

Helmut Pulte

Darwin in der Physik und bei den Physikern des 19. Jahrhunderts

Eine vergleichende wissenschaftstheoretische
und -historische Untersuchung*

»Hypotheses non fingo,«
Sir Isaac Newton said
And that was true, by Jingo!
As proof demonstrated
But Darwin's speculation
Is of another sort
'Tis one which demonstration
In nowise doth support.
(Punch, 8. April 1871)

1. Einleitung:

Darwin in der Physik?

Wenn der *Physiker* Ernst Mach konstatiert, daß die »eigenartigen großen Entdeckungen« Charles Darwins »kein Physiker als solcher hätte machen können« (Mach ⁹1991, S. 197), so handelt es sich auf den ersten Blick um eine triviale und tautologieverdächtige Aussage: hat es doch die Physik traditionellerweise mit der *unbelebten Natur* und deren Gesetzmäßigkeiten zu tun, während es Darwin gerade um die *belebte Natur*, die Entstehung ihrer Arten und deren Erklärung, ging. Von den unterschiedlichen Gegenstandsbereichen her erscheint die Frage nach *Darwin in der Physik* zunächst also allzu berechtigt.

Wenn andererseits *Nichtphysiker* Darwin zum »Kopernicus der organischen Welt« (Emil Du Bois-Reymond), zum neuen »Gali-

* Der Herausgeberin dieses Bandes, Frau Eve-Marie Engels (Kassel), und Herrn Ulrich Charpa (Köln) danke ich für Diskussionen und nützliche Anmerkungen zu diesem Beitrag, Peter M. Harman (Lancaster), Martin Pollakowski (Bochum) und Gregor Schiemann (Darmstadt) für Hinweise zu J. C. Maxwell und Thomas Huxley bzw. Hermann von Helmholtz.

lei« (Asa Gray) oder zu jenem »Newton des Grashalms« (Ernst Haeckel) ernennen, den es nach Kant gar nicht hätte geben dürfen, so wird damit auch zum Ausdruck gebracht, daß Darwin Entdeckungen von revolutionärer, weltbildverändernder Bedeutung gelangen, wie sie bis dahin nur die Physik¹ kannte und wie sie wohl auch nur der Physik zugetraut worden waren. Am prägnantesten kommt diese Einschätzung in Du Bois-Reymonds Vergleich Darwins mit Kopernikus zum Ausdruck. Er zielt vor allem darauf ab, daß beide Forscher maßgeblich zur Überwindung des Anthropozentrismus beitrugen: Das heliozentrische System des Kopernikus nahm dem Menschen seine kosmologische Sonderstellung (im Mittelpunkt des Weltalls); Darwins Evolutionstheorie nahm ihm nun auch seine Exklusivität innerhalb der belebten Natur (als dem einzigen »beseelten«, über dem Tierreich thronenden Lebewesen).²

Darwin als der Kopernikus, der Galilei, der Newton des 19. Jahrhunderts: Diese von »unverdächtiger« (weil nichtphysikalischer)

1 »Physik« verwende ich im folgenden in einer weiten Bedeutung, die die Astronomie (hier explizit im Bezug auf Kopernikus) und die mathematische Physik mit einschließt. (Dies ist besonders im folgenden Teil 1 zu beachten, weil in der viktorianischen Epoche mathematische Physiker in der Regel als »mathematicians« geführt wurden.) Eine umfassende historische und systematische Untersuchung der Wirkung, die die »Darwinsche Revolution« auf die sogenannten exakten Wissenschaften hatte, steht bisher aus. Sie hätte neben der Physik insbesondere auch die Grundlagenentwicklung der Geometrie (W. K. Clifford, H. Poincaré u. a.) zu analysieren.

2 Du Bois-Reymond² 1912, S. 244 f. Der Vergleich Darwins mit Kopernikus ist häufig, wengleich mit unterschiedlicher Akzentuierung, vorzufinden (vgl. etwa Freud, *Gesammelte Werke*, Bd. XII, S. 8, 11; vgl. Bd. XI, S. 294 f.).

Als erster hat wohl Darwins Verteidiger Thomas H. Huxley einen solchen Bezug hergestellt. Bei ihm findet sich das »wissenschaftsdynamische« Argument, daß Darwins Lehre zumindest als ein Durchgangsstadium ebenso legitim und nützlich sei, wie Kopernikus' Lehre auf dem Weg zu einer endgültigen (d. h. für Huxley: Newtonschen) Theorie der Himmelsmechanik: Huxley ist »fully convinced«, daß Darwins Prinzip der natürlichen Selektion »if not precisely true, that hypothesis is as near an approximation to the truth as, for example, the Copernican hypothesis was to the true theory of the planetary motions« (Huxley 1863, S. 107).

Seite eingeführten Vergleiche verweisen gemeinsam aber auch auf einen Aspekt, der in der Aufarbeitung der Darwin-Rezeption wenig Beachtung gefunden hat und der sich mit dem Stichwort *Physikozentrismus* umreißen läßt: Es war die Physik, die mit ihrer ausdifferenzierten Experimentierpraxis und ihrer zunehmenden Mathematisierung im 19. Jahrhundert die methodischen Maßstäbe für alle Naturwissenschaften setzte und die zeitgenössische Wissenschaftstheorie unterschiedlicher Provenienz prägte. Ihre ersten Gesetze, insbesondere die Prinzipien der Mechanik, galten zum Zeitpunkt des Erscheinens von Darwins *Origin of Species* (1859) noch als universell gültig, als sicher und als unveränderlich.³ Sie wurden als feste Grundlage jeder künftigen Naturforschung verstanden. Zumindest *innerhalb der Physik* dominierte auch ein (unterschiedlich akzentuierter) Reduktionismus, dem zufolge letztlich *alle* Naturvorgänge unmittelbar auf physikalische Prozesse zurückführbar sein sollten oder deren Erforschung zumindest dem Methodenideal der Physik zu folgen habe.⁴

Für eine solche »statische« Physik *musste* Darwins Evolutionstheorie eine spezifische Herausforderung bedeuten, denn diese Theorie bezog *von Anfang an* den Menschen und seine kognitiven Fähigkeiten mit ein (Engels 1989, S. 66). Die Physik sah sich also mit der Tatsache konfrontiert, daß ihre »zentrale Wahrnehmungsapparatur«, der Mensch, Gegenstand einer biologischen Entwicklungslehre wurde. Dies konnte auf die Dauer nicht folgenlos für die Physik und den Physikozentrismus bleiben.

Damit gestaltet sich das Verhältnis von Physik und biologischer Evolutionstheorie komplizierter, als es zunächst den Anschein haben könnte. Ziel dieses Beitrages ist es, wichtige *wissenschaftstheoretische* und *-praktische* (physikalische und biologische) Aspekte dieses Verhältnisses aufzuzeigen. *Zwei leitende Fragen* stehen dabei im Mittelpunkt: zum einen, wie Darwins Evolu-

3 Insbesondere die Mechanik orientierte sich am axiomatisch-deduktiven Wissenschaftsideal der euklidischen Geometrie, das allerdings ab der Jahrhundertmitte zunehmend in Frage gestellt wurde (Pulte 1993).

4 Siehe etwa die klassische Formulierung von Helmholtz aus dem Jahre 1847, »dass alle Wirkungen in der Natur zurückzuführen seien auf anziehende und abstossende Kräfte, deren Intensität nur von der Entfernung der aufeinander wirkenden Punkte abhängt« (Helmholtz, *Abhandlungen* 1, S. 12).

tionstheorie von der zeitgenössischen Physik rezipiert wurde und welche spezifischen, disziplinorientierten Momente und Veränderungen dabei eine Rolle spielten⁵; zum anderen, welchen Einfluß Darwins Theorie auf das Wissenschaftsverständnis der Physik selber genommen hat. Im Vordergrund steht ›naheliegenderweise‹ die viktorianische Physik, die mit der deutschsprachigen Physik die zweite Jahrhunderthälfte beherrschte. Letztere wird hier hauptsächlich durch zwei ihrer einflußreichsten Vertreter, Ernst Mach und Hermann von Helmholtz, repräsentiert.

2. Darwin, die viktorianische Physik und deren Wissenschaftstheorie

Darwin war sich vollkommen darüber im klaren, daß seine Lehre mit den Maßstäben einer Wissenschaftsauffassung gemessen würde, die sich an der Physik orientierte. Er selber war von diesem Verständnis beeinflusst und formulierte schon in seinen frühen *Notebooks* das Ziel, analog zu Newtons Gravitationsgesetz für die Himmelsmechanik allgemeine und unveränderliche Gesetze für die Abstammungslehre aufzudecken. Der junge Darwin wollte tatsächlich der ›Newton der Biologie‹ werden (Schweber 1979 und 1989).

