der Differentialgleichungen als auch die Evidenz naturwissenschaftlicher Praxis dem Determinismus widersprechen. Es handelte sich meistens um keine Argumente für den Irrationalismus, trotzdem standen sie irrationalistischen oder wissenschaftsfeindlichen Autoren letztendlich zu Verfügung.

Michael Stöltzner und Deborah Coen haben rückblickend eine Tradition des „Wiener Indeterminismus“ rekonstruiert, die mir einen gelungenen Weg der Überwindung des damaligen ideologisierten Streites „Determinismus vs. Indeterminismus“ gewesen zu sein scheint (daher stellt sich aus meiner Sicht die Frage, ob man nicht treffender von einem „Wiener Probabilismus“ sprechen sollte). Der „Wiener Indeterminismus“, den ich insbesondere in der Phase zwischen dem späten 19. Jh. und dem Ersten Weltkrieg in Betracht

gezogen habe, vertrat ein empiristisches und fallibilistisches Wissenschaftsverständnis und legte Wert auf statistische Gesetze als Prototyp einer Gesetzmäßigkeit, die zwar (im Vergleich zu dem klassischen deterministischen Ideal) unvollkommen, aber verbindlich und verlässlich ist. Es handelte sich um die klare Einsicht, dass die Wissenschaft den klassischen wissenschaftlichen Determinismus entbehren kann, ohne dabei an Wissenschaftlichkeit zu verlieren. In Bezug auf die oben genannte ideologische Polemik war dieses Konzept v.a. deswegen richtungsweisend, weil es eine saubere Trennung zwischen der Ablehnung des wissenschaftlichen Determinismus und jeder Form des Irrationalismus ermöglichte.

Der Tradition des „Wiener Indeterminismus“ habe ich auch den Physiker und Philosophen Edgar Zilsel zugerechnet, der dem Wiener Kreis nahe stand. Seiner Philosophie habe ich ein umfangreiches Kapitel gewidmet, nicht nur um die dürftige Forschungslage zu diesem höchstinteressanten Denker zu erweitern, sondern auch deswegen, weil all die in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Entwicklungen in Bezug auf die Determinismusfrage in seiner Philosophie zusammengeführt und miteinander kombiniert erscheinen.

So beschäftigte sich Zilsel in seinem ersten Buch (1916) mit dem sogenannten „Anwendungsproblem“, womit er sich innerhalb der Tradition der Entwicklungen bewegte, die ich im Kap. 3 dargestellt habe, und – was noch wichtiger ist – mit neuer Klarheit den Zusammenhang zwischen Anwendungsproblem und Determinismusfrage zeigte. Auch sein Ansatz stand unter kantischem Einfluss: er fragte sich, welche die Möglichkeitsbedingungen dafür seien, dass unsere wissenschaftlichen Theorien einen Realitätsbezug haben und erfolgreich angewendet werden können. Im Zuge seiner sehr komplexen Lösung dieses Problems, die ich versucht habe, systematisch zu rekonstruieren (§7.b), entwickelte Zilsel sehr originelle und interessante indeterministische Konzepte. Originell ist etwa seine Idee, dass der wissenschaftliche Determinismus eine „gefühlsmäßige“, und keine „erkenntnismäßige“ Voraussetzung wissenschaftlicher Erkenntnis sei. Verblüffend und anregend ist seine Gegenüberstellung von Kausalität und deterministischem Weltbild, die man normalerweise als verwandtschaftlich miteinander verbunden begreift. Allgemein basiert aber Zilsels Lösung des Anwendungsproblems auf der „Lehre der Allverschiedenheit“, die an ähnliche, in den Kapiteln 3 und 4 von mir besprochene anti-deterministische und indeterministische Konzepte erinnert: etwa an die Machsche, von Exner wieder aufgegriffene Aussage, laut der die Natur *nur einmal* da ist; oder an jene „Indetermination durch Neuartigkeit“ (die Definition ist von Heidelberger), die von Fechner behauptet wurde; oder an die Überzeugung von Boutroux, dass die Realität von einer solchen Vielfalt und Veränderlichkeit charakterisiert ist, dass sie

sich nicht ausschließlich auf mathematische Verhältnisse zurückführen lässt. Zilsel löste das Anwendungsproblem, indem er das schon ältere Konzept einer „Allverschiedenheit“ auf innovative und kreative Weise neu auslegte, wobei er zu einem paradox anmutenden Ergebnis gelangte: wir müssen eine Art Indeterminismus annehmen, wenn die in unseren wissenschaftlichen Theorien ausgedrückte Gesetzmäßigkeit einen Realitätsbezug haben soll. Als Gesetzmäßigkeit betrachtete Zilsel nicht nur die streng kausale, sondern auch und vor allem die statistische (den Entwicklungen entsprechend, die ich im Kap. 4 dargestellt habe). Zilsel hat sich in der frühen Phase seiner Arbeit mit der Philosophie der Wahrscheinlichkeit und der Statistik sowie mit ihrer Anwendung in der Physik sehr intensiv beschäftigt. Eine diesbezüglich äußerst interessante Beobachtung besteht darin, dass sich seine Arbeit in diesem Bereich parallel zu jener der werdenden Logischen Empiristen Hans Reichenbach und Richard von Mises entwickelte. Noch bevor Mises dem Frequentismus 1919 eine präzise und axiomatische Form verliehen hatte, tendierte Zilsel bereits in diese Richtung. Doch der rationalistische und kantische Standpunkt, der beim frühen Zilsel neben dem empiristischen immer präsent war und mit diesem in einem gespannten Verhältnis stand, führte Zilsel auch zu einer frühen Anerkennung der Grenzen der frequentistischen Wahrscheinlichkeitsauffassung. Zilsel versuchte zur gleichen Zeit wie Reichenbach, die Gültigkeit der Wahrscheinlichkeitsgesetze (insbesondere des Gesetzes der großen Zahlen) transzendental zu deduzieren. Wie auch Reichenbach und Mises (allerdings mit anderen Ergebnissen) beschäftigte sich Zilsel zudem mit der Anwendung der Wahrscheinlichkeit in der Physik – z.B. in einem 1921 veröffentlichten und bisher in der Literatur kaum wahrgenommenen Aufsatz. Zilsel hat lange versucht, sowohl die Gültigkeit des Gesetzes der großen Zahlen als auch die Irreversibilität thermodynamischer Prozesse auf Varianten der schon erwähnten „Lehre der Allverschiedenheit“ zurückzuführen. Seine Auslegung des „Indeterminismus“ ist von diesen von 1915 bis 1928 immer neu abgewandelten Varianten charakterisiert. 1929 ergab sich für Zilsel anlässlich der vom *Verein Ernst Mach* in Prag organisierten „ersten Tagung für Erkenntnislehre der exakten Wissenschaften“ die Gelegenheit, sich mit den Logischen Empiristen aus Wien und Prag über das Thema Wahrscheinlichkeit direkt auszutauschen. Zilsel fand in diesem Rahmen weder im frequentistischen (Mises, Reichenbach) noch im logizistischen (Waismann, Dubislav, Carnap) „Block“ seinen Platz, u.a. auch deswegen (dies ist meine Vermutung), weil er in seinem Schwanken zwischen rationalistischem und empiristischem Standpunkt noch keine dezidierte Haltung in Bezug auf die Frage nach dem Verhältnis zwischen Theorie und Erfahrung gefunden hatte.

Trotzdem teilte Zilsel mit dem Wiener Kreis das gesellschaftliche und politische Engagement zugunsten einer „wissenschaftlichen Weltauffassung“, und fand dadurch erneut Gelegenheit zur Auseinandersetzung mit der Determinismusfrage. In dieser Hinsicht bietet sich Zilsel als exemplarische *case-study* an, um die in den Kapiteln 5 und 6 meiner Arbeit dargestellte weltanschauliche und politische Seite der Determinismusfrage weiter zu reflektieren. Die schon erwähnten anti-deterministisch bis indeterministischen Theorien Zilsels haben ihn an einem Kampf gegen den Irrationalismus keineswegs gehindert: im Gegenteil vertrat er, nachdem er behauptet hatte, dass sich der irrationale Charakter der Realität nicht ganz ausräumen ließ, einen „Willen zur Rationalisierung“ (d.h. vor allem: zum kausalen Denken) als ethisch und politisch relevante Aufgabe. Gestützt vom marxistischen Glauben an die Gesetzmäßigkeit historischer und sozialer Prozesse, dehnte Zilsel sein Programm der Rationalisierung ab den späten 1920er Jahren auch auf das Gebiet seiner sozialwissenschaftlichen Forschung (z.B. über den Geniebegriff) aus. Jene Gesetzmäßigkeit aber, die er vor Augen hatte, war wiederum hauptsächlich eine bloß statistische. Tatsächlich stand seine Auffassung der Wissenschaft und der Gesetzmäßigkeit Mach und dem „linken Flügel“ des Wiener Kreises näher als dem Marxismus. Insbesondere mit Philipp Frank und Otto Neurath teilte Zilsel jene nicht-deterministische Auffassung der Gesetzmäßigkeit, die eine einheitliche Auffassung der Sozial- und Naturwissenschaften ermöglichte: gerade durch die Schwächung des Gesetzesbegriffs und die Abkoppelung der Gesetzlichkeit vom Determinismus wird es möglich, Disziplinen, die keinen streng deterministischen Gesetzen verpflichtet sind, als im Prinzip genau so wissenschaftlich wie die Vorbildwissenschaft Physik zu betrachten.

Die historisch-philosophische Auseinandersetzung mit dem wissenschaftlichen Determinismus hat einige *philosophische Implikationen* hervorgebracht, die hier nochmals zusammengefasst werden sollen. Durch die historische Rekonstruktion hat sich gezeigt, dass es nicht sinnvoll ist, den Determinismusbegriff unabhängig von dem Wissenschaftsverständnis, das ihn begleitet, zu betrachten. Zunächst ist es nicht möglich, einen historisch bewussten Begriff des wissenschaftlichen Determinismus als ganz unabhängig von dem ethischen Determinismus zu betrachten: wie wir gesehen haben, entstand der wissenschaftliche Determinismusbegriff quasi als Variante des ethischen Determinismus, und zwar als jene Variante, die wissenschaftliche und angeblich deterministische Theorien als Evidenz gegen die menschliche Willensfreiheit anführte. Damit aber deterministische Gesetze oder Theorien als eine solche Evidenz angegeben werden

können – mit anderen Worten: damit man von diesen auf ein ganzes deterministisches Weltbild bzw. auf eine deterministische Weltanschauung schließen kann – ist auch noch ein bestimmtes Wissenschaftsverständnis notwendig, das gewisse Annahmen über die Gültigkeit und die Realitätsbezogenheit wissenschaftlicher Theorien enthält.

Keine deterministische Theorie – nicht mal eine so unglaublich erfolgreiche, fruchtbare und vorbildhafte wie die klassische Mechanik – kann nämlich *an sich* den wissenschaftlichen Determinismus als Weltbild oder Weltanschauung implizieren. Dafür muss die Theorie um zumindest drei Annahmen erweitert werden:

1. Realitätsbezogenheit: die in der Theorie enthaltene „Sprache“ (die mathematische) ist eine unmittelbare, eins-zu-eins Abbildung der Realität oder ihrer wesentlichen Züge;
2. Allgemeingültigkeit: die Gültigkeit der Theorie kann über alle gegenwärtige und zukünftige Forschungsgebiete erstreckt werden;
3. Ausschließlichkeitsanspruch: die von der deterministischen Theorie gelieferte Darstellung und Erklärung der Realität ist die einzige wahre bzw. ist die *einzig*e, die die wesentlichen Züge der Realität wiedergibt.

Ohne diese nicht physikalischen, sondern wissenschaftstheoretischen Annahmen kann keine physikalische Evidenz den wissenschaftlichen Determinismus untermauern: unter anderem wird es sinnlos, auf erfolgreiche Voraussagen als Evidenz für seine Gültigkeit zu verweisen. Dieser Erfolg könnte nämlich auf einer leeren Tautologie basieren: wenn die Welt und ihre Entwicklung genau auf jene Eigenschaften reduziert werden, die mathematisch bestimmt und vorausberechnet werden können, hat sie schon *per definitionem* einen deterministischen Charakter.

Von der erfolgreichen Übertragung des (impliziten) deterministischen Paradigmas auf die unterschiedlichsten Forschungsbereiche verstärkt, schrieben die Naturwissenschaftler im Laufe des 19. Jahrhunderts die Eigenschaften der Realitätsbezogenheit, der Allgemeingültigkeit und der Ausschließlichkeit mathematisch-physikalischen Theorien zu, und konnten sich so in die ethische Determinismusfrage einmischen. Dies geschah hauptsächlich auf der Bühne der Öffentlichkeit, wo sich mitunter auch Widerstand gegen die Wissenschaft *tout court* regte und in teilweise heftigen gegensätzlichen Reaktionen entlud. Jene Naturwissenschaftler aber, die Interesse und Verständnis für epistemologische Prozesse aufbrachten, erkannten, dass der Anspruch auf Realitätsbezogenheit, Allgemeingültigkeit und Ausschließlichkeit eigentlich schwierig zu rechtfertigen war. Der Bezug der Mathematik zur Realität oder zur Erfahrung war (und ist) immer noch nicht ganz klar (Anwendungsproblem). Dies wiederum lässt die Annahme noch unglaubwürdiger erscheinen, dass wissenschaftliche

Theorien die Realität (oder wenigstens ihre wesentliche Züge) ausschöpfen. Darum lässt sich auch der Ausschließlichkeitsanspruch nur schwer erheben, denn schließlich muss man davon ausgehen, dass es andere, nicht deterministische Ansätze zur Realität gibt, die genau so wertvoll, inhaltsreich und rational sind als jener, der die Realität auf ihre mathematischen Eigenschaften reduziert.

Mit diesen Problemen sehe ich den wissenschaftlichen Determinismus im Sinne eines auf wissenschaftlichen Theorien basierenden deterministischen Weltbilds oder einer deterministischen Weltanschauung immer noch behaftet. Man sollte aber nicht vergessen, dass genau dieselben Probleme den Schluss von indeterministischen Theorien auf den Indeterminismus als Weltbild oder Weltanschauung verhindern. Ausgehend von einem modernen Wissenschaftsverständnis, das die Theorien als Modelle auffasst, die also keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit und Ausschließlichkeit haben, kann man z.B. schwer von der Quantenmechanik auf die Existenz des Zufalls oder die Möglichkeit der Willensfreiheit schließen.

Die Frage, ob der wissenschaftliche Determinismus im normativen oder im heuristischen Sinn gelten soll, hängt ebenfalls vom jeweiligen vorherrschenden Wissenschaftsverständnis ab. Sind all jene wissenschaftlichen Theorien, die keine deterministischen Gesetze enthalten, als mangelhaft, unvollkommen, oder gar unwissenschaftlich zu betrachten? Und: müssen alle Wissenschaftler wenigstens bei ihrer wissenschaftlichen Tätigkeit von einem deterministischen Weltbild ausgehen? Diese Frage ist genau so schwierig zu beantworten, wie die Frage, ob statistische Gesetze deterministisch oder indeterministisch sind. Beide Fragen hängen nämlich völlig von dem Wissenschaftsverständnis ab, das man voraussetzt. Einerseits sind statistische Gesetze das Resultat eines „Willens zur Rationalisierung“, d.h. des Willens, Kausalzusammenhänge zu finden. Man kann sich schwer eine Wissenschaft vorstellen, die einen solchen Willen nicht impliziert (noch schwieriger wird eine solche Vorstellung, wenn man „Wissenschaft“ mit *science* übersetzt). Andererseits enthalten (und manchmal sogar postulieren) statistische Gesetze einen Grad an Undeterminiertheit und Unvorhersagbarkeit, der heutzutage nicht mehr an sich als Zeichen der Unwissenschaftlichkeit betrachtet wird. So hängt die wissenschaftliche Determinismusfrage von den Kriterien ab, die das historisch spezifische Wissenschaftsverständnis bezüglich der Entscheidung über die Wissenschaftlichkeit einer Theorie vorgibt.