Die viktorianische Wissenschaftstheorie zur Zeit der Entstehung von *Origin of Species* war stark geprägt vom *Preliminary Discourse on Natural Philosophy* (1830) des Astronomen John Herschel. Ähnlich einflußreich wie d'Alemberts *Discours préliminaire de l'Encyclopédie* (1751) in Frankreich, an dessen Titel sich Herschel vermutlich bei der Namensgebung seines eigenen Werkes orientiert hatte, war der *Discourse* in Großbritannien tatsächlich für einige Jahrzehnte; auch Darwin hat ihn intensiv studiert und

5 Hierbei ist auch für die Rezeption in der Physik davon auszugehen, daß die Darwinsche Theorie eine ›Katalysator-Funktion‹ (Bowler 1990, S. 14, 128) hatte, d. h., daß sie nicht-darwinschen Entwicklungstheorien mit zweckgerichtetem und fortschrittsorientiertem Verlauf Vorschub leistete. Es wird daher wichtig sein, einen ›Darwinismus im engeren Sinne‹ im Auge zu behalten, der sich von solchen Theorien durch die Annahme eines nicht gerichteten, auf zufälliger Variation basierenden Prozesses mit offenem Ausgang unterscheidet.

hoch geschätzt (Darwin 1958, S. 67 f.). Neben Herschel ist hier vor allem der Universalgelehrte William Whewell zu nennen, der unter anderem eine Reihe von Werken zur Mathematik, Mechanik und Astronomie verfaßte, bevor er durch seine beiden Hauptwerke, die *History of the Inductive Sciences* (1837) und die *Philosophy of the Inductive Sciences* (1840), berühmt wurde.⁶ Herschel und Whewell verkörpern gewissermaßen den ›wissenschaftstheoretischen Physiko-zentrismus‹ der Zeit in Personalunion. Beide sahen in der Newtonschen Himmelsmechanik Krönung und Leitideal naturwissenschaftlicher Forschung. Für das Wissenschaftsverständnis der viktorianischen Physik und für deren Darwin-Rezeption ist es nützlich, nicht auf gravierende Differenzpunkte einzugehen, sondern lediglich einige *Gemeinsamkeiten* in Herschels und Whewells Wissenschaftstheorie herauszustellen. Dies sind vor allem⁷

- (a) die Betonung der *Induktion* im Anschluß an und in Absetzung von Bacon. Als ein (schrittweise) verallgemeinerndes, methodisch reflektiertes Verfahren handelt es sich bei beiden um die wichtigste Methode zur Gewinnung von Hypothesen;
- (b) die Notwendigkeit der *Deduktion* neuer empirischer Aussagen. Erst solche Vorhersagen können die Richtigkeit der (induktiv gewonnenen) Hypothesen bestätigen;
- (c) die Möglichkeit, durch Induktion und Deduktion zur Er-

6 Der dritte einflußreiche Wissenschaftstheoretiker zur Zeit Darwins war J. S. Mill. Dessen *System of Logic* (1843) hatte allerdings auf die Physik wesentlich geringeren Einfluß als die Werke Herschels und Whewells. Von Bedeutung ist er jedoch für die allgemeinere Darwin-Rezeption: Die Mill-Whewell-Kontroverse fällt zeitlich zusammen mit der intensiven Diskussion um Darwins *Origin* und trug zur wissenschaftstheoretischen Sensibilisierung der interessierten Kreise bei (Ellegård 1958, S. 174 ff.).

7 Zu den folgenden Punkten s. insbesondere Herschel 1830, (a) S. 144 ff., (b) S. 164 ff., (c) S. 123 f., 175 ff., (d) S. 144 ff. bzw. Whewell² 1967 11, (a) S. 46 ff., 74 ff., (b) S. 62 ff., 77 ff., 90 ff., (c) S. 91 ff. (und 1, S. 493 f.), (d) S. 96 ff., 281 ff. (und 1, S. 700 ff., 164 ff.). Mit dieser für die Physik zweckmäßigen Zusammenschau sollen ausdrücklich *nicht* die gravierenden Unterschiede beider Systeme verdeckt werden, die aus Herschels empiristischer und Whewells stärker rationalistisch geprägter, von Kant beeinflusster Erkenntnistheorie resultieren. Siehe hierzu (in Hinblick auf Darwin) etwa Hull 1973, 1974, Ruse 1975, 1979 sowie den Beitrag David Hulls in diesem Band.

kenntnis erster, allgemeiner und sicherer Naturgesetze zu gelangen. Dabei handelt es sich (bei Herschel immer, bei Whewell in den »fortgeschrittenen« Wissenschaften) um *quantitative* Gesetze;

(d) die Sanktionierung des in der Physik (im Anschluß an Newton) praktizierten Verfahrens, solche Erklärungsgründe, die in den allgemeinsten Naturgesetzen auftreten, als »wahre Ursachen« des Naturgeschehens anzusehen. Diese Gesetze sind Ausdruck einer naturimmanenten, genetischen Kausalität (beispielhaft ist hier wiederum das Gravitationsgesetz, in dem als »vera causa« die Gravitationskraft auftritt).

Die aufgeführten Momente spiegeln im wesentlichen die Wissenschaftsauffassung der Physik wider, die sich kurz als *hierarchisch-gradualistisch* (hypothetisch-deduktive Struktur mit Stufenfolgen), *certistisch* (Erkennbarkeit unfehlbarer Gesetze), *prognostizistisch* (Bestätigung durch Vorhersage) und *essentialistisch* (*Vera causa*-Doktrin) kennzeichnen läßt.

Darwin selber hatte zunächst verschiedene Versuche unternommen, seine Evolutionstheorie in einer Form darzustellen, die dieser Auffassung entspricht⁸; auch hatte er in der Erstauflage von

8 »Darwin wanted to make his theory as Newtonian as possible ...« (Ruse 1979, S. 176). Ruse zeigt verschiedene »Adaptionsbemühungen« Darwins auf. Hier verweise ich nur auf *einen* von ihm angeführten Punkt, die Züchtung bzw. *künstliche* Selektion. Darwin hatte sie wiederholt herangezogen, um Aussagen über *natürliche* Selektion plausibel zu machen. Er hat sogar der künstlichen Selektion im nachhinein eine wichtige heuristische Funktion bei der Aufdeckung des Prinzips der natürlichen Selektion beigemessen. Nicht zuletzt der Nachweis der neueren Darwin-Forschung, daß Darwin einen Zusammenhang von natürlicher und künstlicher Selektion tatsächlich *post festum* hergestellt hat, d. h. nachdem er im Jahre 1838 die Theorie der natürlichen Selektion in ihren wesentlichen Zügen besaß, hat zu Diskussionen Anlaß gegeben, welche Funktion die (in verschiedener Hinsicht problematische) Analogie von künstlicher und natürlicher Selektion in Darwins Theorie eigentlich hat. Ruse sieht hier ein (weiteres) Indiz für Darwins wissenschaftstheoretische Orientierung an Herschels *Discourse*: Herschel nämlich interpretiert die Möglichkeit, zwischen verschiedenen Phänomenen (etwa zwischen dem auf einer Kreisbahn geschleuderten Stein und dem Mond) eine »sehr nahe und treffende« Analogie aufzuzeigen (hier: die Zentripetalkraft), als eine »kausalitätenthüllende« Instanz: »We have here the direct perception of the cause« (Herschel 1830,

Origin sowohl Herschel als auch Whewell seine Referenz erwiesen.⁹ Um so überraschender im negativen Sinn war daher für ihn die Aufnahme seiner Lehre von dieser Seite: Sowohl Herschel als

S. 149). Durch Analogien werden gerade die »verae causae« aufgedeckt, um die es bei den allgemeinsten Naturgesetzen geht. Ruse argumentiert nun, daß Darwins Analogie von natürlicher und künstlicher Selektion bezwecke, das Selektionsprinzip als »vera causa« zu etablieren (Ruse 1975, S. 171 f.). Tatsächlich hat Darwin einen solchen Anspruch auch erhoben (Darwin *Life and Letters* II, S. 289 f.). Dies sollte jedoch nicht davon ablenken, daß Darwin, wenn er etwa von der Selektion als »force« spricht, tatsächlich nicht Herschels Verständnis von Kräften als realen, in den Körpern existierenden Ursachen teilt (s. u.) und daß sein explizit als metaphorisch ausgewiesener Gebrauch des Begriffs »natürliche Selektion« (Darwin⁹ 1992, S. 98 ff.) schwerlich eine Analogie zur künstlichen Selektion im Sinne Herschels impliziert (Engels 1989, S. 414). (Die hier vertretene Darwin-Rezeption weicht daher von derjenigen Ruses erheblich ab.)

Herschels Analogie-Gedanke scheint mir zwar ein möglicher, keineswegs aber der naheliegendste Anknüpfungspunkt Darwins an den *Discourse* zu sein. McLaughlin und Rheinberger 1982 zeigen nun, »daß der Stellenwert, den die Züchtungspraxis in Darwins Werk einnimmt, nur unter der Perspektive des Experiments angemessen erfaßt werden kann« (S. 42). Schon in der ersten Auflage von *Origin* kennzeichnet Darwin die künstliche Züchtung als »experiment« (Darwin 1964, S. 15) und verteidigt dessen Aussagekraft auch für die natürliche Selektion. Warum die künstliche Selektion als ein »Experimentierfeld« der Evolutionstheorie für Darwin besonders wichtig war, läßt sich damit durch die Anknüpfung an Herschel (anders als bei Ruse) tatsächlich *zwanglos* erklären. Herschel betont nämlich sehr nachdrücklich, daß die experimentell verfahrenden Disziplinen den nur »passiv« beobachtenden in ihrer Entwicklungsdynamik und der Sicherheit ihrer Ergebnisse haushoch überlegen sind (Herschel 1830, S. 77). Wenn Darwin in Hinblick auf die Züchtung bemerkt: »Man, therefore, may be said to have been trying an experiment on a gigantic scale ...« (Darwin 1868 I, S. 13), könnte dies auch in *diesem* Kontext der Herschelschen Wissenschaftstheorie zu verstehen sein.