Die Gültigkeit des wissenschaftlichen Determinismus (sowie des Indeterminismus) kann also niemals bloß anhand wissenschaftlicher Theorien eingeschätzt werden, sondern hängt sehr

stark vom jeweiligen Wissenschaftsverständnis ab, wobei der konventionelle und historisch bedingte Charakter des Letzteren noch offensichtlicher ist, als der der Ersteren.

Abschließend möchte ich aus *historisch*-philosophischer Sicht auf zwei wichtige Forschungslücken hinweisen, die meine Arbeit nicht schließen kann, deren Füllung aber zu einem besseren Verständnis des wissenschaftlichen Determinismus wesentlich beitragen würde.

Die erste betrifft den wissenschaftlichen Determinismus in jener Zeit, in der er noch kein expliziter Begriff war. Eine historisch-philosophische Analyse des von mir so genannten „impliziten wissenschaftlichen Determinismus“ ist bislang ein *Desideratum*. Eine auf einer gründlichen Untersuchung der primären Quellen basierte Auseinandersetzung mit den Formen des Determinismus, die ab der Neuzeit vorhanden waren (§2.b.), steht noch aus. Zu klären wäre hierbei insbesondere das Verhältnis dieser frühen Formen zueinander sowie zum Konzept des wissenschaftlichen Determinismus.

Die zweite Forschungslücke, auf die ich hinweisen möchte, ist wahrscheinlich noch bedeutsamer: sie betrifft die Rolle der Biologie, und insbesondere der Evolutionstheorie, bei der Entstehung des expliziten wissenschaftlichen Determinismusbegriffs. Ich habe der Biologie in dieser Arbeit nur wenig Beachtung geschenkt, möchte aber an dieser Stelle auf die wichtige und kaum zu übersehende Rolle hinweisen, die etwa die Evolutionstheorie in der Entwicklung der Determinismusfrage im späten 19. Jh. gespielt hat. Mir scheint diese Rolle von einer gewissen Ambiguität charakterisiert zu sein. Einerseits konnten sich diejenigen auf die Evolutionstheorie berufen, die den Menschen und sein Verhalten restlos als Teil der Natur betrachten wollten, und die daher dazu tendiert haben, das deterministische Paradigma der Physik auf die Erforschung des Menschen zu erstrecken (man denke z.B. an die von mir erwähnte Position der österreichischen Freidenker). Andererseits scheint es mir klar zu sein, dass einige in dieser Arbeit erwähnte anti-deterministische Konzepte von der Evolutionstheorie inspiriert wurden. Ich beziehe mich z.B. auf die Idee, dass Naturgesetze nicht absolut gelten, sondern selbst einem historischen Wandeln unterzogen sind und/oder relativ zu den jeweiligen menschlichen Bedürfnissen sind (Mach, Nietzsche, Boutroux, Peirce). Oder auch auf das Konzept von zufälligen „Abweichungen“ aus den Gesetzen, die große, unvorhersehbare Folgen haben (bei Peirce wird dieses Konzept ganz explizit mit der Darwinistischen Evolutionstheorie verbunden). Die Betrachtung der Entwicklungen der Biologie ab der Mitte des 19. Jahrhunderts würde es schließlich auch ermöglichen, die Bedeutung der sogenannten *probabilistic revolution* für die Determinismusfrage genauer

einzuschätzen, denn Naturforscher wie Francis Galton und Karl Pearson haben zur Praxis und Reflexion der statistischen Methoden wesentlich beigetragen.

Um ein adäquates Verständnis des wissenschaftlichen Determinismusbegriffs zu erlangen, scheint mir noch viel Forschung nötig zu sein, denn die gegenwärtige *received opinion* zur Natur und Geschichte dieses Begriffs basiert kaum auf den Ergebnissen von Forschung in diesem Bereich. Mit dieser Arbeit hoffe ich, darauf aufmerksam gemacht und einen Beitrag in diese Richtung geleistet zu haben.

LITERATUR

Albert, K. (1995): *Lebensphilosophie*. Freiburg – München: Alber

Aristoteles (1995a): *Physik*, in: Aristoteles, *Philosophische Schriften in sechs Bänden*, Bd. 6, Hamburg: Felix Meiner

--- (1995b): *Zweite Analytik*, in: Aristoteles, *Philosophische Schriften in sechs Bänden*, Bd. 6, Hamburg: Felix Meiner

Arnold, V.I. (1989²): *Mathematical Methods of Classical Mechanics*, New York / Berlin / Heidelberg / London / Paris / Tokyo: Springer

Ash, M. G. – Stifter, C. H. (Hrsg.) (2002): *Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit. Von der Wiener Moderne bis zur Gegenwart*, Wien.

Bağ, M. (2000): „Structure versus Process: Mach, Hertz, and the Normative Aspect of Science“, in: *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 31, No. 1

Baird, D. - Hughes, R.I.G. - Nordmann, A. (1998): *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers

Barrow-Green, J. (1997): *Poincaré and the Three Body Problem*, Providence, RI: American Mathematical Society

Bavink, B. (1916): Besprechung von: Edgar Zilsel, *Das Anwendungsproblem* (1916), in: *Zeitschrift für den Physikalischen und Chemischen Unterricht*, XXIX, 1916

Beller, M. (1999): *Quantum Dialogue: The Making Of A Revolution*, Chicago

Bellone, E. (1998): *Storia della fisica moderna e contemporanea*, Torino: Utet, 1998

Ben-Menahem, Y. (2001): “Convention: Poincaré and Some of His Critics”, in: *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol. 52, No. 3: 471-513

Berkeley (2005 [1710]): *Eine Abhandlung über die Prinzipien der menschlichen Erkenntnis* (deutsche Übers. von *A Treatise Concerning the Principles of Human Knowledge*, Stuttgart: Reclam

Bergson, H. (1963 [1889]) : *Essai sur les données immédiates de la conscience*, in: Bergson, *Oeuvres*, Paris : Presses Univ. de France

- - - (1963 [1907]) : *L'évolution créatrice*, in: Bergson, *Oeuvres*, Paris : Presses Univ. de France

Bernard, C. (1966 [1865]): *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Paris : Garnier-Flammarion

Bishop, R. (2002): "Deterministic and indeterministic descriptions", in: Atmanspacher, H. und Bishop, R. (Eds.), *Between Chance and Choice*, Thorverton: Imprint Academic

Blackmore, J. (1995): *Ludwig Boltzmann. His later Life and Philosophy, 1900-1906*, Vol. 2: "The Philosopher", Dordrecht

Boelitz, O. (1907): *Die Lehre vom Zufall bei Émile Boutroux*, Leipzig: Quelle & Meyer

Boltzmann, L. (2001 [1866]): „Über die mechanische Bedeutung des Zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 1

- - - (2001 [1872]): „Weitere Studien über das Wärmegleichgewicht unter Gasmolekülen“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 1

- - - (2001 [1877]): „Über die Beziehung zwischen dem zweiten Hauptsatze der mechanischen Wärmetheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung respektive den Sätzen über das Wärmegleichgewicht“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 2

- - - (2001 [1895]): „On Certain Questions of the Theory of Gases“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 3

- - - (2001 [1896]): „Entgegnung auf die wärmetheoretischen Betrachtungen des Hrn. Zermelo“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 3

- - - (2001 [1897]): „Zu Hrn. Zermelos Abhandlung „Über die mechanische Erklärung irreversibler Vorgänge“, in: Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ., Bd. 3

- - - (1974 [1902]): "Model", in: *Encyclopedia Britannica*, 10th ed., Nachdruck in: Boltzmann, *Theoretical Physics and Philosophical Problems* (hrsg. von B. McGuinness), Dordrecht: Reidel, 1974

- - - (1905): *Populäre Schriften*, Leipzig: Barth

- - - (1990 [1903-06]): *Ludwig Boltzmann. Principien der Naturphilosophie. Lectures on Natural Philosophy*, Heidelberg-Berlin-New York

- - - (1999): „Boltzmann's Philosophy Notes for Three Lectures (Fall 1903)“, in: *Synthese*, **119**, No. 1/2: 191-202

Borzeszkowski, H.-H. – Wachsner, R. (1980): *Newton und Voltaire*, Berlin: Akademie-Verlag

Boussinesq, J. (1877): "Sur la conciliation de la liberté morale avec le déterminisme scientifique“, in : *C.R. de l'Académie des Sciences de Paris*, LXXXIV, 1877 : 362-364

- - - (1878) : *Cours de physique mathématique de la Faculté des Sciences. Complément au Tome III : Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars

- - - (1879) : „Le déterminisme et la liberté. Lettre au Directeur du Journal des Savants“, in : *Revue Philosophique*, Janvier 1879

Boutroux, É. (1908⁶ [1874]) : *De la contingence des lois de la nature* ; Paris : Alcan

- - - (1895): *De l'idée de loi naturelle dans la science et la philosophie contemporaines. Cours professé à la Sorbonne en 1892-1893*, Paris : Lecène, Oudin et Cie

- - - (1911a) : *Die Kontingenzen der Naturgesetze*, berechtigte deutsche Übersetzung von Boutroux (1908⁶ [1874]) von J. Benrubi, Jena: Diederichs

- - - (1911b): *William James*, Paris : Colin

Braudel, F. (1958) : « Histoire et Sciences sociales : La longue durée », in : *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 13^e Année, No. 4 : 725-753

Brian, É. (2001 [1994]): *Staatsvermessungen. Condorcet, Laplace, Turgot und das Denken der Verwaltung*, Deutsche Übersetzung von: *Le mesure de l'État. Administrateurs et géomètres au XVIII^e siècle*, Wien : Springer

- - - (2009) : *Comment tremble la main invisible*, Paris : Springer

Bricmont, J. et al. (Hrsg. 2001): *Chance in Physics. Foundations and Perspectives*, Berlin / Heidelberg / New York: Springer

Brittan, G.G. (1978): *Kant's theory of science*, Princeton, New Jersey: Princeton Univ. Press

Brunner, O. (1956): *Neue Wege der Sozialgeschichte*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

Brush, S. (1965): *Kinetic Theory*, Vol. 1: *The Nature of Gases and of Heat*, Pergamon Press, Oxford

- - - (1966): *Kinetic Theory*, Vol. 2: *Irreversible Processes*, Pergamon Press, Oxford

- - - (1976a): *The Kind of Motion We Call Heat: A History of the Kinetic Theory of Gases in the 19th Century*, North-Holland

- - - (1976b): “Irreversibility and Indeterminism: Fourier to Heisenberg”, in: *Journal of the History of Ideas*, Vol. 37, No. 4: 603-630

- - - (2003): *The Kinetic Theory of Gases: An Anthology of Classic Papers with Historical Commentary*, Imperial College Press

- - - (2006): “Ludwig Boltzmann and the Foundations of Natural Science”, in: Fasol–Boltzmann – Fasol, (2006): *Ludwig Boltzmann (1844-1906). Zum hundertsten Todestag*, Wien – New York

Buckle, H.T. (1865): *History of Civilization in England*, Leipzig: Brockhaus

- Burch, R. (2013): "Charles Sanders Peirce", in: *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*: (Spring 2013 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/spr2013/entries/peirce/>
- Butterfield, J. (1998): "Determinism and Indeterminism", in: Craig, E. (Hrsg.) *Routledge Encyclopaedia of Philosophy*, London/New York
- Campaner, R. (2007): *La causalità tra filosofia e scienza*, Bologna: Archetipolibri, 2007
- Campbell, J.K. – O' Rourke, M. – Shier, D. (Hrsg. 2004): *Freedom and Determinism, Topics in Contemporary Philosophy Series*, Cambridge Mass.: MIT Press
- Carnap, R. (1930/31): Beiträge zu: "Diskussion über Wahrscheinlichkeit", in: *Erkenntnis*, I, 1930/31: 260f.
 - - - (1950): *Logical Foundations of Probability*, Chicago: University of Chicago Press
- Cartwright, N. (1983): *How the laws of physics lie*, Oxford, New York: Clarendon Press
- Cartwright, N. – Cat, J. – Flek, L. – Uebel, T. (1996): *Otto Neurath: Philosophy between Science and Politics*, Cambridge: Cambridge University Press
- Carus, P. (1892a): "Mr. Charles S. Peirce's Onslaught on the Doctrine of Necessity", in: *The Monist*, Vol. 2 No. 4 (July, 1892): 560-582
 - - - (1892b): "The Idea of Necessity, its Basis and its Scope", in: *The Monist*, Vol. 3 No. 1 (October, 1892): 68-96
- Cassirer, E. (1999 [1906]), *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, in: *Gesammelte Werke*, Bd. 2, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
 - - - (1927/29): *Philosophie der symbolischen Formen*, Berlin: Cassirer
 (2004 [1937]): *Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik*, in: *Gesammelte Werke*, Bd. 19, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Cercignani, C. (1997): *Ludwig Boltzmann e la Meccanica Statistica*, Pavia: La Goliardica Pavese
 - - - (2001): "The Rise of Statistical Mechanics", in: Bricmont, J. – Dürr, D. – Galavotti, M.C. – Ghirardi, G. – Petruccione, F. – Zanghí, N. (Hrsg.): *Chance in Physics. Foundations and Perspectives*, Berlin / Heidelberg / New York / Barcelona / Hong Kong / London / Milan / Paris / Singapore / Tokyo: Springer
- Ceriani, F. – Sangiorgio, B. (1995): *Modelli e realtà. La fisica e l'arte di comprendere il mondo*, Bd. 3, Milano: Marietti

Christiansen, F. V. (2006), "Heinrich Hertz's Neo-Kantian Philosophy of Science, and Its Development by Harald Høffding", in: *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 37, No. 1 (Mar. 2006), pp. 1-20

Clifford, R. (2005): "Determinism, scientific", in: Honderich, T., *The Oxford Companion to Philosophy*, 2nd. Ed., New York

Coen, D.R. (2002): "Scientists' errors, nature's fluctuations, and the law of radioactive decay, 1899-1926", in: *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, Vol. 32, No. 2: 179-205

- - - (2007): *Vienna in the Age of Uncertainty. Science, Liberalism, and Private Life*, Chicago and London

Cohen, E.G.D. – Thirring, W. (eds. 1973): *The Boltzmann Equation. Theory and Applications*, Wien / New York: Springer

Cohen, I.B. (1987): "Scientific Revolutions, Revolutions in Science, and a Probabilistic Revolution 1800-1930", in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Conti, F. – Irrera Conti, S. (2003): "On Science and Literatur: A Lesson from the Bernard-Zola Case", in: *BioScience*, Vol. 53, No. 9: 865-69

Coscullela, V. (1992): "Peirce on Tychism and Determinism", in: *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, Vol. 28 No. 4 (Fall, 1992): 741-755

Cournot, A.A. (1841): *Traité élémentaire de la théorie des fonctions et du calcul infinitésimal*, Paris : Hachette.

Csendes, P. – Oppl, F. (Hrsg. 2006) : *Wien. Geschichte einer Stadt. Von 1790 zur Gegenwart*, Wien : Böhlau

Dahms, H.-J. (1993) : „Edgar Zilsels Projekt 'The Social Roots of Science' und seine Beziehungen zur Frankfurter Schule“, in: Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg.), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Holder-Pichler-Tempsky

Daniel, U. (2001): *Kompodium Kulturgeschichte: Theorien, Praxis, Schlüsselwörter*, Frankfurt am Main : Suhrkamp

Daston, L. (1995²): *Classical Probability in the Enlightenment*, Princeton, NJ : Princeton Univ. Press

Daub, E. E. (1969): "Probability and Thermodynamics: The Reduction of the Second Law", in: *Isis*, Vol. 60, No. 3: 318-330

Daum, A. W. (2002): *Wissenschaftspopularisierung im 19. Jahrhundert: bürgerliche Kultur, naturwissenschaftliche Bildung und die deutsche Öffentlichkeit, 1848-1914*, München

Deltete, R. (1999): "Helm and Boltzmann: Energetics at the Lübeck Naturforscherversammlung", in: *Synthese*, Vol. 119, No. 1 / 2: 45-68

Descartes, R. (1908 [1644]): *Die Prinzipien der Philosophie*, Deutsche Übersetzung von *Principia Philosophiae*, Leipzig: Verlag der Dürr'schen Buchhandlung

Deutsches Wörterbuch von Jacob und Wilhelm Grimm, bearbeitet von A. Götze, (1955), Leipzig

Dewey, J. (1893): „The Superstition of Necessity“, in: *The Monist*, Vol. 3 No. 3 (April, 1893): 362-379

D'Holbach, P.T. (1960 [1770]): *System der Natur oder von den Gesetzen der physischen und der moralischen Welt*, Berlin: Aufbau-Verlag

Dhurout, E. (1941): *Claude Bernard. Sa vie. Son œuvre. Sa philosophie*, Paris : Presses Universitaires de France

Diderot, D. (1995 [1771]): *Jaques der Fatalist und sein Herr*, Berlin: Aufbau-Verlag

Diels, H. – Kranz, W. (1903): *Die Fragmente der Vorsokratiker*, Berlin: Wiedmannische Buchhandlung

Dijksterhuis, E.J. (2002 [1950]): *Die Mechanisierung des Weltbildes*, Berlin/Heidelberg/New York: Springer.