Während viktorianische Physiker (wie etwa Hopkins 1973, S. 258) u. a. auch die mangelnde experimentelle Basis der Darwinschen Theorie kritisierten, gab übrigens Helmholtz in der Frage der künstlichen Selektion Darwin voll und ganz recht: »Die Erfahrungen der künstlichen Züchtung sind wissenschaftlich als eine Bestätigung ... durch das Experiment zu betrachten ...« (Helmholtz, *Vorträge* I, S. 388 f.).

9 Herschel wird von Darwin in der Einleitung als »one of our greatest

auch Whewell lehnten Darwins *Origin* (zunächst sogar vehement) ab.¹⁰

Die Physiker im engeren Sinne reagierten nicht positiver: William Hopkins gehörte zu den frühesten und härtesten Darwin-Kritikern – ebenso wie sein Schüler William Thomson.¹¹ Weiter findet man unter den erklärten Gegnern Darwins die Physiker David Brewster, Georg Stokes, Peter G. Tait, Balfour Stewart und auch den Physiker-Ingenieur Fleeming Jenkin.¹² Diese Liste ließe sich noch fortsetzen.¹³ Umgekehrt scheint John Tyndall unter den be-

philosophers« gepriesen (Darwin 1964, S. 1; zum Hintergrund Schwebber 1989, S. 32); Whewell wird mit einem Motto aus der *Bridgewater Treatise* auf dem Titelblatt geehrt – übrigens noch vor Bacon.

¹⁰ Siehe hierzu auch den Beitrag von David Hull, Teil 4.

¹¹ Siehe Hopkins 1973. »Hopkins's review ... is thought the best which has appeared against us«, bemerkt Darwin zu dieser Rezension (*Life and Letters* II, S. 327). Zu William Thomson s. insbesondere Teil 2.

¹² Siehe Jenkin 1973. In dieser Rezension sah Darwin die nützlichste Rezension von *Origin* überhaupt (Darwin, *Life and Letters* III, S. 107). Siehe weiter Stokes 1893 (hierzu auch Wilson 1989), Tait 1869, 1876 sowie Stewart und Tait ²1875 (und zum letztgenannten Werk erläutern Heimann 1972). Zur Darwin-Kritik des Newton-Biographen David Brewster s. Ellegård 1958, S. 56, 157.

¹³ Zur Gruppe der »harten« physikalischen Darwin-Kritiker kann man neben Hopkins, Thomson, Tait und Stokes auch Samuel Haughton rechnen (s. Haughton 1973), der in Dublin eine Professur für Geologie innehatte, aber vorwiegend über mathematische Physik arbeitete (Hull 1973, S. 227).

Diese Gruppe war äußerst einflußreich: Hopkins wirkte erfolgreich als Lehrer in Cambridge; bei ihm studierten u. a. Maxwell und W. Thomson. Stokes hatte dort den traditionsreichen »Lucasian chair« inne und gab drei Jahrzehnte lang die wichtigen *Philosophical Transactions* heraus (Wilson 1974, S. 12), in denen die Darwinianer bezeichnenderweise *nicht* zu Wort kamen. Tait und vor allem Thomson galten, nicht zuletzt aufgrund ihres berühmten Lehrwerkes (Thomson und Tait 1867), der »Bibel« der britischen theoretischen Physik, als unumstrittene Autoritäten ihres Faches.

J. C. Maxwell gehörte zu einer Gruppe moderaterer Kritiker Darwins. Er schaltete sich nicht direkt in die Diskussion um *Origin* ein, kritisierte aber Darwins Theorie der Pangenesis (Maxwell, *Papers* II, S. 461 ff.).

Michael Faraday, der unter den Großen der viktorianischen Physik hier noch zu nennen ist, scheint sich zu Darwins Lehre nicht geäußert

deutenderen Vertretern der viktorianischen Physik der einzige gewesen zu sein, der sich *für* Darwins Evolutionstheorie eingesetzt hat.¹⁴

Diese weitgehend negative Rezeption bedarf der Erklärung. Dabei kann es hier nur darum gehen, einige typische, d. h. eng mit dem disziplinär geprägten Wissenschaftsverständnis der Physik zusammenhängende Einwände gegen Darwin zu erörtern. Sie betreffen zunächst (und erwartungsgemäß) *methodologische Fragen*: Ein wiederholt von den Physikern vorgebrachtes Argument besagte, daß Darwins Theorie nicht der induktiven Methode folge. Vor dem Hintergrund der zeitgenössischen Wissenschaftstheorie war dies ein fast vernichtender Vorwurf, aber auch (und vermutlich deshalb) ein Allgemeinplatz in der *allgemeinen* Darwin-Kritik (Ellegård 1958, S. 185 ff.). Den »physikalischen« Kritikern ging es jedoch in einem präziseren Sinne darum, daß Darwins Theorie kein guter, d. h. *schrittweiser* Induktionsprozeß vorausgehe (etwa nach dem verschiedentlich zitierten Vorbild: Planetenbeobachtungen, Keplersche Gesetze, Gravitationsgesetz). Darwin wurde ein induktiver Sprung von der breiten Beobachtungsbasis zu allgemeinen Prinzipien vorgeworfen. Seine allgemeinen Prinzipien Variation und natürliche Selektion waren demnach als *bloße Spekulationen* anzusehen.¹⁵

zu haben. Seiner religiösen Grundhaltung nach (Gooding 1982) wird er sie aber kaum gebilligt haben.

¹⁴ Siehe Tyndall 1874, S. 182 ff. Tyndall wirkte eher als *Wissenschaftspopularisator* denn als Physiker. Er nimmt in der viktorianischen Physik auch insofern eine Sonderstellung ein, als er in Deutschland (Marburg und Berlin) ausgebildet wurde. Dieser Punkt ist interessant in Hinblick auf einen Vergleich der britischen und deutschen Rezeptionsgeschichte (vgl. Schlußteil 5): Während in Deutschland der Materialismus-Streit zur Jahrhundertmitte eine positive Darwin-Rezeption vorbereiten half, gewann der »scientific materialism« eines Tyndall in Großbritannien erst relativ spät an Einfluß. Tyndall auf seiten der Physik und Clifford auf seiten der Mathematik wirkten hier in den siebziger Jahren in der Tat noch als *Vorkämpfer* des wissenschaftlichen Materialismus und der Lehre Darwins.

¹⁵ Sehr ausführlich behandelt diesen Punkt Hopkins 1973, S. 231 ff., 264 ff. Hopkins Kritik folgt der Warnung Whewells vor »unsicherer« Induktion (Ellegård 1958, S. 191). Siehe auch Whewells eigene Darwin-Kritik (Todhunter 1876 II, S. 433 ff.) und (allerdings mit größerem Spielraum für »deduktive« Begründung) Thomson *Lectures*, insbeson-

Nun ist zwar nach Herschel und besonders nach Whewell spekulative Hypothesenbildung grundsätzlich möglich, legt aber die ganze Beweislast für die Richtigkeit der Hypothesen auf den zweiten vorhin erwähnten Schritt, die Deduktion neuer empirischer Aussagen. Solche Bestätigungen aber, so die Kritik, könne Darwins Evolutionslehre nicht erbringen.¹⁶

Darwin hat dieses »prognostische Defizit« auch unumwunden zugegeben – aber mit dem wichtigen Zusatz, daß solche deduktiven Bestätigungen im Falle seiner Theorie (schon aufgrund der benötigten Zeiträume) grundsätzlich nicht möglich seien.¹⁷

Allgemein hat er auf die Kritik der Physiker zunehmend mit der Forderung nach *methodologischer Autonomie* reagiert: seine Lehre sei nicht mit fremden, d. h. von der Physik herkommenden Maßstäben zu messen.¹⁸

Dem Vorwurf mangelhafter Induktion und vorschneller Spekulation begegnete er mit dem Argument, daß ohne leitende (notwendigerweise spekulative) theoretische Vorstellungen gar keine Induktion möglich sei: »... for without the making of theories I am convinced there would be no observation« (*Life and Letters* II, S. 108). Die »Theoriebeladenheit« jeder Beobachtung wird hier als Argument gegen einen Induktivismus besonders Herschelscher Prägung vorgebracht (Charpa 1987, S. 129 f.), der glaubt, einen unmittelbaren empirischen Zugriff auf die Natur zu besitzen.

Weiter sieht Darwin die *Bestätigungsfähigkeit und die Erklärungsleistung* seiner Evolutionstheorie nicht im direkten, deduk-

tere II, S. 197 f. Daß die sich hier manifestierende Vorstellung von »guter« Induktion *spezifisch* negativen Einfluß auf die Darwin-Rezeption hatte, illustriert im Kontrast Cassirer, der in *Origin* geradezu »ein Musterbeispiel echt induktiver Forschung und Beweisführung« erblickte (Cassirer 1973, S. 167).

¹⁶ »The great defect of this theory is the want of all positive proof ...« (Hopkins 1973, S. 266). Bei jedem der »harten« Kritiker (Anm. 13) wird dieses Argument repetiert. Zu Whewell und Mills Position s. den Beitrag von David Hull, Teil 4.

¹⁷ Siehe insbesondere Darwin⁹ 1992, S. 95 ff., und *More Letters* I, S. 184.

¹⁸ Vgl. Bowler 1990, S. 163 ff. in Hinblick auf die Kontroverse um das Erdalter sowie Anm. 24. Daß die biologischen Wissenschaften *allgemein* nach Autonomie strebten, zeigt sich in den etwa um 1874 aufkommenden (und 1887 realisierten) Plänen, die *Philosophical Transactions* (vgl. hierzu Anm. 13) in »A: mathematical and physical sciences« sowie »B: biological sciences« zu teilen. Siehe Hall 1874, S. 116.

tiven Nachweis neuer Arten, sondern in der Strukturierung und Vernetzung großer Phänomenbereiche. Dem hierarchisch-gradualistischen Theorienmodell der Physiker kann man ein gewissermaßen »holistisches« Theorienverständnis bei Darwin gegenüberstellen: »Some of my critics have said, »Oh, he is a good observer, but has no power of reasoning.« I do not think that this can be true, for the *Origin of Species* is one long argument from the beginning to the end ...«¹⁹

Mit diesen Argumenten erweist sich Darwin gegenüber seinen »physikalischen« Kritikern als der modernere (weil *undogmatische*) Methodologe. Daß er damit vor dem »Gerichtshof« der induktivistischen Wissenschaftstheorie kaum bestehen konnte, mag das Urteil des Physikers Hopkins belegen: »It is impossible ... to admit laxity of reasoning to the naturalist, while we insist on rigorous proof in the physicist. He who appeals to Caesar must be judged by Caesar's law« (Hopkins 1973, S. 231).

Die bisher skizzierte Kritik an Darwin könnte wohl auch gegenüber jeder anderen entwicklungsgeschichtlichen Theorie vorge-

¹⁹ Darwin 1958, S. 140; vgl. Darwin 1964, S. 459. An anderer Stelle bemerkt er zu seiner Lehre: »... the doctrine must sink or swim according as it groups and explains phenomena. It is really curious how few judge it in this way, which is clearly the right way« (*Life and Letters* II, S. 155, vgl. 210; *More Letters* I, S. 184).

Ein weiterer »holistischer« Zug ist Darwins Zurückweisung einer wertenden Unterscheidung von (empirisch bestätigten) Theorien, wie der Undulationstheorie des Lichtes oder der Gravitationstheorie, und einzelnen (nicht direkt bestätigbaren und daher »problematischen«) Hypothesen, wie der Existenz eines Äthers bzw. einer Gravitationskraft: »It seems to me that an hypothesis is *developed* into a theory solely by explaining an ample lot of facts« (*Life and Letters* II, S. 286). Nimmt man zu diesen Ausführungen Darwins Anerkennung der »Theoriebeladenheit« von Beobachtungen (s.o.), kann die Behauptung gewagt werden, daß Darwin den Holismus eines Quine oder Putnam voll und ganz unterschrieben hätte: »... we must recognize that it is a body of sentences, and ultimately our whole system of evolving doctrine, which forces the »tribunal of experience as a corporate body« (Putnam 1986, S. 405). Gegenüber der hier vertretenen »holistischen« Darwin-Interpretation spricht sich Ernst Mayr für eine eher »pluralistische« Lesart aus, der zufolge bei Darwin nicht weniger als *fünf verschiedene* Theorien aufweisbar sind, die keine logische Einheit bilden. Zu seiner Interpretation, die hier nicht diskutiert werden kann, s. Mayr 1994.

bracht worden sein. Sie spiegelt das noch heute diskutierte wissenschaftstheoretische Problem wider, historische Theorien in eine hypothetisch- (oder sogar axiomatisch-)deduktive Form zu bringen, wie dies die Physik forderte.²⁰

Es sollen nun Einwände von seiten der Physik erörtert werden, die den Kern der Darwinschen Lehre betreffen, d. h. die Erklärung der *Entstehung der Arten durch Variation und natürliche Selektion*. Ich möchte hier zunächst einen Punkt herausstellen, der den kausalen Charakter der allgemeinsten Naturgesetze bei Whewell und Herschel (vgl. d) betrifft.

Bereits im Kontext der Entdeckung bezeichnet Darwin die natürliche Selektion als »force« (Ruse 1975, S. 172) und später wiederholt als »power« (Darwin 1964, S. 61, 410). Er deutet hier mit Hilfe des Kraftbegriffs lediglich an, was er in seinen *Notebooks* durchaus explizit gemacht hat: Was Newtons Gravitationskraft für die Himmelsmechanik bedeutet, leistet die natürliche Selektion für die organische Welt. Darwins Anspruch ist auf dem Hintergrund der Herschel-Whewellschen Methodologie kein geringerer als der, das allgemeinste (weil kausal formulierbare) Gesetz der Entstehung der Arten aufgedeckt zu haben. Die natürliche Selektion betrachtet er als »vera causa« (*Life and Letters* II, S. 289 f.).

Bezeichnend für die enge Orientierung der ganzen Diskussion an dieser Methodologie ist nun, daß Darwins impliziter Anspruch (einschließlich der Analogie zur Newtonschen Himmelsmechanik) von der Kritik durchaus wahrgenommen und zurückgewiesen wurde.²¹

Darwin selber hat zu dieser negativen Reaktion beigetragen, indem er zunächst offenbar nicht sah, daß eine »vera causa« wie die Gravitation in der zeitgenössischen Physik als eine reale Entität verstanden wurde und ihm von daher unterstellt werden konnte,

20 Vgl. etwa Nagel³ 1971. Auch Herbert Spencers »lamarckistischer« Evolutionsbegriff wurde von Physikern und Mathematikern um P. G. Tait (vgl. Anm. 13) scharf kritisiert. Siehe Spencer 1966, S. 88.

21 So bemerkt Hopkins im Schlußwort seiner Rezension von *Origin*: »Let him pursue his researches, recollecting that Biological science requires at present its Keplers rather than its Newtons – the discovery of the more obvious laws according to which its phenomena may be arranged, rather than attempts at that higher generalization which may account for such laws by the operation of physical causes« (Hopkins 1973, S. 272).

er würde für die natürliche Selektion den gleichen Status beanspruchen. Dies war jedoch keineswegs seine Absicht. Darwin machte klar, daß seine Kennzeichnung der natürlichen Selektion als Kraft metaphorischer Art sei, *aber auch*, daß Newtons Anziehungskraft keine tiefere Bedeutung haben könne (Darwin⁹ 1992, S. 99). Beide »Kräfte« sind unbeobachtbar, und *beider* Verwendung ist lediglich dadurch legitimiert, daß sie eine Vielzahl von Phänomenen durch einfache Beschreibung verständlich machen. Gegen den Essentialismus der Physiker richtet Darwin deren bevorzugtes Mittel (die empiristische Kritik) und besteht auf der *deskriptiven* Funktion theoretischer Ausdrücke.²²

Der zweite zentrale Punkt in der spezifischen Darwin-Kritik betrifft die *Variation* der Arten. Darwin hatte das Auftreten von Variationen als »zufällig« in dem Sinne gekennzeichnet, daß er ihre Entstehung nicht angeben konnte, obwohl er an ihre naturgesetzliche Bestimmtheit glaubte (Darwin⁹ 1992, S. 153 f., 186). Daß die Variation als grundlegendes Prinzip der Evolution in diesem Sinne zufällig blieb, war für die Biologie der Zeit *unvermeidlich*, für den »general reader« Darwins bereits *problematisch* (Ellegård 1958), aber für die Physik der Zeit *unerträglich*. Fast alle »physikalischen« Kritiker Darwins stellten diesen Punkt besonders heraus. Sie konnten in einer Evolutionstheorie, die auf einem Zufallsprinzip basierte, keine wissenschaftliche Erklärung sehen. Der Begriff »Evolutionmechanismus« mußte einem viktorianischen Physiker als *contradictio in adiecto* erscheinen: Ein *Mechanismus* hätte den

22 »... is the attractive power in any way known, except by explaining the fall of the apple, and the movements of the planets?« (Darwin *Life and Letters* II, S. 286, vgl. 290). Ernst Mach deutet später diesen Sachverhalt in einer für ihn charakteristischen Weise um, indem er u. a. Darwin zugute hält, »die Newtonsche Regel« anzuwenden, »nach Möglichkeit nur eine tatsächlich beobachtete Ursache (vera causa) zur Erklärung zu verwenden« (Mach⁵ 1980, S. 177, Anm.). Zu Darwins Diskussion unbeobachtbarer Entitäten in der Physik mit Bezug auf die natürliche Selektion s. auch Hull 1973, S. 44 f. Eine Pointe in dieser Diskussion ist Darwins Instrumentalisierung der Leibnizschen Kritik an Newton. Newton konnte, so der Vorwurf von Leibniz, nicht zeigen, »what gravity itself is« (Darwin *Life and Letters* II, S. 289 f.). Sowenig daraus für Darwin eine berechtigte Kritik an Newtons Gravitationsgesetz abzuleiten sei, sowenig legitim erscheint ihm eine Kritik an seinem Prinzip der natürlichen Selektion.

in jedem Einzelfall determinierenden Ablauf des Geschehens aufzuweisen. Hiervon konnte aber bei Darwin keine Rede sein.²³

Generell hat Darwin im nachhinein den sachlich-konstruktiven Charakter der gegen ihn gerichteten Einwände betont (Darwin 1958, S. 125 f.). Die Angriffe von seiten der Physiker hingegen sah er weit weniger positiv.²⁴ Die Frage liegt nahe, welche weiteren, über Wissenschaft und Wissenschaftstheorie hinausgehenden Gründe die harte Physiker-Kritik motiviert haben könnte, womit unweigerlich auch *theologische* Fragen ins Spiel kommen.