Diemer, A. (Hrsg. 1968): *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert* (Studien zur Wissenschaftstheorie, 1), Meisenheim am Glan: Hain

Dilthey, W. (1990 [1907]): *Das Wesen der Philosophie*, in: *Gesammelte Schriften*, Bd. V, Stuttgart: Teubner und Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

- - - (1962 [1911]): *Weltanschauungslehre. Abhandlungen zur Philosophie der Philosophie*, in: *Gesammelte Schriften*, Bd. VIII, Stuttgart: Teubner und Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

Dragosits, S. (2000): *Wissenschaftsberichtserstattung in österreichischen Tageszeitungen. Der Informations- und Kommunikationsfluss zwischen Wissenschaftssystem, Mediensystem*

und Öffentlichkeit, Dissertation an der Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften der Universität Wien

Drehse, V. – Spahn, W. (1996): *Vom Weltbildwandel zur Weltanschauungsanalyse. Krisenwahrnehmung und Krisenbewältigung um 1900*, Berlin

Du Bois-Reymond, E. (1912 [1886/87]): *Reden*, Bd. I und Bd. II, Leipzig: Veit
 - - - (1974): *Vorträge über Philosophie und Gesellschaft (1818-96)*, Hrsg. von S. Wollgast, Hamburg: Meiner

Duhamel, J.M.C. (1845): *Cours de mécanique de l'école polytechnique*, vol. 1, Paris : Bachelier

Dux, G. (1982): *Die Logik der Weltbilder. Sinnstrukturen im Wandel der Geschichte*, Frankfurt am Main

Dvořák, J. (1981): *Edgar Zilsel und die Einheit der Erkenntnis*, Wien: Löcker

- - - (1990): „Einleitung“ zu: Zilsel, E., *Die Geniereligion. Ein kritischer Versuch über das moderne Persönlichkeitsideal, mit einer historischen Begründung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

- - - (1993): „Wissenschaft als gesellschaftliche Auseinandersetzung und als kollektiver Arbeitsprozess – Edgar Zilsel und sein Werk“, in: Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg.), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Holder-Pichler-Tempsky

Earman, J. (1982): *A Primer on Determinism*, Dordrecht/Boston/Lancaster/Tokio: Reidel

- - - (2004): “Determinism: What We Have Learned and What We Still Don't Know”, in: Campbell, J.K. – O' Rourke, M. – Shier, D. (Hrsg.) (2004): *Freedom and Determinism, Topics in Contemporary Philosophy Series*, Cambridge Mass.

Einstein, A. (1921): *Geometrie und Erfahrung. Erweiterte Fassung des Festvortrages, gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921*, Berlin: Springer

Eisler, R. (1964 [1930]): *Kant Lexikon*, Hildesheim: Georg Holms Verlagsbuchhandlung

Engelhardt, Dietrich von (2007), „Das Ignorabimus Du Bois-Reymonds in Medizin und Psychiatrie“, in: Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007): *Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert*, Bd. 3: *Der Ignorabimus-Streit*, Hamburg: Meiner

Engler, O. (2007): „Wissenschaftliche Philosophie und moderne Physik I. Hans Reichenbach und Moritz Schlick über Naturgesetzlichkeit, Kausalität und Wahrscheinlichkeit in Zusammenhang mit der Relativitäts- und der Quantentheorie“, Preprint / Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, 331

Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Hrsg. von Mittelstraß, J. (1980-2008), Stuttgart

Erkenntnis (1930-31), hrsg. Von R. Carnap und H. Reichenbach, Bd. 1., Leipzig: Meiner

Esfeld, M. (2000): "Is Quantum Indeterminism Relevant to Free Will?", in: *Philosophia Naturalis* 37, S. 177-87

Exner, F.S. (1909): *Über Gesetze in Naturwissenschaft und Humanistik. Inaugurationsrede gehalten am 15. Oktober 1908*, Wien und Leipzig: Hölder

- - - (1919): *Vorlesungen über die physikalischen Grundlagen der Naturwissenschaften*, Wien: Deuticke

Fasol – Boltzmann, I. M. – Fasol, G. L. (2006): Ludwig Boltzmann (1844-1906). Zum hundertsten Todestag, Wien – New York

Fechner, T. (1849): „Über das Causalgesetz“, online-Text unter:
<http://gutenberg.spiegel.de/buch/1093/14> (Stand: März 2013)

- - - (1897): *Kollektivmaßlehre*, Leipzig: Engelmann

Feigl, H. (1953): „Notes on Causality“, in: Feigl, H. – Brodbeck, M. (Hrsg.), *Readings in the Philosophy of Science*, New York: Appleton-Century-Crofts

Feigl, H. – Brodbeck, M. (Hrsg. 1953), *Readings in the Philosophy of Science*, New York: Appleton-Century-Crofts

Felt, U. (1996): „Öffentliche Wissenschaft“. Zur Beziehung von Naturwissenschaften und Gesellschaft in Wien von der Jahrhundertwende bis zum Ende der Ersten Republik“, *ÖZG* 7/1996/1, S. 45-66

- - - (2002): „Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit – Wechselwirkungen und Grenzverschiebungen“, in: Ash, M. G. – Stifter, C. H. (Hrsg.) (2002): *Wissenschaft, Politik und Öffentlichkeit. Von der Wiener Moderne bis zur Gegenwart*, Wien.

Ferrari, M. (2002a): "Sources for the History of the Concept of Symbol from Leibniz to Cassirer", Ch. 1 of: Ferrari Stamatescu (Eds.) (2002): *Symbol and Physical Knowledge. On the Conceptual Structure of Physics*, Berlin: Springer

- - - (2002b): "The concept of symbol from Leibniz to Cassirer", in: Ferrari Stamatescu (Hrsg.) (2002): *Symbol and Physical Knowledge. On the Conceptual Structure of Physics*, Berlin: Springer.

Ferrari, M. – Stamatescu, I.-O. (Eds.) (2002): *Symbol and Physical Knowledge. On the Conceptual Structure of Physics*, Berlin: Springer.

Fest, U. (Hrsg. 2010): *Historical Perspectives on Erklären and Verstehen*, Dordrecht/Heidelber/London/New York: Springer

Finkelstein, G. (2003): "M. du Bois-Reymond goes to Paris", in : *The British Journal for the History of Science*, Vol. 36, No.3 : 261-300

Flamm, D. "Life and Personality of Ludwig Boltzmann", in: Cohen, E.G.D. – Thirring, W. (Hrsg.), *The Boltzmann Equation. Theory and Applications*, Wien – New York: Springer

Fleck, C. (1993): "Marxistische Kausalanalyse und funktionale Wissenschaftssoziologie. Ein Fall unterbliebenen Wissenstransfers", in: Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg.), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Holder-Pichler-Tempsky

Forman, P. (1971): „Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-27: Adaptation of German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment“, in: *Historical Studies in the Physical Sciences*, **3**, 1-114

Fortino, M. (1993): *Convenzione e razionalità scientifica in Henri Poincaré*, Soveria Manelli: Rubbettino

Frank, P. (1907), "Kausalgesetz und Erfahrung", in: *Annalen der Naturphilosophie*, **6**, 1907
- - - (1928), "Über die 'Anschaulichkeit' physikalischer Theorien", in: *Die Naturwissenschaften*, **8**, 121-128

- - - (1932), *Das Kausalgesetz und seine Grenzen*, Wien: Springer

- - - (1949 [1938]): "Bemerkungen zu E. Cassirer: Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik"; englische Übers.: "Determinism and indeterminism in modern physics", in: *Modern Science and its Philosophy*, Cambridge: Harvard University Press

- - - (1949): *Modern Science and its Philosophy*, Cambridge: Harvard University Press

(Der) Freidenker. Zentralorgan des „Freidenkerbund Österreichs“, Wien, 1897-1933

Friedman, M. (1992): *Kant and the exact sciences*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

- - - (Hrsg. 1999): *Reconsidering Logical Positivism*, Cambridge Mass.: Cambridge University Press

- - - (1999a): "Geometry, convention, and the relativized a priori: Reichenbach, Schlick and Carnap", in: Friedman (Hrsg. 1999), *Reconsidering logical positivism*, Cambridge: Cambridge University Press (S. 59-70)

- - - (2001): *The Dynamics of Reason*, Stanford: CLSI

- - - (2007): "The evolution of the a priori in logical empiricism", in: A. Richardson - T. Uebel (Hrsg. 2007), *The Cambridge companion to logical empiricism*, Cambridge: Cambridge University Press (S. 91–116).

Friedman, M., Normann, A. (Eds. 2006): *The Kantian legacy in nineteenth-century science*, Cambridge Mass.: MIT Press

Galavotti, M. C. (2000): *Probabilità*, Milano: La Nuova Italia

- - - (2005): *Philosophical Introduction to Probability*, Stanford

- - - (2007): “Confirmation, Probability, and Logical Empiricism”, in: Richardson – Uebel (Hrsg.), *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*, Cambridge [u.a.]: Cambridge University Press

- - - (2008): “Probability”, in: Psillos – Curd (eds.), *The Routledge Companion to Philosophy of Science*, London Routledge, 2008.

Galilei, G. (1938 [1623]): *Il Saggiatore*, in: Galilei, *Opere*, Bd. II., Milano-Roma: Rizzoli

Gallavotti, G. (2008): “Introduction”, in: Gallavotti – Reiter – Yngvason (Hrsg. 2008): *Boltzmann's Legacy*, Zürich: European Mathematical Society

Gallavotti, G. – Reiter, W. – Yngvason, J. (Hrsg. 2008): *Boltzmann's Legacy*, Zürich: European Mathematical Society

Garber, E. W. (1972): “Aspects of the Introduction of Probability into Physics”, *Centaurus*, 17 (1972): 11-39

Gendron, P. (1992): *Claude Bernard: Rationalité d'une méthode*, Paris : Librairie Philosophique J. Vrin

Giedymin, J. (1982): *Science and Convention. Essays on Henri Poincaré's Philosophy of Science and the Conventionalist Tradition*, Oxford: Pergamon

Giere, R. (1999): *Science without Laws*, Chicago: Chicago University Press

Gigerenzer, G. et. al. (1989): *The Empire of Chance: how probability changed science and everyday life*, Cambridge

Gillies, D. (2000): *Philosophical theories of Probability*, London – New York: Routledge

Gillispie, C. C. (1963): “Intellectual Factors in the Background of Analysis by Probabilities”, in A.C. Crombie (ed.), *Scientific Change*, New York: Basic Books Inc.

Gomperz, H. (1905): *Weltanschauungslehre. Ein Versuch die Hauptprobleme der allgemeinen theoretischen Philosophie geschichtlich zu entwickeln und sachlich zu bearbeiten*, Bd. I, Jena und Leipzig

Gori, P. (2009): *Il meccanicismo metafisico. Scienza, filosofia e storia in Nietzsche e Mach*, Bologna: Il Mulino

Götz, C.M. - Pankratz, T. (1993): "Edgar Zilsels Wirken im Rahmen der Wiener Volksbildung und Lehrerfortbildung", in: Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg.), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Holder-Pichler-Tempsky

Gramsci, A. (1999 [1935]): Gefängnisheft 28, in: *Gefängnishefte*, Hamburg: Argument

Grande, F. – Visscher, M.B. (Hrsg. 1967): *Claude Bernard and Experimental Medicine*, Massachussets: Schenkman Publishing Company

Gregory, F. (2006): "Extending Kant: The Origins and Nature of Jakob Friedrich Fries's Philosophy of Science", in: Friedman, M. / Normann, A. (Eds.), *The Kantian legacy in nineteenth-century science*, Cambridge Mass.: MIT Press, 2006

Guicciardini, N. (1999): *Reading the Principia: The Debate on Newton's Mathematical Methods for Natural Philosophy from 1687 to 1736*, Cambridge: Cambridge University Press
 - - -, (2011): *Newton*, Roma: Carocci.

Guinet, L. (1923): Review of: J. Boussinesq, *Cours de physique mathématique de la Faculté des Sciences. Complément au Tome III : Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars, 1922³, in : *ISIS*, VI. 5, No. 2 : 483-484

Gunn, A. (1920): *Bergson and his Philosophy*, London: Methuen & Co.
 - - - (1932a): "Renouvier: The Man and His Work (I)", in: *Philosophy*, Vol. 7, No. 25: 42-53
 - - - (1932b): "Renouvier: The Man and His Work (II)", in: *Philosophy*, Vol. 7, No. 26: 185-200

Hacking, I. (1975): *The Emergence of Probability*, Cambridge: Cambridge University Press
 - - - (1983): "Nineteenth Century Cracks In The Concept Of Determinism", in: *Journal of the History of Ideas*, 1983, vol. 44, n. 3, S. 455-75
 - - - (1987a), "Was There a Probabilistic Revolution 1800-1930?", in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press
 - - - (1987b): "Prussian Numbers 1860-1882", in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press
 - - - (1990): *The Taming of Chance*, Cambridge: Cambridge University Press

Haeckel, E. (ca. 1940 [1899]): *Die Welträtsel. Gemeinverständliche Studien über monistische Philosophie*, Leipzig: Alfred Kröner Verlag

Hahn, H. (1917): "Besprechung von: Edgar Zilsel, *Das Anwendungsproblem*", *Monatshefte für Mathematik und Physik*, XXVIII, 1917

Haller, R. (1985): „Der erste Wiener Kreis“, in: *Erkenntnis*, **22**: 341-358

Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg. 1993), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Hölder-Pichler-Tempsky

Hanisch, E. (1994): *Der lange Schatten des Staates: österreichische Gesellschaftsgeschichte im 20. Jahrhundert*, Wien: Uebberreuter

Harman, P. M. (Hrsg.. 1995): *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1998): *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*, Cambridge: Cambridge University Press

Hasenöhl, F. (Hrsg. 2001): Boltzmann, *Wissenschaftliche Abhandlungen*, Providence, RI: AMS Chelsea Publ.

Heidegger, M. (1938): „Die Zeit des Weltbildes“, in: ders.: *Holzwege*, Bd. 5 der *Gesamtaufgabe*, Frankfurt

Heidelberger, M. (1987): “Fechner’s Indeterminism: From Freedom to Laws of Chance”, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press

- - - (1992): *Die innere Seite der Natur. Gustav Theodor Fechners wissenschaftlich-philosophische Weltauffassung*, Frankfurt am Main: Klostermann

- - - (1998): “From Helmholtz’s Philosophy of Science to Hertz’s Picture-Theory”, in: Baird / Hughes / Nordmann: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1998

- - - (2002): “Weltbildveränderungen in der modernen Physik vor dem Ersten Weltkrieg”, in: Vom Bruch, R. – Kaderas, B., *Wissenschaften und Wissenschaftspolitik. Bestandsaufnahmen zu Formationen, Brüchen und Kontinuitäten im Deutschland des 20. Jahrhunderts*, Stuttgart

- - - (2009): „Contingent Laws of Nature in Émile Boutroux“, in: Heidelberger – Schiemann (Hrsg. 2009), *The Significance of the Hypothetical in the Natural Sciences*, Berlin – New York: De Gruyter

- - - (2010): “From Mill via von Kries to Max Weber: Causality, Explanation and Understanding”, in: Uljana Fest (Hrsg.), *Historical Perspectives on Erklären and Verstehen*, Dordrecht/Heidelber/London/New York: Springer

Heidelberger, M. – Schiemann, G. (2009): *The Significance of the Hypothetical in the Natural Sciences*, Berlin: de Gruyter

Helmholtz, H. ([1879] 1959): *Abhandlungen zur Philosophie und Geometrie*, herausgegeben und eingeleitet von Sibile S. Gehlhaar, Cuxhaven.