Eine umfassende Analyse dieses Aspekts überschreitet den Rahmen dieses Beitrages bei weitem. Es ist jedoch wichtig, die spezifische Bedeutung der *Physikotheologie* für die viktorianische Physik (im Kontrast besonders zur deutschen Tradition) zu sehen, um deren Darwin-Rezeption voll verstehen zu können.

23 Zu Herschels Kritik s. den Beitrag David Hulls in diesem Band, Teil 4 und ferner Hopkins 1973, S. 257 f., 267 f.; Thomson Lectures II, S. 203 f., 89 f.; Stokes 1893, S. 43 ff.; Tait 1869 sowie (mit anderer Argumentation) Jenkin 1973, S. 306 ff. und die (inhaltlich schwache) Rezension von Haughton 1973, S. 224 f. Die Kritik »zufälliger« Variation hängt eng zusammen mit den physikotheologischen Einwänden gegen Darwin (siehe unten) wie auch mit der Frage der *Zeitdauer* der Evolution (siehe Teil 3).

Das »Zufallsargument« führt unmittelbar zum »Wahrscheinlichkeitsargument«, wonach Darwin nur Möglichkeits- oder Wahrscheinlichkeitsaussagen für Entwicklungen macht, wo die »exact sciences« Sicherheit verlangen (s. etwa Hopkins 1973, S. 257 f., 271 f.). Dieses Argument wurde jedoch durch die Entwicklung der statistischen Physik, die 1860 (also fast gleichzeitig mit Darwins *Origin*) durch Maxwells erste Untersuchung zur kinetischen Gastheorie eingeleitet wurde, aufgehoben. Charles Peirce scheint als erster gesehen zu haben, daß die Aufnahme von Wahrscheinlichkeitsaussagen in die Physik durch Maxwell und Clausius parallel zur Entwicklung der Biologie verläuft: »In like manner, Darwin while unable to say what the operation of variation and natural selection in every individual case will be, demonstrates that in the long run they will adapt to their circumstances« (Peirce 1986, S. 244; hierzu auch Hull 1973, S. 33 f.).

24 »On his standard of proof, natural science would never progress...«, bemerkte er zur Rezension von Hopkins (Darwin, *Life and Letters* II, S. 315). Die Besprechung von Haughton erschien ihm (zu Recht) als »a curiosity of unfairness and arrogance« (*More Letters* I, S. 153). Herschels Kritik (Anm. 23) sah er als (wenngleich guten) »Spott« (I, S. 330), und in einer Besprechung Tait's zur Kontroverse um das Erdal-

Die Aufdeckung allgemeiner und unwandelbarer Naturgesetze galt vor allem auch deshalb als vornehmstes Ziel der Naturwissenschaft, weil auf diesem Wege gleichsam »induktiv« auch ein intelligenter Schöpfungsplan »eingesehen« und die Existenz eines Schöpfergottes »erwiesen« werden konnte. Unter anderem Newton hatte dieses »design argument« vertreten, und durch Bentley, Derham, Paley, Whewell u. a. wurde es bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts tradiert. Überspitzt formuliert, war dieses Argument ebenso kanonischer Bestandteil der viktorianischen Physik wie Newtons Gravitationstheorie: Besonders Whewell, aber auch Herschel, Thomson, Stokes, Stewart und Tait sahen in ihm einen wichtigen Einwand gegen Darwins Vorstellung einer ungerichteten Evolution.²⁵

In Newtons Physikotheologie ging es jedoch nicht allein um die Aufdeckung des göttlichen *Planes*; sie sanktionierte auch die Möglichkeit göttlicher *Intervention* in das Naturgeschehen. Diese Vorstellung war jedoch (*spätestens* seit den Erfolgen der Himmelsmechanik eines Laplace, der bekanntlich der Annahme Gottes »nicht bedurfte«) in der Physik nicht mehr zu vertreten. Bei den viktorianischen Physikern hatte dies zunächst aber *nicht* zur Folge, auch in der belebten Natur jede göttliche Einwirkung auszuschließen. Tendenziell läßt sich vielmehr folgendes feststellen: Während die Berufung auf eine göttliche Intervention im Bereich der Physik mehr und mehr als unwissenschaftlich galt, wurde der Bereich des Organischen für die Physiker zum *Reservat*, in dem

ter (Teil 3) entdeckte er »some good specimens of mathematical arrogance« (II, S. 314). Nach Beginn dieser Kontroverse warnte Darwin ganz allgemein davor, den Aussagen von Physikern zu vertrauen (II, S. 5, 313 f.).

25 In dem Sinne, daß ein auf »zufälliger« Variation und natürlicher Selektion basierender Evolutionsprozeß nicht nur keinen göttlichen Plan erkennen lasse, sondern einen solchen Plan geradezu *ausschließe*. »I feel profoundly convinced that the argument from design has been greatly too much lost sight of in recent zoological speculations«, bemerkt daher etwa W. Thomson (*Lectures* II, S. 204). Für weitere Belege s. Wilson 1974, 1989 (zu Thomson und Stokes), Heimann 1972 (zu Stewart und Tait) sowie Schweber 1989 (zu Herschel). Zu Whewells (verfehler) Kritik an Darwin hinsichtlich der *Entstehung* von Leben siehe David Hulls Beitrag in diesem Band, Teil 4 und Young 1985, S. 144 f.

eine solche Einwirkung weiterhin als möglich und notwendig angesehen wurde.²⁶

Es wäre jedoch verkürzt, in theologischen Überzeugungen das einzige oder hauptsächliche Motiv ›physikalischer‹ Darwin-Kritik

26 Es wäre demnach präziser, von einer ›Biotheologie‹ der Physiker statt von einer ›Physikotheologie‹ zu sprechen – ich behalte jedoch den letzteren Begriff (als etablierten und historisch allgemeineren) bei. Als typisch kann hier die Haltung Stokes' (s. Ellegård 1958, S. 83) angesehen werden. Besser aber als an Einzelbelegen läßt sich die obige These an der Rezeption anderer Entwicklungstheorien, nämlich der *astronomischen* ›Nebulartheorien‹ von Kant, Laplace und Wilhelm Herschel verdeutlichen. Sie liefern unterschiedliche physikalische Erklärungsansätze für die Entstehung des Planetensystems (und gute Gründe für dessen Stabilität). Sie sind aber, anders als Darwins Theorie, streng deterministisch, indem sie von den Gesetzen der klassischen Mechanik ausgehen. Sie dienen hier als ›Folies‹, weil sie für den *physikalischen* Bereich beanspruchen können, die Grenze von natürlicher Erklärung und göttlicher Intervention zugunsten ersterer ebenso zu verschieben, wie dies die Darwinsche Theorie für den *biologischen* Bereich konnte. Die Laplacesche Theorie als bekannteste und physikalisch elaborierteste wurde in der viktorianischen Physik weitgehend akzeptiert (Wilson 1987, S. 85. Eine mögliche Ausnahme ist D. Brewster; s. hierzu Brush 1987, S. 257). Herschel zog nur die Theorie seines Vaters der Laplaceschen vor (Schweber 1989). Selbst Whewell stellte die Laplacesche Theorie nicht als physikalische Hypothese in Frage, sondern kritisierte lediglich – analog zu seinem ›Argument des Anfangs‹ gegen Darwin (s.o.) – den Anspruch, diese Theorie könne eine göttliche Einwirkung *gänzlich* (d. h. auch für den *Anfangspunkt* der Entwicklung) erübrigen (Whewell 1833, S. 181 ff.). Der weitgehenden Zustimmung zur Laplaceschen oder einer anderen astronomischen Entwicklungstheorie steht die ebenso weitgehende Ablehnung der Darwinschen Theorie gegenüber. Dies zeigt, daß die generell plausible These, die astronomischen Theorien hätten für die Darwinsche Theorie eine Wegbereiterfunktion gehabt (Lawrence 1977, Numbers 1977), für die Physiker *nicht* zutrifft, weist *deshalb* aber auch auf ein *spezifisches* Rezeptionsmuster der Physiker hin, das physikotheologisch zu verstehen ist: Während die Laplacesche Theorie insofern dem ›design argument‹ konform schien, als sie von den allgemeinsten Naturgesetzen ausging, vermochten sie eine solche ›höhere‹ *gesetzliche* Ordnung in den von Darwin angeführten Prinzipien nicht zu erkennen. Stokes und Thomson etwa führten daher für den Bereich des Organischen eine ›vital power‹ ein, die die chemischen und physikalischen Prozesse lenken soll und letztlich als Medium göttlicher Einwirkung zu verstehen ist (Wilson 1987).

zu sehen und wissenschaftstheoretische Einwände als bloße *Instrumente* im Dienste dieser Überzeugung abzutun. Vielmehr stützten sich leitende wissenschaftstheoretische Vorstellungen und Physikotheologie gegenseitig.²⁷ Auch wäre es falsch anzunehmen, daß die ›Katalysator-Wirkung‹ der Darwinschen Lehre bei den Physikern völlig außer Kraft gesetzt worden wäre.²⁸

Es bleibt aber festzuhalten, daß die ›physikalische‹ Darwin-Rezeption eindeutig negativer war als die des ›general reader‹. Da auch die allgemeine Darwin-Rezeption wesentlich von religiösen Auffassungen bestimmt wurde (Ellegård 1958), wird man diese Abweichung nur vor dem Hintergrund unterschiedlicher Wissenschaftsauffassungen begreifen können. Gegenüber dem eingangs dargelegten ›charakteristischen Quadrupel‹ für die Physik könnte man Darwins Auffassung zusammenfassend so kennzeichnen: Sie hat einen *holistischen* Zug (bildlich gesprochen: ist eher ›netzartig‹ als ›pyramidenförmig‹), ist *probabilistisch* (zielt auf Wahrscheinlichkeit der Aussagen statt Sicherheit), *plausibilistisch* (fordert Verständlichkeit der Phänomene statt Vorhersage neuer Phänomene) und *deskriptionistisch* (liefert Beschreibung statt ›genetischer‹ Kausalerklärung). Die Physik selber hatte ihren Wissenschaftsbegriff zu revidieren, bevor sie Darwins Lehre (in einer noch näher zu bestimmenden Weise) adaptieren konnte.

27 Die ›zufällige‹ Variation etwa genügte nicht den wissenschaftstheoretischen Maßstäben der Physik (Anm. 23), d. h. erschien nicht als Ausdruck von Gesetzlichkeit, sondern von *fehlender* Gesetzlichkeit. Sie konnte *deshalb* auch nicht in das ›design argument‹ integriert werden: *Auch* der Gott der viktorianischen Physiker ›würfelte nicht‹.

28 Vgl. Anm. 5. Herschel, Stokes und Thomson liefern hierfür Beispiele: Zu Herschels ›relativierender‹ späterer Kritik s. den Beitrag David Hulls, Teil 4 (in diesem Band). Stokes und Thomson gaben ihre frühen kreationistischen Standpunkte auf und konzedierten immerhin eine biologische Entwicklung der Arten, die allerdings durch ein vitalistisches Prinzip *gesteuert* wird (Anm. 26) und daher ebenfalls nicht Darwins Evolutionsbegriff entspricht.

3. Darwin, W. Thomson, Helmholtz und das Alter der Erde

Die ›physikalische‹ Darwin-Kritik beschränkte sich nicht auf wissenschaftstheoretische und physikotheologische Einwände, sondern bezog auch fachwissenschaftliche Berührungspunkte zwischen Physik und Evolutionstheorie ein; unter ihnen spielte die Frage des *Erdalters* die prominenteste Rolle.²⁹ An diesem Problem soll die wissenschaftspraktische Seite des Verhältnisses von Physik und Evolutionstheorie beleuchtet werden. William Thomson vertritt dabei exponiert die viktorianische, Hermann von Helmholtz die deutsche Physik.

Das *Erdzeitalter* hat eine erstaunliche Entwicklung genommen: Noch im 18. Jahrhundert schätzte man es auf wenige tausend Jahre. Geologie und Paläontologie dehnten diese Zeit bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts immens aus (Toulmin und Goodfield 1970). Darwins Lehrer Charles Lyell, Hauptvertreter des ›Uniformitarismus‹, ging in seinen *Principles of Geology* (1830-1833) von praktisch unbegrenzten erdgeschichtlichen Zeiträumen aus, ohne sich allerdings auf Zahlen festzulegen.

Für Darwins Idee der Evolution durch kleine und richtungslose Schritte war diese Entwicklung der Geologie eine *conditio sine qua non*. Darwin nimmt daher in jeder Auflage von *Origin* dankbar Bezug auf Lyells *Principles* und betont »die unfassbare Länge der verfloßenen Erdperioden«. Anhand sehr vager geologischer Argumente kommt er zu der Schätzung, daß »weit mehr als 300 Millionen Jahre« seit der Erstarrung der Erde vergangen sein müssen (Darwin 1964, S. 287).

Von physikalischer Seite hatte schon J. B. Fourier die Wärmeleitung der *Erde* untersucht und im Anschluß daran die Frage des Erdalters behandelt. Das Alter des thermodynamischen Systems Sonne-Erde wurde aber erst nach der Formulierung des zweiten Hauptsatzes zu einem interessanten physikalischen Problem. Da-

²⁹ Bei den physikalischen Erdaltersschätzungen (und im Zusammenhang damit) der Frage nach dem Alter der Sonne handelt es sich um den wissenschaftshistorisch am besten erforschten Aspekt des Themas ›Darwin und die Physik‹. Wissenschaftshistorische Details können daher im folgenden weitestgehend ausgeblendet werden. Hierzu sei verwiesen auf Burchfield ²1990, Brush 1979, Eiseley 1958 sowie auf James 1982 und Sharlin 1972.

bei kam die Physik zwangsläufig in Konflikt zum geologischen Uniformitarismus und insbesondere zur These vom praktisch unbegrenzten Erdalter: Die allmähliche Abkühlung der Erde, der begrenzte Vorrat an Sonnenenergie und die vom zweiten Hauptsatz konstatierte Energiedissipation weisen sowohl auf eine nur begrenzte Versorgung der Erde mit Wärme in der *Zukunft* als auch auf wesentlich höhere Erdtemperaturen in der *Vergangenheit* (und damit verbunden auf katastrophenartige geophysikalische Veränderungen der Erdoberfläche) hin. Die Physik *mußte* also nicht nur zu einer Beschränkung des Zeitraums *künftigen* Lebens auf der Erde gelangen (der berühmte ›Wärmetod‹), sondern auch zu einer Beschränkung des *zurückliegenden* Evolutionszeitraumes. Vom heutigen Standpunkt ist dabei klar, daß die Unkenntnis der *Radioaktivität* (als Energiequelle der Sonne und des Erdinneren) die Physiker des 19. Jahrhunderts zu Altersschätzungen führen würde, die in beide Zeitrichtungen wesentlich *zu gering* ausfielen. Doch nicht diese (erst *post festum* konstatabare) ›Fehlerhaftigkeit‹ der Ergebnisse ist hier von Interesse, sondern die Frage, *wie* Thomson und Helmholtz diese zu Darwins Theorie in Beziehung setzten. Beide beschäftigten sich unabhängig voneinander ab 1852 bzw. 1854 mit dem Ursprung der Energie der Sonne, der Veränderung ihres Energievorrates mit der Zeit und mit möglichen Konsequenzen für die Erde. Beide vertraten auch (in dem hier relevanten Zeitraum, d. h. ab 1859) übereinstimmend die Hypothese, daß die Sonnenwärme im wesentlichen durch eine Gravitationskontraktion der Sonnenmasse zu erklären sei.³⁰ Schließlich kamen beide auch zu ähnlichen Altersschätzungen.

Vor diesem vergleichbaren *theoretischen* Hintergrund bemerkenswert ist nun der ganz unterschiedliche *praktische* Umgang mit physikalischem Wissen in Hinblick auf die Evolutionstheorie:

³⁰ Von Helmholtz und Thomson werden als grundsätzlich mögliche Ursachen für die Entstehung und Erhaltung der Sonnenwärme chemische Verbrennung, Erwärmung durch auf die Sonne aufprallende Meteoritenschwärme und Erwärmung durch Zusammenziehung der Sonnenmasse unter Einfluß der Gravitation in Betracht gezogen. Helmholtz vertrat bereits 1854 die Kontraktionshypothese (Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 80 ff., 415 ff.; II, S. 81 ff.), Thomson befürwortete zunächst die Meteoriten-Hypothese. Nachdem sich diese als unhaltbar erwiesen hatte, schloß er sich der Helmholtzschen Erklärung an.

Thomson erschien Darwins Lehre bekanntlich als wissenschaftlich unbegründet und theologisch verdächtig; er war überzeugt von der »völligen Überflüssigkeit seiner Philosophie« (Thomson 1910 II, S. 637). Es ist daher kaum als ein Zufall anzusehen, daß er seine ersten konkreten Altersschätzungen auf der Grundlage der Kontraktionshypothese kurz *nach* dem Erscheinen von *Origin* anstellte und dann auch alsbald gegen Darwin richtete. Thomson ermittelte ein wahrscheinliches Sonnenalter von etwa 100 Millionen Jahren und legte nahe, daß die Erde aufgrund der hohen Temperaturen in der Frühzeit des Sonnensystems allenfalls seit einigen 10 Millionen Jahren belebt sein könne: »What then are we to think of such geological estimates as 300,000,000 years ...?«, fragt er kritisch in Hinblick auf das von Darwin für die Evolution »beanspruchte« Erdalter.³¹

Nun beruhten Thomsons Schätzungen auf verschiedenen empirisch nicht abzusichernden Hilfshypothesen und Extrapolationen und waren großen Schwankungen unterworfen.³² Dennoch trat er

31 Thomson, *Lectures* I, S. 368, vgl. 375. Die Vermutung liegt nahe, daß Thomson die Kontraktionshypothese von Helmholtz *nach* dem Erscheinen von *Origin* (1859) von Helmholtz übernahm, um physikalische Argumente gegen Darwins Erdaltersschätzungen in der Hand zu haben (James 1982, S. 179). Fest steht, daß er *erstmalig* 1861 diese Hypothese vertrat und gegen Darwins eigene Schätzung vorbrachte (vgl. Anm. 34).

32 Zu Thomsons variierenden Altersangaben s. Burchfield ²1990. Seine Voraussetzungen betreffen zunächst die Konstitution des Sonneninneren und des Erdinneren, die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins, die Wärmeverteilung an der Oberfläche etc. Hier konnte mit guten Gründen argumentiert werden, daß auch größere Abweichungen von den getroffenen Annahmen die Altersschätzungen nicht entscheidend beeinflussen würden. Wichtiger erscheinen daher zwei weitere Annahmen: *Erstens* das Postulat, daß die an irdischen Phänomenen gefundenen physikalischen Gesetze auch auf ganz andere Bereiche (wie das physikalisch nicht erforschte Sonneninnere) *extrapoliert* werden können; *zweitens* die Annahme, daß eine *vollständige* Kenntnis aller Energiequellen der Sonne und des Erdinneren vorliege (vgl. Anm. 30). Beide Punkte illustrieren *in praxi*, daß die induktivistische Wissenschaftstheorie (Teil 1) *universelle* und *sichere* physikalische Gesetze als möglich ansah – obwohl natürlich diese Eigenschaften keineswegs »induktiv« gesichert werden konnten.