- - - (2002 [1896]): *Gesammelte Schriften*, Herausgegeben von Jochen Brüning, Bd. V. 1: „Vorträge und Reden“, Hildesheim – Zürich – New York
- - - (1998 [1921]): *Schriften zur Erkenntnistheorie*, hrsg. von M. Schlick und P. Hertz, Wien (u.a.): Springer

Henrich, J. (2010): *Die Fixierung des modernen Wissenschaftsideal durch Laplace*, Berlin: Akademie Verlag

Herneck, F. (1960): „Einleitung“, in: W. Ostwald, *Wissenschaft contra Gottesglauben: Aus den atheistischen Schriften des großen Chemikers*, hrsg. von F. Herneck, Leipzig: Urania-Verlag

- - - (1987): „Vorwort“ zu Mach ([1923] 1987), *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen*, Leipzig

Hertz, H. (1959 [1894]): *Drei Bilder der Mechanik. Einleitung zu ‚Die Prinzipien der Mechanik‘*, Mosbach/Baden: Physik Verlag

Historisches Wörterbuch der Philosophie, Hrsg. von Ritter, J. - Gründer, K. - Gabriel, G. (1971-2007), Darmstadt.

Hitchcock, C. (2002): “Probabilistic causation”, in: *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy* (Fall 2002 Edition), Edward N. Zalta (ed.),
URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2002/entries/causation-probabilistic/>

Hobbes, T. (1996 [1651]): *Leviathan*, Hamburg: Felix Meiner Verlag

Hoefer, Carl, "Causal Determinism", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2003 Edition), Edward N. Zalta (ed.),
URL = <<http://plato.stanford.edu/archives/spr2003/entries/determinism-causal/>>.

Höffe, O. (2010): *Thomas Hobbes*, München: Beck

Höflechner, W. (Hrsg.) (1994): *Ludwig Boltzmann. Leben und Briefe*, Graz

Holmes, F.L. (1974): *Claude Bernard and Animal Chemistry. The Emergence of a Scientist*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press

Hörz, H. – Wollgast, S. (1986): “Hermann von Helmholtz und Emil Du Bois-Reymond. Wissenschaftsgeschichtliche Einordnung in die naturwissenschaftlichen und philosophischen Bewegungen ihrer Zeit“, in: *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil Du Bois-Reymond 1846-1894*, Hrsg. von C. Kirsten, Berlin: Akademie Verlag

Höttinger, M. (1949): *Der Fall Wahrmond*, Dissertation an der Universität Wien

H. P. H. (1923): Review of: J. Boussinesq, *Cours de physique mathématique de la Faculté des Sciences. Complément au Tome III : Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars, 1922³, in : *The Mathematical Gazette*, Vol. 11, No. 166 : 392

Hume (1978 [1739/40]): *A Treatise of Human Nature*, Oxford: Oxford University Press

Hüttemann, A. (2002): "Heinrich Hertz and the Concept of a Symbol", Ch. 5 of: Ferrari Stamatescu (Hrsg.) (2002): *Symbol and Physical Knowledge. On the Conceptual Structure of Physics*, Berlin: Springer

Israel, G. (1991): „Il determinismo e la teoria delle equazioni differenziali ordinarie“, *Physis. Rivista Internazionale di Storia della Scienza*, Vol. XXVIII, Fasc. 2.

- - - (1998): "Il determinismo meccanico e il suo ruolo nelle scienze", in M. Cini (Hrsg.): *Caso, necessità, libertà*, Napoli: Cuen, 1998: 45-62.

James, W. (1920 [1878]) : "Remarks on Spencer's Definition of Mind as Correspondence", in: James, W., *Collected Essay and Reviews*, New York: Longmans, Green and Co.

- - - (1927 [1879]): "The Sentiment of Rationality", in: *The Will to Believe and other essays in popular philosophy by William James*, New York – London: Longmans, Green and Co.

- - - (1927 [1884]): "The Dilemma of Determinism", in: *The Will to Believe and other essays in popular philosophy by William James*, New York – London: Longmans, Green and Co.

- - - (1892): Review of *Les Principes de la Nature* by Charles Renouvier, in : *The Philosophical Review*, Vol. 2 No. 2 (Mar. 1893) : 212-18

- - - (1984 [1892]): *Psychology: A Briefer Course*, Cambridge Mass. – London: Harvard Univ. Press

- - - (1927 [1896]): "The Will to Believe", in: *The Will to Believe and other essays in popular philosophy by William James*, New York – London: Longmans, Green and Co.

Janiak, A. (2009): "Newton's Philosophy", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Winter 2009 Edition)*, Edward N. Zalta (ed.),

URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2009/entries/newton-philosophy/>

Jardine, N. (2003): „Essay Review: Zilsel's Dilemma“ (review of: Zilsel, *The Social Origins of Modern Science*), in: *Annals of Science*, **60**: 85-94

Jaspers, K. (1960 [1919]): *Psychologie der Weltanschauungen*, Berlin: Springer

Jodl, F. (1911): *Zufall, Gesetzmäßigkeit, Zweckmäßigkeit*, Vortrag gehalten in der feierlichen Sitzung der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften am 31. Mai 1911, Wien: Hölder

Kamlah, A. (1987): "The Decline of the Laplacian Theory of Probability: A Study of Stumpf, von Kries, and Meinong", in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Kane, R. (Hrsg. 2002): *The Oxford Handbook of Free Will*, Oxford

Kant, I.: (1997 [1786]): *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Hamburg: Meiner

- - - (1998 [1781¹]): *Kritik der reinen Vernunft* (nach Ausgabe A), Hamburg: Meiner

- - - (1998 [1787²]): *Kritik der reinen Vernunft* (nach Ausgabe B), Hamburg: Meiner

- - - (2001 [1783]): *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik*, Hamburg: Meiner

Karpinski (1921): „Hermann von Helmholtz“, in: *The Scientific Monthly*, Vol. 13, No. 1: 24-32

Kelsen, H. (1982 [1941]): *Vergeltung und Kausalität*, Wien/Köln/Graz: Hermann Böhlau

Kierkegaard, S. (1961 [1841]): *Über den Begriff der Ironie. Mit ständiger Rücksicht auf Sokrates*, in: Kierkegaard, *Gesammelte Werke*, 31. Abteilung, Düsseldorf/Köln: Eugen Diederichs Verlag

Kirsten, C. (1986 Hrsg.): *Dokumente einer Freundschaft. Briefwechsel zwischen Hermann von Helmholtz und Emil Du Bois-Reymond 1846-1894*, Berlin: Akademie Verlag

Klein, M.J. (1973): “The Development of Boltzmann’s Statistical Ideas”, in: Cohen, E.G.D. / Thirring, W. (Hrsg.), *The Boltzmann Equation. Theory and Application*, Acta Physica Austriaca (Supplementum X), Proceedings of the International Symposium “100 Years Boltzmann Equation” in Vienna, 4th-8th September 1972

Knapp, G. F. (1871/72): “Die neuern Ansichten über Moralstatistik”, in: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, **16**, S. 237-250, 1871/72

Koyré, A. (1965): *Newtonian Studies*, Chicago: University of Chicago Press

Krajewski, M. (2006): *Restlosigkeit: Weltprojekte um 1900*, Frankfurt am Main: Fischer Taschenbuch Verl.

Krohn, W. (1976): „Zur soziologischen Interpretation der neuzeitlichen Wissenschaft“, in: E. Zilsel, *Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft* (Hrsg. von W. Krohn), Frankfurt am Main: Suhrkamp

Krüger, L. (1987): „The Slow Rise of Probabilism“, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. I*, Cambridge, Mass.: MIT Press

- - - (1994): *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren*, Berlin: Akademie Verlag

Krüger, L. – Daston, L. – Heidelberger, M. (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. I*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Krüger, L. – Gigerenzer, G. – Morgan, M. (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 2*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Kuhn, T. (1977 [1975]): „Verschiedene Begriffe der Ursache in der Entwicklung der Physik“, in: L. Krüger (Hrsg.), T. Kuhn, *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

---, (1977 [1976]), „Mathematische versus experimentelle Traditionen in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften“, in: L. Krüger (Hrsg.), T. Kuhn, *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

---, (1977 [1961]), „Die Funktion des Messens in der Entwicklung der physikalischen Wissenschaften“, in: L. Krüger (Hrsg.), T. Kuhn, *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

Kügler, P. (2002): *Die Philosophie der primären und sekundären Qualitäten*, Paderborn: mentis

Kuprian, H. J. W. (1997): „An der Schwelle zum 20. Jahrhundert – Staat und Gesellschaft vor dem ersten Weltkrieg“, in: Steininger, R. – Gehler, M (Hrsg. 1997): *Österreich im 20. Jahrhundert. Von der Monarchie bis zum Zweiten Weltkrieg*, Wien / Köln / Weimer: Böhlau

Küster, S. (2008): *Medizin im Roman. Untersuchungen zu ‚Les Rougon-Macquart‘ von Émile Zola*, Göttingen: Cuvillier Verlag

Lambert, Kevin (2011): „The uses of analogy: James Clerk Maxwell’s ‘On Faraday’s Lines of Force’ and early Victorian analogical arguments“, in: *BJPS*, **44**(1): 61-88.

La Mettrie, J.O. (1985 [1748]): *Der Mensch als Maschine*, Nürnberg: LSR-Verlag.

Lange, F. A. (1974 [1887]): *Geschichte des Materialismus und Kritik seiner Bedeutung in der Gegenwart*, Bd. II, Frankfurt am Main: Suhrkamp

Laplace, P.-S. (1986 [1825⁵]): *Essai philosophique sur les probabilités*, Paris: Christian Bourgois

- - - (1932): *Philosophischer Versuch über die Wahrscheinlichkeit*, Hrsg. von R. von Mises, Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft

Lazarsfeld, P. F. (1961): „Notes on the History of Quantification in Sociology – Trends, Sources and Problems“, *Isis*, Vol. 52, No. 2, 1961, S. 277-333

Leborgne, D. (1982): *Calcul différentiel et géométrie*, Presses Universitaires de France

Lécuyer, B.-P. (1987): „Probability in Vital and Social Statistics: Quetelet, Farr, and the Bertillons“, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press

- Leibniz, G.W. (1903): *Opuscles et fragments inédits*, hrsg. Couturat, L., Paris 1903
 - - - (1966): *Hauptschriften zur Grundlegung der Philosophie*, 2 Bände, Hrsg. von E. Cassirer, Hamburg: Meiner
 - - - (2002 [1714]): *Monadologie und andere metaphysischen Schriften*, Französisch-deutsche Ausgabe, (hrsg. von U.J. Schneider) Hamburg: Meiner
- Lenhard, J. – Krohn, W. (2005): „Das Gesetz der großen Zahlen. Edgar Zilsels Versuch einer Grundlegung physikalischer und sozio-historischer Gesetze“, in: Hartbecke – Schütte (Hrsg.), *Gesetze der Natur. Historische und systematische Perspektiven*, Paderborn: Mentis
- Lenoir, T. (2006): “Operationalizing Kant: Manifolds, Models, and Mathematics in Helmholtz’s Theories of Perception”, in: Friedman, M. / Normann, A. (Eds.), *The Kantian legacy in nineteenth-century science*, Cambridge Mass.: MIT Press, 2006
- Leroux, J. (2010): *Une histoire comparée de la philosophie des sciences*, Vol. I: *Aux sources du Cercle de Vienne*, Québec: Presses de l’Université Laval
- Locke, J. (1979 [1690]): *An Essay concerning Human Understanding*, Oxford: University Press
- Ludwig, G. (1990): „Ist der Determinismus eine Grundvoraussetzung für Physik?“, in: Marx, W. (Hrsg.) (1990): *Determinismus – Indeterminismus. Philosophische Aspekte physikalischer Theoriebildung*, Frankfurt a. Main
- Mach, E.: (1909 [1872]): *Die Geschichte und die Wurzel des Satzes von der Erhaltung der Arbeit*, Leipzig: Barth
 - - - (2012 [1912⁷]): *Die Mechanik in ihrer Entwicklung. Historisch-kritisch dargestellt*, Ernst-Mach-Studienausgabe, Bd. 1, hrsg. von G. Wolters und G. Hon, Berlin: Xenomoi
 - - - (2008 [1911⁶]): *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*, Ernst-Mach-Studienausgabe, Bd. 1, hrsg. von G. Wolters, Berlin: Xenomoi
 - - - (2011 [1906²]): *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*, Ernst-Mach-Studienausgabe, Bd. 2, hrsg. von E. Nemeth und F. Stadler, Berlin: Xenomoi
 - - - (1987 [1923]): *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen*, Wien – Köln – Graz
- MacLeod, R. (1982): „The ‚Bankruptcy of Science‘ Debate: The Creed of Science and its Critics, 1885-1900“, in: *Science, Technology, & Human Values*, Vol. 7, No. 41: 2-15
- Malament, D. B. (2008): „Norton’s Slippery Slope“, in: *Philosophy of Science* **75** (2008): 799-816
- Mannheim, K. (1929): *Ideologie und Utopie*, Bonn: Cohen

Marx, W. (1990): „Einleitung“, in: Marx, W. (Hrsg.) (1990): *Determinismus – Indeterminismus. Philosophische Aspekte physikalischer Theoriebildung*, Frankfurt a. Main

Masaryk, T. (1884): *D. Hume's Skepsis und die Wahrscheinlichkeitsrechnung*, Wien: Konegen

- - - (1964 [1899]): *Die philosophischen und sociologischen Grundlagen des Marxismus*, Osnabrück: Zeller

Maus, H. (1972): „Vorwort“ zu: Zilsel, *Die Entstehung des Geniebegriffes. Ein Beitrag zur Ideengeschichte der Antike und des Frühkapitalismus*, Hildesheim – New York: Olms

Maxwell, J. C. (1890 [1853]): „On Faraday's lines of force“, in: Maxwell, *Scientific Papers*, vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1890 [1860]): „Illustrations of the Dynamical Theory of Gases“, in: Maxwell, *Scientific Papers*, vol. 1, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1995 [1866]): „Abstract of the Paper: On the Dynamical Theory of Gases“, in: Harman, P. M. (ed. 1995), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1867a): „On the Dynamical Theory of Gases“, in: *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 157: 49-88

- - - (1995 [1867b]): „Letter to Peter Guthrie Tait“ (11 December 1867), in: Harman, P. M. (ed. 1995), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1902 [1871]): *Theory of Heat*, London / New York / Bombay: Longmans, Greens and co.

- - - (1995 [1872-73]): „Manuscript on the Classification of the Physical Sciences“, in: Harman, P. M. (ed. 1995), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1995 [1873a]): „Essay for the Eranus Club on Science and Free Will: Does the Progress of Physical Science Tend to Give Any Advantage to the Opinion of Necessity (or Determinism) over that of the Contingency of Events and the Freedom of the Will?“, in: Harman, P. M. (ed. 1995), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1995 [1873b]): „Drafts of Lecture on ‘Molecules’“, in: Harman, P. M. (ed. 1995), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1890 [1873c]): „Molecules“(A Lecture delivered before the British Association at Bradford), in: Maxwell, *Scientific Papers*, vol. 2, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (2002 [1874]): „Drafts on the Methods of Physical Science“, in: Harman, P. M. (ed. 2002), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 3, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (2002 [1875 ca.]): „Note to Tait ‘Concerning Demons’“, in: Harman, P. M. (ed. 2002), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 3, Cambridge: Cambridge University Press

- - - (1878): Review of: *Paradoxical Philosophy. A Sequel to the "Unseen Universe"* (London: Macmillan and Co., 1878), in: *Nature*, Vol. XIX, No. 477, 1878: 141-143.

- - - (2002 [1879]): "Letter to Francis Galton of 26 February 1879", in: Harman, P. M. (ed. 2002), *The Scientific Papers and Letters of James Clerk Maxwell*, vol. 3, Cambridge: Cambridge University Press

Meier, H. G. (1967): *"Weltanschauung". Studien zu einer Geschichte und Theorie des Begriffes*, Diss an der Westfälischen Wihlelms-Universität zu Münster, 1967.

Mendelsohn, E. (1965): „Physical Models and Physiological Concepts: Explanation in Nineteenth-Century Biology“, in: *The British Journal for the History of Science*, Vol. 2, No. 3: 201-219

Mensching, G. (2007): "Unbeschränkter Fortschritt und Grenze des Erkennens. Zu einer Antinomie im Denken der Aufklärung“, in: Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007): *Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert*, Bd. 3: *Der Ignorabimus-Streit*, Hamburg: Meiner

Melamed, Y. - Lin, M. (2011): "Principle of Sufficient Reason", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2011 Edition), Edward N. Zalta (ed.), forthcoming URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2011/entries/sufficient-reason/>

Meyenn, K. von (Hrsg.) (1990): *Triumph und Krise der Mechanik. Ein Lesebuch zur Geschichte der Physik*, München – Zürich: Piper

Mikl-Horke, G. (2011): *Soziologie. Historischer Kontext und soziologische Theorie-Entwürfe*, 6. Auflage, München: Oldenbourg Verlag

Mises, R. von (1912): „Über die Grundbegriffe der Kollektivmaßlehre“, in: *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung*, **21**, 1912: 9-20

- - - (1918): „Einfache und exakte Ableitung des Maxwellschen Geschwindigkeitsverteilungssatzes“, in: *Physikalische Zeitschrift*, **19**, 1918: 81-86.

- - - (1919a): „Fundamentalsätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, in: *Mathematische Zeitschrift*, **4**, 1919:1-97

- - - (1919b): „Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, in: *Mathematische Zeitschrift*, **1-2**, 1919: 52-99

- - - (1920): „Ausschaltung der Ergodenhypothese in der physikalischen Statistik“, in: *Physikalische Zeitschrift*, **21**, 1920: 225-232, 256-262

- - - (1928): *Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit*, Wien: Springer

- - - (1930/31a): „Über kausale und statistische Gesetzmäßigkeit in der Physik“, in: *Erkenntnis*, I: 189-210

- - - (1930/31b): Beiträge zu: „Diskussion über Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, **I**: 260-285

- - - (1964): *Mathematical Theory of Probability and Statistics*, hrsg. posthum von Hilda Geiringer, New York: Acad. Press

Montague, R. (1974): "Deterministic Theories", in: Thomason, R.H. (Hrsg.), *Formal Philosophy*, New Haven/London

Nemeth, E. (1981): *Otto Neurath und der Wiener Kreis. Revolutionäre Wissenschaftlichkeit als politischer Anspruch*, Frankfurt – New York: Campus Verlag

- - - (1997): "'Wir Zuschauer' und das 'Ideal der Sache'. Bemerkungen zu Edgar Zilsels Geniereligion", in: Stadler, F. (Hrsg.), *Bausteine wissenschaftlicher Weltauffassung*, Wien: Springer

- - - (2007): "Logical Empiricism and the History and Sociology of Science", in: Richardson, A. – Uebel, T., (eds.) *The Cambridge Companion to Logical Empiricism*, Cambridge, USA

- - - (2011): "Edgar Zilsel on Historical Laws", in: Dieks – Gonzalez – Hartmann – Uebel – Weber (eds.), *Explanation, Prediction, and Confirmation. The Philosophy of Science in a European Perspective*, Vol. 2: 521-532

Nemeth, E. – Roudet, N.(Hrsg. 2005): *Paris – Wien. Enzyklopädien im Vergleich*, Wien – New York: Springer

Neurath, O. (1981 [1914/15]): „Zur Klassifikation von Hypothesensystemen (Mit besonderer Berücksichtigung der Optik)“, in: Neurath, *Gesammelte philosophische und methodologische Schriften*, Bd. 1, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky

- - - (1921): *Anti-Spengler*, Münschen: Callwey

- - - (1930/31): Beiträge zu: „Diskussion über Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, I: 260-285

- - - (1981 [1935]): „Einheit der Wissenschaft als Aufgabe“, in: Neurath, *Gesammelte philosophische und methodologische Schriften*, Hrsg. von R. Haller und H. Rutte, Bd. 2, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky

- - - (1981 [1936]): „Soziologische Prognosen“, in: Neurath, *Gesammelte philosophische und methodologische Schriften*, Hrsg. von R. Haller und H. Rutte, Bd. 2, Wien: Hölder-Pichler-Tempsky

Newton, I. (1999 [1725/29³]): *Die mathematischen Prinzipien der Physik*, V. Schüller (Hrsg.), Berlin/New York: De Gruyter

Nietzsche, F. (2009 [1878]): *Menschliches, Allzumenschliches*, KSA 2, München: Deutscher Taschenbuch Verlag

- - - (1999 [1882]): *Die fröhliche Wissenschaft*, KSA 3, München: Deutscher Taschenbuch Verlag

Nordmann, A. (1998): "'Everything could be different': the *Principles of Mechanics* and the Limits of Physics", in: Baird / Hughes / Nordmann: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1998

Norton, J.D. (2003): "Causation as Folk Science", in: *Philosopher's Imprint*, Vol. 3 No. 4, Nov. 2003

- - - (2008): "The dome: an unexpectedly simple failure of determinism", in: *Philosophy of Science* 75 (2008): 786-98

Nye, M.J. (1976): "The Moral Freedom of Man and the Determinism of Nature: The Catholic Synthesis of Science and History in the 'Revue des questions scientifiques'", *The British Journal for the History of Science*, Vol. 9, No. 3: 274-292

- - - (1979): "The Boutroux Circle and Poincaré's Conventionalism", in: *Journal of the History of Ideas*, 40 (1): 107-120.

Olmsted, J.M.D. (1938): *Claude Bernard, Physiologist*, New York: Harper & Brothers

Olmsted, J.M.D. – Olmsted, E.H. (1952): *Claude Bernard and the Experimental Method in Medicine*, New York: Henry Schumann

Orth, E. W. (1989): "Ideologie und Weltanschauung. Zur Pathologie zweier Begriffe", in: *Aufklärungsperspektiven. Weltanschauungsanalyse und Ideologiekritik*, Tübingen

Ostwald, W. (1902): *Vorlesungen über Naturphilosophie: gehalten im Sommer 1901 an der Universität Leipzig*, Leipzig: Veit

- - - (1911): *Die Wissenschaft: Vortrag*, Leipzig: Kröner

- - - (1960): *Wissenschaft contra Gottesglauben: Aus den atheistischen Schriften des großen Chemikers*, hrsg. von F. Herneck, Leipzig: Urania-Verlag

Pape, H. (2002): *Der dramatische Reichtum der konkreten Welt. Der Ursprung des Pragmatismus von Charles S. Peirce und William James*, Weilerswist: Velbrück Wissenschaft

Peirce, C.S. (1891): „The Architecture of Theories”, in: *The Monist*, Vol. 1 No. 2 (January, 1891): 161-176

- - - (1892): "The Doctrine of Necessity Examined", in: *The Monist*, Vol. 2 No. 3 (April, 1892): 321-337

- - - (1893a): "Evolutionary Love", in: *The Monist*, Vol. 3 No. 2 (January, 1893): 176-200

- - - (1893b): "Reply to the Necessitarians", in: *The Monist*, Vol. 3 No. 4 (July, 1893): 526-570

Plaass, P. (1965): *Kants Theorie der Naturwissenschaft*, Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht

Planck, M. (1933 [1914]): „Dynamische und statistische Gesetzmäßigkeit“, in: *Wege zur physikalischen Erkenntnis. Reden und Vorträge*, Leipzig: Hirzel

- - - (1990 [1948]): *Max Planck. Wissenschaftliche Selbstbiographie*, in: *Acta historica leopoldina*, 19 (1990), Halle/Saale: Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina

- Poincaré, J.-H. (1890) : *Sur le Problème des Trois Corps et les Équations de la Dynamique*, in : *Acta Mathematica*, XIII : 1-278
- - - (1892-97): *Les méthodes nouvelles de la Mécanique céleste*, in drei Bänden, Paris, Gauthier-Villars
- - - (1902) „Sur la valeur objective de la science“, in: *Revue de métaphysique et de morale*, **10** : 263-293, Paris : Armand Colin
- - - (2003 [1902]): *La science et l'hypothèse / La scienza e l'ipotesi*, Originaltext und italienische Übersetzung, Milano: Bompiani
- - - (1920 [1908]): *Science et méthode*, Paris: Flammarion
- - - (1912) : “Chance”, engl. Übersetzung von Poincaré (1920 [1908]), Kap. 4, in : *The Monist*, Vol. 22, No. 1: 31-52.
- - - (2002): *L'opportunisme scientifique*, hersg. von L. Rollet nach einem Plan von L. Rougier, Basel: Birkhäuser.
- Pollok, K. (1997): “Einleitung” in: I. Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, Hamburg: Meiner 1997
- Popper, K. (1982): *The Open Universe. An Argument for Indeterminism*, London/New York
- Porter, T. M. (1986): *The Rise of Statistical Thinking. 1820-1900*, Princeton
- - - (1987): “Lawless Society: Social Science and the Reinterpretation of Statistics in Germany, 1850-1880”, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987): *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press
- - - (2003): „Statistics and Physical Theory“, in: Nye, M. J. (Hrsg.), *The Modern Physical and Mathematical Sciences*, “The Cambridge History of Science”, vol. 5, Cambridge
- - - (2004): *Karl Pearson. The scientific life in a statistical age*, Princeton
- Priarolo, M. (2011): *Determinismo. Storia di un'idea*, Roma: Carocci
- Prigogine, I. – Stengers, I. (1986): *La nouvelle alliance. Métamorphose de la science*. Paris: Gallimard.
- Pulte, H. (2000): *Beyond the Edges of Certainty: Reflections on the Rise of Physical Conventionalism*, in: *Philosophiae Scientiae. Travaux d'histoire et de philosophie des sciences*, Vol. 4(1): 87-109
- - - (2005): *Axiomatik und Empirie. Eine wissenschaftstheoriegeschichtliche Untersuchung zur Mathematischen Naturphilosophie von Newton bis Neumann*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- - - (2006): „Kant, Fries, and the Expanding Universe of Science“, in: Friedman, M. / Normann, A. (Eds.), *The Kantian legacy in nineteenth-century science*, Cambridge Mass.: MIT Press, 2006.
- Quetelet, A. (1835) : *Sur l'homme et le développement de ses facultés ou Essai de physique sociale*, Paris: Bachelier, Imprimeur-Libraire

- - - (1842): *A Treatise on Man and the Development of his Faculties*, Edinburgh: W. and R. Chambers

Raichvard, D. – Jaques, J. (1991): *Savants et ignorants : une histoire de la vulgarisation des sciences*, Paris: Éd. du Seuil

Ratzer, B. (2002): *Naturwissenschaft und Gesellschaft : zum Verhältnis von internen und externen Faktoren in der naturwissenschaftlichen Erkenntnisproduktion am Beispiel der populären Quantenphysik von 1925 – 1938*, Diss., TU Wien

Raven, D. – Krohn, W. (2003): „Introduction: Edgar Zilsel: His Life and Work (1891-1944)“, in: Zilsel *The Social Origins of Modern Science*, Raven – Krohn - Cohen (eds.), Dordrecht / Boston / London: Kluwer

Reichenbach, H. (1916/17): *Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit*, in: *Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik*, Bd. 161, 1916: 209-239; Bd. 162, 1917, S. 98-212 und 222-239; Bd. 163, 1917, S. 86-98

- - - (1919): „Der Begriff der Wahrscheinlichkeit für die mathematische Darstellung der Wirklichkeit“ (Autoreferat), in: *Die Naturwissenschaften*, Jg. 7, H. 27: 482f.

- - - (1920a): *Relativitätstheorie und Erkenntnis a priori*, Berlin: Springer

- - - (1920b): „Die physikalischen Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, in: *Die Naturwissenschaften*, Jg. 8, H. 3, 1920: 46-55

(1920c): „Philosophische Kritik der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, in: *Die Naturwissenschaften*, Jg. 8, H. 8, 1920: 146-153

- - - (1920d): „Über die physikalischen Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung“, in: *Zeitschrift für Physik*, 2: 150-171

- - - (1920e): „Über die physikalischen Voraussetzungen der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Nachtrag“, in: *Zeitschrift für Physik*, 4: 448-450

- - - (1925): „Die Kausalstruktur der Welt und der Unterschied zwischen Vergangenheit und Zukunft“, in: *Sitzungsberichte, Bayerische Akademie der Wissenschaft*, 1925: 133-175

- - - (1930/31a): „Kausalität und Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, I: 158-188.

- - - (1930/31b): Beiträge zu: „Diskussion über Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, I: 260-285

- - - (1935): *Wahrscheinlichkeitslehre. Eine Untersuchung über die logischen und mathematischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*, Leiden: A.W. Sijthoff's Uitgeversmij

- - - (1949): *The Theory of Probability. An Inquiry into the Logical and Mathematical Foundations of the Calculus of Probability* (engl. veränderte Übersetz. von: *Wahrscheinlichkeitslehre. Eine Untersuchung über die logischen und mathematischen Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung*), Berkeley-Los Angeles: University of California Press

- - - (1951): *The Rise of Scientific Philosophy*, Berkeley: Univ. of California Press

- - - (1953): *Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie* (Deutsche Übersetzung von Reichenbach (1951)), Berlin-Grunewald: Herbig

Reichenberger, A. (2007): “Emil Du Bois-Reymonds Ignorabimus-Rede : ein diplomatischer Schachzug im Streit um Forschungsfreiheit, Verantwortung und Legitimation der Wissenschaft“, in: Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007): *Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert*, Bd. 3: *Der Ignorabimus-Streit*, Hamburg: Meiner

Reiter, W. (2001): „In Appreciation. Stefan Meyer: Pioneer of Radioactivity“, in: *Physics in Perspective*, 3: 106-27

Renn, J. (2008): “Boltzmann and the End of the Mechanistic Worldview“, in: Gallavotti – Reiter – Yngvason (Hrsg. 2008): *Boltzmann’s Legacy*, Zürich: European Mathematical Society

Renouvier, C. (1854): *Essais de Critique générale. Premier Essai, Analyse générale de la Connaissance : Bornes de la connaissance*, Paris : Ladrangue

Rickert, H. (1934): *Grundprobleme der Philosophie*, Tübingen: Mohr

Ritter, J. – Gründer, K. – Gabriel, G. (2001): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*, Basel

Romizi, D. (2009): *Fare I conti con il caso. La probabilità e l’emergere dell’indeterminismo nella fisica moderna*, Bologna: Archetipolibri

- - - (2010): „Review of: Debora Coen, *Vienna in the Age on Uncertainty*“, in: Manninnen, J. – Stadler, F., *The Vienna Circle in the Nordic Countries: Networks and Transformations of Logical Empiricism*, Vienna Circle Yearbook, Vol. 14: 305-307

- - - (2012a): „The Vienna Circle’s ‚Scientific World-Conception’: Philosophy of Science in the Political Arena“, in: *HOPOS: The Journal of the International Society for the History of philosophy of Science*, Vol. 2, No. 2 (Fall 2012): 205-242

- - - (2012b): „Statistical Thinking between Natural and Social Sciences and the Issue of the Unity of Science: from Quetelet to the Vienna Circle“, in: Dieks – Gonzales – Hartmann – Stöltzner – Weber (eds.), *Probabilities, Laws and Structures*, Dordrecht [u.a.]: Springer

- - - (2013a): “War die ‘Wissenschaftliche Weltauffassung’ des Wiener Kreises nicht doch auch eine Weltanschauung?“, in: Stadler, F. – Nemeth, E. (Hrsg.), *Die Europäische Wissenschaftsphilosophie und das Wiener Erbe*, Wien – New York: Springer: 2013