Der zweite Punkt verdient noch eine nähere Betrachtung: Thomson

ab 1861 über einen Zeitraum von fast vierzig Jahren immer wieder mit Vorträgen und gezielt auch mit populärwissenschaftlichen Abhandlungen zum Alter der Sonne und der Erde an die Öffentlichkeit. Zunehmend verzichtete er darauf, den durchaus hypothetischen Charakter seiner Schätzungen explizit zu machen, und betonte ihre sichere Grundlage in den bewährten Gesetzen der Physik. Sowohl die durchaus nicht »induktiv« begründete Vorgehensweise als auch die populäre Darstellung stehen in deutlichem Kontrast zu Thomsons üblicher Wissenschaftspraxis (Sharlin 1972, S. 274 f.). Beides ist nur von daher zu verstehen, daß es ihm um *mehr* als physikalische Fachfragen ging: Sein Ziel war auch und vor allem eine harte Kritik des Lyellschen Uniformitarismus und der Darwinschen Evolutionstheorie. Der Biologie gegenüber wollte er nachweisen, daß das »tatsächliche«, d. h. *physikalisch* ermittelte Erdalter Darwins Theorie einer »offenen« Evolution falsifiziere:

»The limitation of geological periods, imposed by physical science, cannot, of course, disprove the hypothesis of transmutation of species; but it does seem sufficient to disprove the doctrine that transmutation has taken place through »descent with modification by natural selection.«³³

hatte seine Schätzung der Lebensdauer der Sonne noch mit der Einschränkung versehen: »... unless new sources now unknown to us, are prepared in the great storehouse of creation« (zit. nach Eiseley 1958, S. 238. Rutherford, der 1904 als erster die Radioaktivität mit der Frage des Erdalters in Verbindung brachte, verwies ironisch auf diesen »prophetischen Ausspruch« Thomsons; s. Burchfield ²1990, S. 164). In seiner späteren, langjährigen Kritik an Geologie und Evolutionstheorie hat Thomson diese Einschränkung jedoch *nicht* mehr explizit gemacht.

Auch Fleeming Jenkin, der Thomsons physikalische Argumentation gegen Darwin im wesentlichen übernahm und in seiner bekannten Rezension von *Origin* populär machte, schloß zunächst nicht grundsätzlich aus, daß *neue* Energieformen endlicher Größe im Spiel sein könnten, übersah aber, daß »neue« Energien die geschätzten Alterswerte in einem für Darwin ausreichenden Maße ausdehnen könnten. Jenkin hielt seinen »Beweis« jedoch für völlig evident: »... the age of the inhabited world is proved to have been limited to a period wholly inconsistent with Darwin's views« (Jenkin 1973, S. 331).

33 Thomson, *Lectures* II, S. 89 f. Auch in dieser Schlußfolgerung knüpft Jenkin (Anm. 32) an Thomson an (Jenkin 1973, S. 327, 331).

Thomson akzeptierte zwar grundsätzlich die Entstehung der Arten durch Entwicklung. Er glaubte aber physikalisch nachgewiesen zu haben, daß Darwins richtungslose und daher langsame Evolution durch ein richtunggebendes, entwicklungsbeschleunigendes Prinzip ersetzt werden müsse – ein Prinzip, das zudem seiner Physikotheologie entsprach. Weiter ging es ihm darum, zu verhindern, daß die Anhänger Darwins den Evolutionsprozeß auch auf die *Entstehung* des Lebens ausdehnten.³⁴

Thomsons anhaltende Kritik fand in den Wissenschaften und der interessierten Öffentlichkeit große Beachtung – nicht nur, weil ihr Urheber über ein halbes Jahrhundert als eine unumstrittene physikalische Autorität galt, sondern auch weil er von Physikern wie Stokes, Tait und Jenkin nachhaltig unterstützt wurde (Burchfield²1990).

Eine Kontroverse der Physiker mit Geologen und Biologen war unvermeidlich. Da die Physiker die Voraussetzungen der Thomsonschen Erdaltersschätzungen nicht *belegen*, ihre Opponenten die von Thomson ermittelten Zahlen aber auch nicht *widerlegen* konnten, wurde die Auseinandersetzung auch zu einer Frage der *Wissenschaftlichkeit* der beteiligten Disziplinen. Als solche lieferte sie in der Tat ein Lehrstück für die eingangs als »Physikozentrismus« gekennzeichnete Haltung: Thomson, Tait und auch Stokes machten klar, daß ihre Wissenschaft gegenüber den »naturgeschichtlichen« Disziplinen die historisch fortgeschrittenere sei, daß sie über die bessere wissenschaftstheoretische Fundierung

34 Eine solche natürliche Erklärung des Lebensanfangs hätte den »benötigten« Evolutionszeitraum weiter ausgedehnt und war für Thomson aus theologischen Gründen inakzeptabel. Schon in seiner ersten Darwin-Kritik in dem Vortrag »On the Age of the Sun's Heat« (1861, publ. 1862) wird deutlich, daß hier ein wichtiges Motiv für die Weiterführung seiner physikalischen Untersuchungen zum Erd- und Sonnenalter liegt (Thomson, *Lectures* I, S. 357, vgl. 422). Thomson erwägt (wie übrigens auch Helmholtz) die Möglichkeit, daß irdisches Leben durch Meteore von anderen Himmelskörpern eingeführt worden sein könnte, und verteidigt diese Idee als »not unscientific« (*Lectures* II, S. 202 f.; vgl. Helmholtz, *Vorträge* II, S. 89, 418 f.). Die »evolutionistische« Alternative ist hingegen mit seinem theistisch gefärbten Vitalismus unvereinbar: »... I am ready to adopt, as an article of scientific faith, true through all space and through all time, that life proceeds from life, and from nothing but life« (*Lectures* II, S. 199).

verfüge und daß daher ihre *Ergebnisse* zum Erdalter von Geologie und Biologie als *Voraussetzungen* anzuerkennen seien.³⁵

Thomsons Untersuchungen zum Erd- und Sonnenalter zementierten die Ablehnung der Darwinschen Theorie bei den meisten Physikern. Sie hatte aber auch in der Biologie ihre Wirkung. Darwin selber sah in der Altersfrage einen der schwersten Einwände gegen seine Theorie (Darwin⁹1992, S. 385 f., 540). Bei anderen Biologen trug sie dazu bei, daß Darwins Evolutionsbegriff problematisch blieb oder erneut problematisch wurde (Bowler 1990, S. 164). Die Altersfrage war daher ein Motiv für die Suche nach »entwicklungssteuernden« Mechanismen, d. h. für die Aushöhlung des Kerns der Darwinschen Lehre nach modernem Verständnis.

Daß diese »retardierende« Wirkung des Physikozentrismus keine zwangsläufige war, belegt das (Gegen-)Beispiel Helmholtz:

In der Altersfrage, aber auch in zahlreichen anderen Fragen lassen sich Parallelen in den Forschungen Thomsons und Helmholtz' aufzeigen. Ihre Sicht auf die *Biologie* unterscheidet sich jedoch in mehreren Punkten: *Erstens* impliziert Helmholtz' Physikozentrismus einen klar artikulierten Reduktionismus: Der Bereich des Lebendigen wird bei ihm durchgängig von physikalischen Gesetzen regiert; ein *Vitalismus* ist für ihn inakzeptabel.³⁶ Wenn es für

35 »It is quite certain that a great mistake has been made – that British popular geology at the present time is in direct opposition to the principles of Natural philosophy« (Thomson, *Lectures* II, S. 44, vgl. 112 f.). Die Biologie verharret für ihn auf der »naturgeschichtlichen Stufe« und hat ihr Ideal in der Physik (*Lectures* II, S. 197, vgl. 10 f.). Für Stokes ist unbestreitbar, daß das physikalische Wissen schon quantitativ das biologische übertrifft und auch qualitativ, d. h. seiner Evidenz nach, auf einer höheren Stufe steht: Die Darwinsche Lehre ist den »severe demands for evidence that are required in the physical sciences« nicht gewachsen (Stokes 1883; s. hierzu näher Wilson 1987, S. 91). Tait schließlich verteidigt die Überlegenheit der Thomsonschen Altersschätzungen gegenüber denen der Geologie mit dem Exaktheitsanspruch der *mathematischen* Physik: »The fact is that ... Mathematics is as essential an element of progress in every real science as language itself« (Tait 1869, S. 409). Hierzu und zu Huxleys geistreicher Kritik dieses Arguments s. Burchfield²1990, S. 84 ff.

36 Vgl. Anm. 26 zu Thomsons Vitalismus und Anm. 4 zu Helmholtz' Reduktionismus. Helmholtz wichtigstes Argument gegen den Vitalismus ist, daß die Einführung einer »Lebenskraft« das (von ihm mitbe-

ihn in diesem Sinne auch das »Endziel der Naturwissenschaften ist, ... sich in Mechanik aufzulösen« (Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 379), so handelt es sich hierbei doch nur um eine »ideale Forderung« für die *Zukunft*, die zunächst nur wenige praktische Konsequenzen zeitigt. Der gelehrte Mediziner Helmholtz ist insbesondere (*zweitens*) weit davon entfernt, gegenüber der Biologie einen methodologischen Vormachtsanspruch der Physik zu vertreten.³⁷ *Drittens* lehnt Helmholtz *teleologische* Erklärungen in

gründete) Energieerhaltungsprinzip verletzen würde (Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 386 ff.; *Vorträge* II).