- - - (2013b): „Statistik und Einheit der Wissenschaften von Quetelets *Physique Sociale* zu Neuraths *Soziologie im Physikalismus*“, in: Bonnet, C. - Nemeth, E. (Hrsg.): *Wissenschaft und Praxis. Zur Wissenschaftsphilosophie in Österreich und Frankreich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts*, Wien - New York: Springer 2013

Rosenberger, M. (2006): *Determinismus und Freiheit. Das Subjekt als Teilnehmer*, Darmstadt

Russell, B. (1953): “On the Notion of Cause, with Applications to the Free-Will Problem“, in: Feigl, H. – Brodbeck, M. (Hrsg.), *Readings in the Philosophy of Science*, New York

Rutte, H. (1993): „Zu Zilsels erkenntnistheoretischen Ansichten in der Phase des Wiener Kreises“, in: Haller, R. – Stadler, F. (Hrsg.), *Wien – Berlin – Prag. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie. Zentenarien Rudolf Carnap – Hans Reichenbach – Edgar Zilsel*, Wien: Verlag Holder-Pichler-Tempsky

Saint-Venant, A.J.C.B. (1878): „Accord des lois de la Mécanique avec la liberté de l’homme dans son action sur la matière“, in : *C.R. Acad. Paris*, 84 : 419-23

Salmon, W. C. (1967): *The foundations of scientific inference*, Pittsburgh

- - - (1998): *Causality and Explanation*, Oxford: Oxford University Press

Sandrini, M.G. (1987): *L’inferenza scientifica in Bayes e Fischer*, Milano: F. Angeli

Saunders, S. (1998): „Hertz’s Principles“, in: Baird / Hughes /Nordmann: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1998

Scheibe, E. (2006): *Die Philosophie der Physiker*, München: Beck Verlag

Scheler, M. (1963 [1922]): *Schriften zur Soziologie und Weltanschauungslehre*, Bern und München: Francke

Schiemann, G. (1997): *Wahrheitsgewissheitsverlust. Hermann von Helmholtz’ Mechanismus im Anbruch der Moderne. Eine Studie zum Übergang von klassischer zu moderner Naturphilosophie*, Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

- - - (1998): „The Loss of World in the Image: Origin and Development of the Concept of Image in the Thought of Hermann von Helmholtz and Heinrich Hertz“, in: Baird / Hughes /Nordmann: *Heinrich Hertz: Classical Physicist, Modern Philosopher*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer Academic Publishers, 1998

Schlick, M. (2012 [1921]), „Rezension von: Albert Einstein, *Geometrie und Erfahrung*“, in: Glassner, E. – König-Porstner, H. (Hrsg.), *Moritz Schlick. Rostock, Kiel, Wien. Aufsätze, Beiträge, Rezensionen 19019-1925*, Vienna: Springer

Schmaus, W. (2011): „Science and the Social Contract in Renouvier“, in: *HOPOS. The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, Vol. 1, No. 1 (Spring 2011): 73-100

Schneider, I. (1987): „Laplace and Thereafter: The Status of Probability Calculus in the Nineteenth Century“, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987), *The Probabilistic Revolution, Vol. 1*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Schnitzler, A. (2000 [1908]): *Weg ins Freie*, Frankfurt am Main

Schopenhauer, A. (1977 [1813]): *Über die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde*

Schramm, M. (1989): "Moralische und statistische Gesetze. Zu Adolphe Quetelets sozialer Physik", in: Jean-Pierre Wils/Dietmar Mieth (Hrsg.), *Ethik ohne Chance? Erkundungen im technologischen Zeitalter*, Tübingen: Attempto, 1989, S. 45-68

Schrödinger, E. (1932): *Über Indeterminismus in der Physik . Ist die Naturwissenschaft milieubedingt?*, Leipzig: Barth

Schulte, J. – McGuinness, B. (Hrsg. 1992): *Einheitswissenschaft*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

Shafer, G. (1990): Review of *The Rise of Statistical Thinking, 1820-1900*, by Theodore M. Porter, in: *Annals of Science* 47: 207-209

Sertl, F. (1994): *Die Freidenkerbewegung in Österreich im 20. Jahrhundert*, Dissertation an der Universität Wien, 1994

Sinigaglia, C. (2003): "Introduzione", in: Poincaré (2003 [1902]): *La science et l'hypothèse / La scienza e l'ipotesi*, Originaltext und italienische Übersetzung, Milano: Bompiani

Sklar, L. (1993): *Physics and Chance*, Cambridge: Cambridge University Press

Shaw, J.B. (1923): Review of: J. Boussinesq, *Cours de physique mathématique de la Faculté des Sciences. Complément au Tome III : Conciliation du véritable déterminisme mécanique avec l'existence de la vie et de la liberté morale*. Paris : Gauthier-Villars, 1922³, in : *Bull. Amer. Math. Soc.*, Vol. 29, No. 7: 329-330

Seitz, F. (2001): "James Clerk Maxwell (1831-1879); Member APS 1875", in: *Proceedings of the American Philosophical Society*, Vol. 145, No. 1: 1-44

Smith, G. (2008): "Isaac Newton", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2008 Edition), Edward N. Zalta (ed.),

URL = <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/newton/>

Sober, E. (1985), "Two Concepts of Cause". In Asquith and Kitcher (eds.) (1985), *PSA 1984*, vol. 2. Philosophy of Science Association, East Lansing, Michigan, pp. 405-424.

Stadler, F. (1981): "Spätaufklärung und Sozialdemokratie in Wien 1918-38", in: Kadrnoska, F., *Aufbruch und Untergang: Österreichische Kultur zwischen 1918 und 1938*, Wien: Europa
 - - - (1982): *Vom Positivismus zur "wissenschaftlichen Weltauffassung*, Wien: Löcker
 - - - (1997): *Studien zum Wiener Kreis. Ursprung, Entwicklung und Wirkung des Logischen Empirismus im Kontext*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

- - - (2012 Hrsg.): Verein Ernst Mach, *Die wissenschaftliche Weltauffassung: Der Wiener Kreis*, neue Ausgabe mit Übers. ins Engl., Franz., Span. und Ital. / hrsg. mit Einleitung und Beiträge von Friedrich Stadler und Thomas Uebel . – Wien – New York: Springer

Staley, R. (2005): „On the Co-Creation of Classical and Modern Physics“, *Isis*, Vol. 96, No. 4: 530-558.

---, (2008a): “Worldviews and physicists’ experience of disciplinary change: on the uses of ‘classical’ physics”, *Stud. Hist. Phil. Sci.* 39: 298-311.

---, (2008b): *Einstein’s Generation: the Origins of the Relativity Revolution*, Chicago: University of Chicago Press

Steel, D. - Guala, F. (Hrsg. 2011), *The Philosophy of Social Science Reader*, New York: Routledge

Stegmüller, W. (1969): *Historische, psychologische und rationale Erklärung. Kausalitätsprobleme, Determinismus und Indeterminismus*, Reihe: „Probleme und Resultate der Wissenschaftstheorie und Analytischen Philosophie – Band I, Teil 3, Berlin/Heidelberg/New York

Stichweh, R. (1984): *Zur Entstehung des modernen Systems wissenschaftlicher Disziplinen. Physik in Deutschland 1740-1890*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

Stigler, S. M. (1987): “The Measurement of Uncertainty in Nineteenth-Century Social Science”, in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987), *The Probabilistic Revolution, Vol. I*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Stöltzner, M. (1999): „Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner“, in *Synthese*, **119**, S. 85-111

- - - (2003a): *Vienna Indeterminism. Causality, Realism and the Two Strands of Boltzmann’s Legacy*, Ph.D. Dissertation, Universität Bielefeld

- - - (2003b): „Vienna Indeterminism II: From Exner to Frank and von Mises“, in: Parrini, P. – Salmon, W. – Salmon, M. (eds.), *Logical Empiricism. Historical and Contemporary Perspectives*, Pittsburgh

Stöltzner, M. – Uebel, T. (2006): *Wiener Kreis. Texte zur wissenschaftlichen Weltauffassung von Rudolf Carnap, Otto Neurath, Moritz Schlick, Philipp Frank, Hans Hahn, Karl Menger, Edgar Zilsel und Gustav Bergmann*, Hamburg

Strien, M. van (unveröffentlicht): „The Norton Dome and the Nineteenth Century Foundations of Determinism”.

Ströker, E. (1990): „Zur Frage des Determinismus in der Wissenschaftstheorie“, in: Marx, W. (Hrsg.) (1990): *Determinismus – Indeterminismus. Philosophische Aspekte physikalischer Theoriebildung*, Frankfurt a. Main

Stump, D. (1991): „Poincaré’s Thesis of the Translatability of Euclidean and Non-Euclidean Geometries”, in: *Noûs*, Vol. 25, No. 5: 639-657

Suárez, M. – Uebel, T. (Hrsg. 2012): *Reconsidering the Dynamics of Reason: A Symposium in Honour of Michael Friedman*, i.e. *Studies in History and Philosophy of Science, Part A*, Volume 43, Issue 1: 1-232 (March 2012)

Swijtink, Z.G. (1987) : « The Objectification of Observation : Measurement and Statistical Methods in the Nineteenth Century », in: Krüger – Daston – Heidelberger (Hrsg. 1987), *The Probabilistic Revolution, Vol. I*, Cambridge, Mass.: MIT Press

Temkin, O. (1946): “Materialism in French and German Physiology of the Early Nineteenth Century”, in: *Bulletin History of Medicine*, xx: 322-27

Thiel, C. (1995): *Philosophie und Mathematik: eine Einführung in ihre Wechselwirkungen und in die Philosophie der Mathematik*, Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft

Thiele, J. (1969): „Karl Pearson, Ernst Mach, John B. Stallo: Briefe aus den Jahren 1897 bis 1904“, in: *Isis*, Vol. 60, No. 4 (Winter 1969): 535-542

Troeltsch, E. (1981 [1925]): *Aufsätze zur Geistesgeschichte und Religionssoziologie*, Aalen: Scientia Verlag

Truesdell, C. (1968a): “A Program toward Rediscovering the Rational Mechanics of the Age of Reason”, in: *Essays in the History of Mechanics*, Berlin/Heidelberg/New York: Springer
 --- (1968b): “Reactions of Late Baroque Mechanics to Success, Conjecture, Error, and Failure in Newton’s *Principia*”, in: *Essays in the History of Mechanics*, Berlin/Heidelberg/New York: Springer

Turley, P.T. (1969): “Peirce on Chance”, in: *Transactions of the Charles S. Peirce Society*, Vol. 5 No. 4 (Fall, 1969): 243-254

Tutor, J. I. G. (2004): “Die Atomistik bei Ludwig Boltzmann. Zur wissenschaftlichen und philosophischen Bedeutung einer kontroversen Position am Ende des 19. Jahrhunderts”, in: *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Vol. 35, No. 2: 371-384

Ucakar, K. (1985): *Demokratie und Wahlrecht in Österreich. Zur Entwicklung von politischer Partizipation und staatlicher Legitimationspolitik*, Wien: Verlag für Gesellschaftskritik

Uffink, J. (2008): "Boltzmann's Work in Statistical Physics", *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2008 Edition), Edward N. Zalta (ed.), URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2008/entries/statphys-Boltzmann/>

Van Fraassen, B. (1989), *Laws and Symmetry*, Oxford: Oxford University Press

Vilquin, È./ Sanderson, J.-P. (Hrsg. 1997), Adolphe Quetelet, *Physique sociale, ou Essai sur le développement des facultés de l'homme [1869]*, Gilly: Académie royale de Belgique

Visser, H. (1999): "Boltzmann and Wittgenstein", in: *Synthese* **119**: 135-156

Wagner, A. (1864): *Die Gesetzmäßigkeit in den scheinbar willkürlichen menschlichen Handlungen vom Standpunkte der Statistik*, Hamburg: Boyes und Geisler

Wahrig, G. (1991): *Deutsches Wörterbuch*, München: Bertelsmann

Wahsner, R. (2007): „Debatten über die Grenzen des Naturerkennens vor dem Ignorabimus-Streit“, in: Bayertz – Gerhard – Jaeschke (Hrsg. 2007): *Weltanschauung, Philosophie und Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert*, Bd. 3: *Der Ignorabimus-Streit*, Hamburg: Meiner

Wahsner, R. – Borzeszkowski, H.-H. (1992): *Die Wirklichkeit der Physik*, Frankfurt – Berlin – Bern [u.a.]: Peter Lang

Waismann, F. (1930/31a): „Logische Analyse des Wahrscheinlichkeitsbegriffs“, in: *Erkenntnis*, I: 228-248

- - - (1930/31b): Beiträge zu: „Diskussion über Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, I: 260-285

- - - (1967): *Wittgenstein und der Wiener Kreis*, aus dem Nachlass hrsg. Von B. McGuinness, Oxford: Blackwell

- - - (1968): *How I see philosophy*, London [u.a.]: Macmillan; New York, NY: St. Martin's Pr.

Wandruszka, A. (1977): „Österreichs politische Struktur. Die Entwicklung der Parteien und politischen Bewegungen“, in: Benedikt, H. (Hrsg.), *Geschichte der Republik Österreich*, Wien: Verlag für Geschichte und Politik

Weatherford, R. C. (2005a): "Determinism", in: Honderich, T., *The Oxford Companion to Philosophy*, 2nd. Ed., New York

- - - (2005b): "Determinism, logical", in: Honderich, T., *The Oxford Companion to Philosophy*, 2nd. Ed., New York

- - - (2005c): "Determinism and freedom", in: Honderich, T., *The Oxford Companion to Philosophy*, 2nd. Ed., New York

Weizsäcker, C.F. von (1944): *Zum Weltbild der Physik*, Leipzig: Hirzel

Werndl, C. (2011): „On the observational equivalence of continuous-time deterministic and indeterministic descriptions“, *European Journal for Philosophy of Science*, Vol. 1, Issue 2: 193-225.

Wenzel, G.I. (1807): *Neues philosophisches Real-Lexikon*, Linz

Winkler, W. (1937): „Das Problem der Willensfreiheit in der Statistik“, in: *Revue de l'Institut International de Statistique / Review of the International Statistical Institute*, Vol. 5, No. 2, 1937, S.115-131

Wise, M. N. (2007): „How Do Sums Count? On the Cultural Origins of Statistical Causality“, in: Krüger, L. et al. (1987): *The Probabilistic Revolution*, Cambridge, Mass.

Wittgenstein, L. (1990²): *Philosophische Untersuchungen*, Werkausgabe – Band I, Frankfurt am Main

Wittgenstein, L. (1990a): *Tractatus logico-philosophicus*, Werkausgabe – Band I, Frankfurt am Main: Suhrkamp

- - - (1990b): *Philosophische Untersuchungen*, Werkausgabe – Band I, Frankfurt am Main: Suhrkamp

Wulz, M. (2011): „Unendliche Rationalisierung und unfertige Gesellschaft. Edgar Zilsels Epistemologie der Massenerscheinungen“, in: Innerhofer, R. – Rothe, K. – Harrasser, K. (Hrsg. 2011), *Das Mögliche regieren. Gouvernementalität in der Literatur- und Kulturanalyse*, Bielefeld: Transcript Verlag

- - - (2012): „The material memory of history: Edgar Zilsel's epistemology of historiography“, in: *Studies in East European Thought*, Springer

Zahar, E. (2001): *Poincaré's Philosophy: from Conventionalism to Phenomenology*, Chicago and Lasalle: Open Court

Ziche, P. (2008): *Wissenschaftslandschaften um 1900. Philosophie, die Wissenschaften und der nichtreduktive Szientismus*, Zürich: Chronos-Verl.

Zilsel, E. (1916): *Das Anwendungsproblem. Ein philosophischer Versuch über das Gesetz der großen Zahlen und die Induktion*, Leipzig: Barth

- - - (1990 [1918]): *Die Geniereligion: ein kritischer Versuch über das moderne Persönlichkeitsideal, mit einer historischen Begründung*, Frankfurt am Main: Suhrkamp

- - - (1921): „Versuch einer neuen Grundlegung der statistischen Mechanik“, in: *Monatshefte für Mathematik und Physik*, **31**: 118-155

- - - (1925a): Besprechung von: Hans Reichenbach, *Axiomatik der relativistischen Raum-Zeit-Lehre* (1924), in: *Die Naturwissenschaften*, **19**: 407

- - - (1925b): Besprechung von: Bruno Bauch, *Das Naturgesetz* (1924), in: *Die Naturwissenschaften*, **19**: 409

- - - (1972 [1926]): *Die Entstehung des Geniebegriffes. Ein Beitrag zur Ideengeschichte der Antike und des Frühkapitalismus*, Hildesheim – New York: Olms

- - - (1927a): „Über die Asymmetrie und die Einsinnigkeit der Zeit“, in: *Die Naturwissenschaften*, **12**: 280-286

- - - (1927b): Besprechung von: John Maynard Keynes, *Über Wahrscheinlichkeit* (1926), in: *Die Naturwissenschaften*, **43**: 867-869
- - - (1928): „Naturphilosophie“, in: Schnaß, F., (Hrsg.) *Einführung in die Philosophie*, Osterwieck / Harz: Zickfeldt
- - - (1929a): Besprechung von: Hugo Bergmann, *Der Kampf um das Kausalgesetz in der jüngsten Physik*, in: *Die Naturwissenschaften*: **48**: 934-935
- - - (1992 [1929b]): „Philosophische Bemerkungen“, in: E. Zilsel, *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau (ursprünglich veröffentlicht in: *Der Kampf*, XXII (1929): 178-86)
- - - (1930): „Soziologische Bemerkungen zur Philosophie der Gegenwart“, in: *Der Kampf*, XXIII: 410-424
- - - (1930/31): Beiträge zu: „Diskussion über Wahrscheinlichkeit“, in: *Erkenntnis*, **I**: 260-285
- - - (1992 [1931a]): „Materialismus und marxistische Geschichtsauffassung“, in: E. Zilsel, *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau (ursprünglich veröffentlicht in: *Der Kampf*, XXIV (1931): 68-75)
- - - (1992 [1931b]): „Partei, Marxismus, Materialismus, Neukantismus“, in: E. Zilsel, *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau (ursprünglich veröffentlicht in: *Der Kampf*, XXIV (1931): 213-220)
- - - (1992 [1931c]): „Geschichte und Biologie, Überlieferung und Vererbung“, in: E. Zilsel, *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau (ursprünglich veröffentlicht in: *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, 65 (1931): 475-524)
- - - (1932a): Besprechung von: R. von Mises, *Wahrscheinlichkeitsrechnung und ihre Anwendung in der Statistik und theoretischen Physik*, in: *Die Naturwissenschaften*, **25**: 472-74
- - - (1932b): „Das mechanistische Weltbild und seine Überwindung“, in: *Der Atheist*, 9: 129-131
- - - (1992 [1932c]): Rezension von: O. Neurath, *Empirische Soziologie: Der wissenschaftliche Gehalte der Geschichte und Nationalökonomie* (1931), in: E. Zilsel, *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau (ursprünglich veröffentlicht in: *Der Kampf*, XXV (1932): 91-94)
- - - (1932/33) „Bemerkungen zur Wissenschaftslogik“, in: *Erkenntnis*, **3**, 1932/33: 143-161
- - - (1933): Besprechung von: Erwin Schrödinger, *Über den Indeterminismus in der Physik. Ist die Naturwissenschaft milieubedingt?*, in: *Angewandte Chemie*, 46. Jahrg., Nr. 4
- - - (1935): „P. Jordans Versuch, den Vitalismus quantenmechanisch zu retten“, in: *Erkenntnis*, **5**: 56-65
- - - (1941): „Physics and the Problem of Historico-Sociological Laws“, in: *Philosophy of Science*, Vol. 8, Nr. 4: 567-579
- - - (2003 [1942a]): „The Sociological Roots of Science“, in: Raven – Krohn – Cohen (eds.), *The Social Origins of Modern Science*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer, S. 7f.
- - - (2003 [1942b]): „The Genesis of the Concept of Physical Law“, in: Raven – Krohn – Cohen, (eds.) *The Social Origins of Modern Science*, Dordrecht / Boston / London: Kluwer, S. 96f.

- - - (1947 [1942c]): „Problems of Empiricism“, in: *The Development of Rationalism and Empiricism*, Vol. II, No. 8 der *International Encyclopedia of Unified Science*, Chicago, Illinois: Univ. of Chicago Press
- - - (1976) *Die sozialen Ursprünge der neuzeitlichen Wissenschaft* (Hrsg. von W. Krohn), Frankfurt am Main: Suhrkamp
- - - (1992): *Wissenschaft und Weltanschauung. Aufsätze 1929-1933*, hrsg. von G. Mozetič, Wien / Köln / Weimar: Böhlau
- - - (2003): *The Social Origins of Modern Science*, Raven – Krohn - Cohen (eds.), Dordrecht / Boston / London: Kluwer

Zilsel, P. (1988): „Über Edgar Zilsel“, in: Stadler, F. (Hrsg.), *Vertriebene Vernunft II. Emigration und Exil österreichischer Wissenschaft 1930-1940*, Wien: Jugend & Volk, 929-932

Zinkernagel, H. (2010): „Causal fundamentalism in physics“, in: Suárez – Dorato – Redéi (Hrsg.), *EPSA. Philosophical Issues in the Sciences. Launch of the European Philosophy of Science Association*, Dordrecht: Springer

Zola, E. (1880): *Le roman expérimental, Lettre à la jeunesse. Le naturalisme au théâtre. L'argent dans la littérature. Du roman. De la critique. La république et la littérature*, Paris: Charpentier

Abstracts

Deutsch

Die vorliegende Arbeit möchte durch eine historisch-philosophische Rekonstruktion zu einem besseren Verständnis der Natur und Geschichte des wissenschaftlichen Determinismus beitragen. Der bearbeitete Zeitrahmen erstreckt sich von der Entstehung der klassischen Mechanik bis zu den 1920er Jahren.

Eine häufige *received opinion* erzählt, dass die Entwicklung der Quantenmechanik in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine Wende vom Determinismus zum Indeterminismus in der Physik und im wissenschaftlichen Weltbild bedeutet hat. Doch die Natur, die Geschichte und die Implikationen des ersten Begriffs, d.h. des wissenschaftlichen Determinismus, sind bisher eher im Dunkel geblieben.

Im ersten Kapitel der Arbeit betrachte ich den wissenschaftlichen Determinismusbegriff aus systematischer Sicht. Hierbei entwickle ich u.a. ein analytisches, dreidimensionales „Messsystem“, das eine präzise und gleichzeitig umfassende Aufgliederung unterschiedlicher Formen des wissenschaftlichen Determinismus ermöglichen soll, und die üblichen vagen Unterscheidungen wie „epistemisch vs. ontologisch“ zu ersetzen und ergänzen beabsichtigt. Die systematische Analyse soll zugleich ein Orientierungssystem schaffen, das den Rest der Arbeit strukturiert und der nachfolgenden historischen Untersuchung als Bezugsrahmen dient. Der historische Teil beginnt mit dem Kap. 2, in dem ich versuche, die Form des Determinismus besser zu verstehen, die in der klassischen Mechanik impliziert war (impliziter wissenschaftlicher Determinismus). Diese Form kann anhand ihres ausgeprägten mathematischen Charakters von eng verwandten Konzepten wie dem des Mechanismus oder dem Satz vom zureichenden Grunde unterschieden werden. Dabei gilt es zu bedenken, dass die Mechanik lange ein Teil der Mathematik war (sie war keine Physik im heutigen Sinne), und dass sie lange in einem rationalistischen Wissenschaftsverständnis eingebettet war, das den in ihr impliziten Determinismus vor jeglicher empirischen Widerlegung schützte.

Im Teil (B) der Arbeit versuche ich zu zeigen, wie der bis zur zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts ohnehin nur implizite wissenschaftliche Determinismus im Rahmen der epistemologischen Reflexion sowie der wandelnden wissenschaftlichen Praktiken in der Zeit zwischen dem Ende des 18. Jahrhunderts und der Jahrhundertwende um 1900 indirekt aber stark geschwächt wurde.

Im Kap. 3 fokussiere ich insbesondere auf jene zunehmend ent-ontologisierende Auffassung der Naturgesetze und der Kausalität und jene Relativierung des Gültigkeitsanspruchs der Prinzipien der Mechanik, die ab dem späten 18. Jh. stattgefunden haben. Die Anfänge der Ersteren verorte ich in der Kantischen „Metaphysik der körperlichen Natur“ und Erkenntnistheorie. Was hingegen die Auffassung der Mechanik und ihrer Prinzipien angeht, betrachte ich die Entstehung und Entfaltung einer konventionalistischen und relativierenden Einstellung ab dem Ende des 18. Jahrhunderts, bei Carl Gustav Jacob Jacobi bis zur Auffassung der Mechanik bei Mach, Hertz und Poincaré.

Im Kap. 4 fokussiere ich auf jene Schwächung des wissenschaftlichen Determinismus, die aus der Verbreitung der statistischen Methoden und des statistischen Denkens in den Wissenschaften vor allem im Laufe des 19. Jahrhunderts resultiert (ein Phänomen, das in der Literatur als „Probabilistische Revolution“ bezeichnet wird). Dieser Prozess verlief interessanterweise im Vergleich zu jenem, den ich im Kap. 3 beschreibe, parallel und in eine gegensätzliche, weil ontologisierende, Richtung: ich beziehe mich dabei auf eine Ontologisierung der Wahrscheinlichkeit und der Unvorhersagbarkeit, die nicht mehr als bloß epistemisch (d.h. auf einen Mangel an Wissen zurückzuführen) wegerklärt werden. Eine besondere Aufmerksamkeit widme ich in diesem Kapitel der Debatte um den „statistischen Determinismus“ im Rahmen der entstehenden Sozialwissenschaften, dem Wandel in der Wahrscheinlichkeitsauffassung und der Entstehung der atomistischen bzw. statistischen Erklärung thermodynamischer Prozesse in der Physik.

Der letzte Teil der Arbeit (C) betrachtet eine Zeit – zwischen der Mitte des 19. Jahrhunderts und den 1920er Jahren – in der der wissenschaftliche Determinismus explizit wurde und die Determinismusfrage in einem weltanschaulichen und ideologischen Kontext heftig diskutiert wurde.

Infolge der genannten „Schwächungen“ des (impliziten) wissenschaftlichen Determinismus hätte dieses Konzept in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts schon als ziemlich problematisch erscheinen sollen. Während aber die von mir im Teil (B) der Arbeit dargestellte Schwächung des Determinismus indirekt war (man kann einen impliziten Begriff nur indirekt schwächen) und Angelegenheit einer Minderheit von Physikern und Philosophen blieb, wurde der Streit um die Determinismusfrage im Laufe des 19. Jahrhunderts zunehmend in einer breiten Öffentlichkeit geführt.

Dies war wiederum die Folge von zwei Faktoren: erstens hatte der wissenschaftliche Determinismus insofern eine neue, brisante ethische Bedeutung bekommen, als das wissenschaftliche Ideal der Gesetzmäßigkeit auf die Betrachtung des Menschen und seines Handelns erstreckt wurde (und zwar im Rahmen neuer wissenschaftlicher Disziplinen, wie der Soziologie, der experimentellen Physiologie und der experimentellen Psychologie). Insbesondere geriet der wissenschaftliche Determinismus in den Diskurs um die emotional beladene und weltanschaulich relevante Frage der Willensfreiheit. Der zweite, mit dem ersten verbundene Faktor ist, dass die Naturwissenschaftler sich im 19. Jh. zunehmend als Wissenschaftspopularisierer und *public men* in der Öffentlichkeit engagierten und sich dabei über die philosophische und weltanschauliche Bedeutung ihrer wissenschaftlichen Theorien äußerten. Die Argumente, die in diesem Rahmen für und gegen den wissenschaftlichen Determinismus vertreten wurden, rekonstruiere ich insbesondere im Kap. 6. Unter den besprochenen Diskutanten finden sich Fechner, Du Bois-Reymond, Helmholtz, Bernard, Ostwald, Haeckel, Boussinesq, Maxwell, Boutroux, Poincaré, Renouvier, James und Peirce.

Das 7. Kapitel der Arbeit zieht die Wiener Perspektive auf diese Debatte in Betracht: das Konzept eines „Wiener Indeterminismus“ (Stöltzner, Coen) möchte ich durch die Besprechung einer Figur bereichern, die in der Literatur bisher ziemlich vernachlässigt wurde, jene des Wissenschaftsphilosophen und (späteren) Wissenschaftssoziologen Edgar Zilsel (1891-1944). Dabei rekonstruiere ich zum einen Zilsels indeterministische Begründung des

Gesetzes der großen Zahlen und der Irreversibilität physikalischer Phänomene. Zum zweiten betrachte ich seine Wahrscheinlichkeitsauffassung und vergleiche ihre Entwicklung mit der parallelen Entfaltung der Wahrscheinlichkeitsauffassungen von Hans Reichenbach und Richard von Mises. Schließlich dient mir Zilsel als zusätzliche *case-study*, um die gesellschaftliche und weltanschauliche Seite der Determinismusfrage zu beleuchten.

English

The present work deals with the (changing) nature and history of the concept of scientific determinism from the dawn of classical mechanics up to the time immediately preceding quantum mechanics. Such a historical-philosophical reconstruction is aimed at (1) signaling and overcoming the deficiencies of the received opinion on the topic and (2) understanding better a concept which has influenced science from its inception.

Before dealing with historical matters I develop in the first Chapter a kind of new, three-dimensional “measurement system” for analyzing any concept of scientific determinism. Many different concepts have been developed in the course of history, and we need a classification system which, on the one hand, is inclusive and broad enough to deal with different concepts, and, on the other hand, makes it possible to differentiate with some precision amongst them. My “measurement system” has three dimensions or parameters: “strength” (of the determining link between different states of the physical system), “depth” (depending on how strong the ontological commitment of the particular concept of scientific determinism is), and “breadth” (referring to the domain or the object, to which a deterministic evolution is ascribed).

In the second chapter I discuss briefly some main shortcomings of the received view of scientific determinism. Then I try to identify the “core” of scientific determinism at its origins while at the same time embedding it in the broader historical-cultural context, especially that of the Renaissance. On the one hand I show how the core of scientific determinism was mathematical, and this distinguished it from other related concepts, such as mechanism, the principle of sufficient reason, and the Aristotelian conception of science. On the other hand, I show that it was precisely the support which these related concepts provided to scientific determinism, that together with its mathematical nature endowed it with an incredible resistance against empirical falsification.

In the following three chapters I analyze the historic-philosophical development of scientific determinism along the three parameters of my measurement system.

In the third Chapter I reconstruct the waning of scientific determinism with respect to its *depth*. The starting point here is the question about the extent to which the deterministic mathematical descriptions refer. As mechanics developed into analytical mechanics and its mathematical descriptions grew more and more formal, it became increasingly less obvious

whether these formal, deterministic structures could be credited with metaphysical reality. Parallel developments within epistemology, starting with Kantian philosophy (with which I deal more in detail), made the deterministic structures (principle, laws, equations, causal relations) appear less absolute and real and more like models, conventions, or other products of reason. A brief consideration of the interpretation of mechanics and its principles by Jacobi, Hertz, Mach and Poincaré shows the implications of these developments.

The fourth chapter reconstructs the waning of scientific determinism with respect to the *strength* of the determining link. Here my work deepens the track opened by Ian Hacking, who interpreted the so-called “probabilistic revolution” in the 19th Century as the main reason for the erosion of determinism. The increasing pervasiveness of statistical methods in the social and natural sciences in the course of the 19th Century gave rise to a conception of scientific laws which could dispense with strict determinism. A new, empirical interpretation of probability (Frequentism) and the statistical explanation of thermodynamic phenomena in physics went so far as to suggest that chance phenomena are a necessary condition for causation and the emergence of natural laws.

The last part of my thesis (Ch. 5, 6 and 7) considers the period from the mid-nineteenth century to around 1920, in which the concept of scientific determinism became explicit and was discussed as a world-picture or a world-view – that is, in its maximal *breadth*. I argue that there were two main reasons for the emergence of an explicit and ideological opposition “determinism vs. indeterminism” at that time. The first was the successful application of the deterministic paradigm to sociology, history, physiology and psychology in the course of the 19th Century, which infused scientific determinism with ethical implications (in particular with respect to the problem of free will, since scientific determinism seemed to deny it). The second, related reason is that in the 19th Century natural scientists became public men, science was increasingly popularized, and scientific issues were increasingly related to life-issues, to worldview-questions, and even to politics. In Chapter 6 I reconstruct the debates on the issue “determinism vs. indeterminism” in such a public, ideological and sometimes even political context. Among the chief protagonists in this debate were Fechner, Du Bois-Reymond, Helmholtz, Bernard, Ostwald, Haeckel, Boussinesq, Maxwell, Boutroux, Poincaré, Renouvier, James und Peirce.

The debate on the issue of determinism was equally fervid in Vienna and likewise had also ideological and political implications: Michael Stöltzner and Deborah Coen have pointed to a particular tradition of “Vienna Indeterminism” (Stöltzner), or Viennese liberal probabilism (Coen), which was characterized by a strongly empirical conception of science and by the full acceptance and appreciation of statistical thinking in science.

In the last Chapter of my dissertation I focus on the early philosophy of Edgar Zilsel (1891-1944), a philosopher with close ties to the Vienna Circle who has been much neglected in the literature up to now. I argue for the fruitfulness of viewing Zilsel’s philosophy as part of the “Vienna Indeterminism”. First, I show how he gave an indeterministic foundation to statistical and causal knowledge as well as to irreversibility in physics. Second, I inquire into his philosophy of probability and show how it developed in parallel to the philosophies of Hans

Reichenbach and Richard von Mises. Finally, Zilsel also turns out to be an additional, relevant case-study for throwing into relief the ideological and political sides of the issue of determinism.

The general philosophical implications of these historical explorations for the concept of scientific determinisms are considered in the last Chapter (Ch. 8). Here I argue that no physical theory, no empirical evidence and no experimental confirmation can support or contradict scientific determinism in its non-trivial formulations. The validity of any such formulation depends strongly not only (from the systematical point of view) on the definition of other concepts (like time, physical state, causality etc.), but also on more or less implicit assumptions about the range of validity of deterministic structures and the requirements which a piece of knowledge or a theory must fulfill to be regarded as scientific. These assumptions are clearly subjected to historical change.

Danksagung

In einer Zeit der präkarisierten Arbeitsverhältnisse möchte ich mich zunächst bei den öffentlichen Einrichtungen bedanken, die mich in die absolut privilegierte Lage versetzt haben, 7 Jahre lang meine Forschungs- und Lehrtätigkeit kontinuierlich durchzuführen: ich beziehe mich insbesondere auf das Initiativkolleg „Naturwissenschaften im historischen Kontext“, das Institut für Philosophie und das Institut Wiener Kreis.

Dem Hauptbetreuer dieser Dissertation, Friedrich Stadler, verdanke ich eine Zeit – jene, in der ich als Assistentin bei seiner Doppelprofessur „History and Philosophy of science“ gewesen bin – in der ich von ihm persönlich sowie vom Austausch mit seinem wissenschaftlichen Netzwerk extrem viel gelernt habe.

Elisabeth Nemeth, die diese Dissertation ebenfalls betreut hat, verdanke ich unvergessliche und sehr anregende Gespräche, die nicht nur diese Arbeit, sondern meine philosophische Reflexion und mein intellektuelles Leben allgemein sehr bereichert haben. Ihr Vertrauen in mich und ihre ureigene wertschätzende und warmherzige Art haben mich immer wieder motivieren können.

Ganz besonders möchte ich mich bei den Freundinnen und Freunden bedanken, die große Teile dieser Dissertation Korrektur gelesen und sprachlich verbessert haben: Esther Ramharter, Elisabeth Nemeth, Bastian Stoppelkamp und Katja Geiger. Sie haben nicht nur eine notwendige und mühsame Arbeit übernommen, sondern mir ein großes Zeichen wahrer Freundschaft gegeben.

Schließlich möchte ich mich an dieser Stelle auch bei meiner Lebensgefährtin, Nina Attorf, bei meiner Mutter, Caterina Romizi, und bei meiner Oma, Adele Sabadini, für ihr Verständnis bedanken. Denn es ist mir bewusst, dass diese Arbeit für sie immer wieder Zeiten meiner (physischen oder mentalen) Abwesenheit bedeutet hat.

Curriculum vitae

Studienverlauf

1998-2003: Diplomstudium der Philosophie an der Universität Bologna

Abschluss *cum laude*.

Diplomarbeit: „La probabilità e l'emergere dell'indeterminismo nella fisica moderna“.

Betreuerin: Univ.-Prof. Maria Carla Galavotti.

2003-2005: SSIS - Scuola di Specializzazione per l'Insegnamento nella Secondaria (Universitärer Berufsbildungskurs für Gymnasiallehrer)

Abschluss mit 80/80.

Abschlussarbeit: „Logica aristotelica e modelli di ragionamento“.

Erlangung der Lehrbefugnis für den Gymnasialunterricht Philosophie und Geschichte.

Seit Oktober 2006: Doktoratsstudium der Philosophie an der Universität Wien,

2006-2009: im Rahmen des Initiativkollegs „Naturwissenschaften im historischen Kontext“

2009-2013: als Assistentin in Ausbildung im Institut für Philosophie und – seit 2011 – im Institut Wiener Kreis (bei der Doppelprofessur „History and Philosophy of Science“, Univ.-Prof. Friedrich Stadler).

2010-2013: Studienkurs „Philosophische Praxis“ bei dem Gründer der Disziplin, Dr. Gerd B. Achenbach. Abschluss im Jänner 2013.

Stipendien

Während des Studiums (1998-2003), Stipendiatin des „Collegio Superiore dell'Università di Bologna“ / “School of Excellence of the University of Bologna”
<http://www.collegio.unibo.it/index.php?page=english-version>

Akademische Fortbildung

Juli 2009, Vienna International Summer University: “The Culture of Science and Its Philosophy” (Lecturers: R. Giere, M.J. Nye, A. Richardson)

Juli 2008, Vienna International Summer University: “History and Philosophy of Biomedical Sciences” (Lecturers: R.A. Ankeny, B. Fantini, D. Wootton)

July 2007, Vienna International Summer University: “Consensus in Science” (Lecturers: N. Oreskes, M. Solomon, A. Wróblewsky)

Beruflicher Werdegang

2004-2006: Gymnasiallehrerin für Philosophie und Geschichte in Bologna (Praktikum), Parma und Fidenza.

2006-2009: Kollegiatin im Initiativkolleg „Naturwissenschaften im historischen Kontext“

2009-2013: Assistentin in Ausbildung (Institut für Philosophie)

Seit 2010: Review Editor für das “Vienna Circle Institute Yearbook”, Springer

Seit April 2013: Freie Dienstnehmerin der Fakultät für Philosophie und Bildungswissenschaft

Publikationen

Buch

Fare i conti con il caso. La probabilità e l'emergere dell'indeterminismo nella fisica moderna, Bologna: Gedit, 2009

Übersetzung

Prova, conclusione probatoria e probabilità (Italian translation of: R. Eggleston, *Evidence, Proof and Probability*), “Epistemology and Law” collection, Milano: Giuffrè, 2004.

Aufsätze

„Statistik und Einheit der Wissenschaften von Quetelets *Physique Sociale* zu Neuraths *Soziologie im Physikalismus*“, in: Bonnet, C. - Nemeth, E. (eds.): *Wissenschaft und Praxis. Zur Wissenschaftsphilosophie in Österreich und Frankreich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts*, Wien - New York: Springer 2013

“War die ‘Wissenschaftliche Weltauffassung’ des Wiener Kreises nicht doch auch eine Weltanschauung?“, in: Stadler, F. – Nemeth, E. (eds.), *Die Europäische Wissenschaftsphilosophie und das Wiener Erbe*, Wien – New York: Springer: 2013

"The Vienna Circle's 'Scientific World Conception': Philosophy of Science in the Political Arena", in: *HOPUS. The Journal of the International Society for the History of Philosophy of Science*, University of Chicago Press, Vol. 2, No. 2; Fall 2012

“Statistical Thinking between Natural and Social Sciences and the Issue of the Unity of Science: from Quetelet to the Vienna Circle“, in: Dennis Dieks, Wenceslao J. Gonzalez, Stephan Hartmann, Michael Stoeltzner, Marcel Weber (eds.), *Probabilities, Laws, and Structures*, Springer, 2012

(Together with F. Stadler and M. MacLeod) “The Present Situation in the Philosophy of Science: Opening Conference of the ESF-Research Networking Programme ‘The Philosophy of Science in a European Perspective’“, in: *Journal for General Philosophy of Science* (2009) 40: 129-136

"*Bushido: filosofia ed etica dei samurai*", in Greco, G. – Monda, D. (eds.) *La via del guerriero. Orientamenti di storia dei samurai*, Bologna: AZ Fast Press, 2006

Rezensionen

Review of: D. R. Coen, *Vienna in the Age of Uncertainty*, in: Manninen, J. – Stadler, F. (eds.) *The Vienna Circle in the Nordic Countries. Networks and Transformations of Logical Empiricism*, Series: "Vienna Circle Institute Yearbook" Vol. 14 (2010), pp. 305-307.

Review of: Paul Ziche, *Wissenschaftslandschaften um 1900: Philosophie, die Wissenschaften und der nichtreduktive Szientismus*, (together with F. Stadler), in: *ISIS*, 100:4 (2009), pp. 939-941.

Review of: Donald Gillies (eds.), *Laws and Models in Science*, in: *Erkenntnis*, Vol. 65, No. 3, Nov 2006, pp. 427-432.

Review of: Margaret Morrison, *Unifying Scientific Theories*, *Nuncius*, XIX, 2004, pp. 427-430.

Vorträge

"The Question of Scientific Determinism in Philosophical, Historical and Cultural Context": from Newton to Statistical Mechanics". *Philosophical and Historical Perspectives on Interdisciplinarity: Beyond the 'Two Cultures' Debate*, Helsinki Collegium for Advanced Studies, February 1 2013

"Edgar Zilsel (1891-1944): a logical empiricist caught between rationalism and empiricism". "*Philosophy and the Sciences – Old Visions, New Directions*", Workshop of the ESF-Networking Programme *The Philosophy of Science in a European Perspective*, University of Cambridge, November 30-December 1, 2012

„The Vienna Circle's 'Scientific World Conception' and the issue of a politically engaged philosophy of science“, *Philosophy of Science in Europe – European Philosophy of Science and the Viennese Heritage*: International Conference for the 20th Anniversary of the Vienna Circle Institute; December 5-7 2011, Vienna

"Facts of nature or products of reason? Edgar Zilsel caught between ontological and epistemic conceptions of natural laws". Workshop: *Reconsidering Edgar Zilsel's Philosophical and Historical Projects*, October 15-16, 2010, Institute Vienna Circle, Vienna

"Statistics and Unity of Science. Quetelet and Neurath". Conference jointly organised by CIERA, Institut d'Histoire et de Philosophie des Sciences et des Techniques (Paris 1/CNRS), Institute Vienna Circle and Institute of Philosophy of the University of Vienna: *Wissenschaft und Praxis. Zur Wissenschaftsphilosophie in Frankreich und Österreich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts*, Institut français de Vienne, October 4-5, 2010, Vienna

"Statistics between Natural and Social Science. Some Historical Facts and Interpretations", European Science Foundation Workshop: *Historical Debates about Logic, Probability and Statistics*, July 9-10, 2010; Paderborn

„The Vienna Circle's ‚Scientific World Conception‘ and the Primacy of Practical Reason“. HOPOS International Conference, June 24-27, 2010; Budapest

“(In)determinismus und Wiener Kreis. Wissenschaft – Wissenschaftsphilosophie – Gesellschaft“ (poster presentation). Graduate Students Conference Vienna/Zürich: *Wissensgeschichte – Wissenskulturen – Wissensgesellschaften*, June 11-12, 2010; Vienna

"Das Primat des Praktischen bei der wissenschaftlichen Weltauffassung des Wiener Kreises". Wissenschaftsphilosophisches Kolloquium des Instituts Wiener Kreis, January 7, 2010; Vienna

“‘Underdetermination’ ...under determination” (poster, together with the physicist Fabio Santandrea). Interdisciplinary Workshop *(Un)conceived Alternatives – Underdetermination of Scientific Theories between Philosophy and Physics*, December 18-19, 2009; Erwin Schrödinger Institute for Mathematical Physics, Vienna

“Wir sind nie Indeterministen geworden”. *Kontexte: Final Conference of the PhD Program ‘The Sciences in Historical Context’*, November 27-28, 2009; Erwin Schrödinger Institute for Mathematical Physics, Vienna

“(In)determinismus und Wiener Kreis. Wissenschaft – Wissenschaftsphilosophie – Gesellschaft” (presentation of my PhD research), Conference Program of the *Österreichische Gesellschaft für Wissenschaftsgeschichte*, November 26, 2009; Vienna

“Die ‘wissenschaftliche Weltauffassung’ des Wiener Kreises: ein eckiger Kreis aus hölzernem Eisen”, Workshop: *Der Wiener Kreis zwischen politischem Engagement und philosophischer Programmatik*, Vienna Circle Institute: November 20-21, 2009; Vienna

“Zilsel’s philosophical writings and the question of (in)determinism”, HOPOS International Conference, June 18-21, 2008; Vancouver

Lehrtätigkeit am Institut für Philosophie, Wien

Akademisches Jahr 2012-2013:

- „Pierre Hadot: Philosophie als Lebensform“
- „Kant-Lektüren im Logischen Empirismus – Kantianismus und Neo-Kantianismus in der Wissenschaftsphilosophie“ (mit Friedrich Stadler)

Akademisches Jahr 2011-2012:

- „Philosophische Praxis“ (mit Esther Ramharter)
- “Ernst Cassirer – Zwischen Wissenschafts- und Kulturphilosophie” (mit Elisabeth Nemeth)

Akademisches Jahr 2010-2011:

- “Wissenschaftsgeschichte und Wissenschaftstheorie. Klassische Texte“ (mit Friedrich Stadler und Elisabeth Nemeth)

Akademisches Jahr 2009-2010:

- “Aus dem Schatten Wittgensteins: Friedrich Waismann und der Wiener Kreis” (mit Friedrich Stadler)

- "History and Philosophy of Science in Context: Mach und der Wiener Kreis" (mit Friedrich Stadler)

Akademisches Jahr 2008-2009:

- "Wissenschaftstheorie, Theorien in der Geschichtswissenschaft - Wissenschaftstheorie: Historische und philosophische Dimensionen" (mit Friedrich Stadler)
- "Probleme und Themen der Wissenschaftsgeschichte - Wissenschaftstheorie im 20. Jahrhundert" (als Teaching Assistant bei Friedrich Stadler)
- "Introduction to Philosophy of Science in its Historical Context" (in English) (als Teaching Assistant bei Elisabeth Nemeth und Friedrich Stadler)

Zusammenarbeit mit Schulen und Schullehrern

Vortrag für die Arbeitsgemeinschaft der Wiener Philosophie und Psychologie Lehrer, am 18. November 2013:

"Philosophische Praxis und Bildung",

Vortrag im Rahmen der Reihe "Experts go Popper" der Sir-Karl-Popper-Schule (Schulversuch zur Förderung Hochbegabter am Wiedner Gymnasiums, Wien), am 18. April 2013:

„Wer ist Philosoph(in)?“,

Workshops im Rahmen der "International Philosophy Olympiad", Bildungszentrum St. Virgil, Salzburg, am 26. und 27. März 2012

- (für Lehrer): „Philosophische Praxis und Bildung“;
- (für Schüler): „Glücksbesessenheit“; March 27, 2012

Vortrag im Rahmen der "International Philosophy Olympiad", Sir Karl Popper-Schule, Vienna, am 17. März 2011:

"Was für eine Art Erkenntnis ist wissenschaftliche Erkenntnis? Siegt die Wissenschaft über den Skeptiker?"