³⁷ Die Beziehung der Naturwissenschaften zueinander sieht Helmholtz nicht »hierarchisch« wie Thomson (vgl. Anm. 35). Er charakterisiert sie vielmehr als fruchtbare wechselseitige Austauschprozesse, die durch Spezialisierung und Arbeitsteilung notwendig geworden sind und die durch jedweden Dogmatismus (metaphysischer oder auch methodologischer Art) behindert würden (Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 157 ff.; II, S. 165 ff.). In seinen methodologischen Ausführungen spricht sich Helmholtz zwar für »die strenge Disziplin der induktiven Methode« aus und verteidigt den Induktivismus der britischen Physiker gegen die Polemik Zöllners (*Vorträge* II, S. 413 ff., insbesondere 421; vgl. auch 172 ff.). Tatsächlich versteht er aber das Attribut »induktiv« nicht im Sinne des hierarchisch-gradualistischen Theorienmodells (Teil 2), sondern in einem schwächeren Sinne als »empirisch begründet«.

Dieser Punkt ist wichtig in Hinblick auf das Verständnis der allgemeinen Naturgesetze, die ja nach Herschel und Whewell kausalen Charakter haben. Das Verhältnis von Naturgesetzlichkeit und Kausalität bei Helmholtz ist verwickelter und dem zeitlichen Wandel unterworfen (König 1968). An dieser Stelle reicht es aus, zweierlei festzuhalten: *Zum einen* kommt man nach Helmholtz nicht durch schrittweise Induktion zu den allgemeinen Naturgesetzen, sondern mit Hilfe des »Witzes« (in seiner älteren Bedeutung genommen: als eines assoziativen »Seelenvermögens«; *Vorträge* II, S. 184, 431), also durch einen methodologisch nicht greifbaren, kreativen »Sprung«. *Zum anderen* muß ein so gewonnenes Naturgesetz die kausalen Verhältnisse der Realität nicht (»aktuell«) wiedergeben, sondern lediglich (»potentiell«) einer entsprechenden Interpretation *fähig* sein. Es kann seine Legitimation auch von einer »nicht kausalen« Funktion *innerhalb einer Theorie* beziehen. Von solcher Art ist das Prinzip der kleinsten Wirkung (vgl. Anm. 38). Es enthüllt keine »vera causa«, sondern kann »als heuristisches Princip und als Leitfaden für das Bestreben, die Gesetze neuer Klassen von Erscheinungen zu formulieren, einen hohen Werth in Anspruch nehmen ...« (*Abhandlungen* III, S. 210). Die beiden aufgeführ-

der belebten Natur ebenso ab wie in der unbelebten Natur: So unternimmt er in seinen späten Untersuchungen zur theoretischen Physik den Versuch, das physikotheologisch »verdächtige« Prinzip der kleinsten Wirkung als allgemeinstes Naturgesetz zu etablieren – jedoch ohne damit »metaphysische Altlasten« zu übernehmen: Er vermeidet jeden Anschein, als werde hier eine naturimmanente Zielgerichtetheit oder »höhere« Vorhersehung in den physikalischen Prozessen behauptet. Der mechanischen Interpretierbarkeit dieses Prinzips kommt daher bei ihm große Bedeutung zu.³⁸ Analog ist im Bereich des Lebendigen die augenscheinliche Zweckmäßigkeit, etwa im Bau der Organe, für Helmholtz nicht als ein *Beweisgrund* im Sinne der Physikotheologie anzusehen, sondern als ein *Erklärungsproblem* für die Naturwissenschaften.

Vor diesem Hintergrund wird verständlich, daß Helmholtz zu einer ganz anderen Bewertung der Evolutionstheorie kommt als Thomson. Er sieht in Darwins Lehre einen wichtigen Beitrag zur Durchführung seines eigenen, mechanistischen Programms. Das hauptsächliche *Verdienst* der Evolutionstheorie liegt für Helmholtz darin, daß sie die *natürliche* (d. h. für ihn: weder physikotheologische noch vitalistische) Erklärung des Zweckmäßigen voranbringt:

»Darwin's Theorie enthält einen wesentlich neuen schöpferischen Gedanken. Sie zeigt, wie Zweckmässigkeit der Bildung in den Organismen auch ohne alle Einmischung von Intelligenz durch das blinde Walten eines Naturgesetzes entstehen kann.«³⁹

ten Punkte weisen auf Gemeinsamkeiten mit Helmholtz' Interpretation des Darwinschen Prinzips der natürlichen Selektion hin und sind gleichzeitig Kritikpunkte der viktorianischen Physiker an ebendiesem Prinzip (s. Teil 2, insbesondere Anm. 15, 20, 21).

³⁸ Zur Frühgeschichte dieses Prinzips mit seinen physikotheologischen Implikationen s. Pulte 1989.

³⁹ Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 388. Dies wirft natürlich die Frage auf, wie Helmholtz die *Zufälligkeit* der Darwinschen Variation (vgl. Anm. 23) in seinen Mechanismus integriert. In seinen Erläuterungen zum »Gesetz der Forterbung der individuellen Eigenthümlichkeiten von den Eltern auf die Nachkommen« fehlt hierzu jede Stellungnahme. Innerhalb des Helmholtzschen Mechanismus kann es sich hier nur um eine »vorläufige« Zufälligkeit in dem von Darwin angedeuteten Sinne handeln, die in der Zukunft durch eine mechanische Gesetzmäßigkeit eliminiert werden muß.

Diese Theorie ist für ihn zwar noch keine vollständige, aber eine *immer besser* bestätigte naturwissenschaftliche Theorie mit großer Erklärungskraft.⁴⁰

Wie bringt nun Helmholtz diese Theorie mit der physikalischen Erdaltersschätzung in Einklang? Helmholtz teilte im wesentlichen die Altersschätzungen Thomsons und war zweifellos mit dem von Thomson konstatierten »direkten Widerspruch« zu Geologie und Evolutionstheorie vertraut.⁴¹ Er selber machte diesen (vermeintlichen) Widerspruch aber gar nicht explizit. Vielmehr stellte er die Lücken der biologischen *und der physikalischen* Kenntnisse über Anfang und Ende der Erde heraus und betonte die *Offenheit* der Problematik für weitere Untersuchungen (*Vorträge* II, S. 88 f.). Die Idee der *Anpassung* an vorhandene geologische und physikalische Umgebungen benutzte er, um den von der Physik »gewährten« Zeitraum möglichen irdischen Lebens nach beiden Richtungen auszudehnen.⁴² Was also bei Thomson als unüberbrückbarer Widerspruch erscheint, wird bei Helmholtz »harmonisiert« und für künftige Klärung offengehalten.

40 Dabei bemerkt Helmholtz bereits 1869, daß die Erklärungsleistung dieser Theorie nicht nur in ihrer Ordnungsfunktion liegt, sondern auch eine *prognostische* Funktion beinhaltet. Diese liegt freilich nicht in der von den viktorianischen Physikern geforderten Vorhersage spezieller neuer Arten (vgl. Anm. 16), sondern allgemeiner darin, daß in den von Darwin postulierten Entwicklungsreihen immer mehr Lücken geschlossen werden (Helmholtz, *Vorträge* I, S. 389).

41 Nach Helmholtz' eigener Rechnung würde die Gravitationskontraktion der Sonne ausgereicht haben, »um ihre gegenwärtige Wärmeabgabe auf nicht weniger denn 22 Millionen Jahre der Vergangenheit zu decken«. In die Zukunft extrapoliert, würde »für noch weitere 17 Millionen Jahre dieselbe Intensität des Sonnenscheins ... unterhalten, welche jetzt die Quelle alles Irdischen Lebens ist« (Helmholtz, *Vorträge* I, S. 82 f.). Helmholtz unterhielt ausgezeichnete Kontakte zu den britischen Physikern, u. a. auch zu Thomson. Mehrfach hielt er sich zu Vorträgen und Tagungen auf der Insel auf – so auch 1861, als die Kontroverse um das Erdalter ausbrach (Königsberger 1903, insbesondere I, S. 372 ff.). Die guten Beziehungen u. a. zu Thomson und Tait erklären wohl auch, warum Helmholtz sich nicht aktiv in die Debatte eingeschaltet hat.

42 »... wer weiss zu sagen, ob die ersten lebenden Bewohner des warmen Meeres auf der jugendlichen Erde, die wir vielleicht als unserer Stammeseltern verehren müssen, den jetzigen kühleren Zustand nicht mit

Thomson und Helmholtz geben ein Beispiel dafür, in welchem Maße wissenschaftstheoretische Leitvorstellungen forschungspraktisch wirksam sein können und Forschungsstrategien bestimmen: Eine nach innerwissenschaftlichen Maßstäben keineswegs sichere These wie die des physikalischen Erdalters kann beharrlich verfolgt und unter Aufbringung der ganzen Autorität des Faches als »hartes« Argument gegen eine Theorie vorgebracht werden, die diesen Leitvorstellungen widerspricht. Die gleiche These kann aber auch hypothetisiert, zu einer »weichen« Vermutung heruntergespielt werden, um eine als fruchtbar angesehene neue Theorie zu stützen, wenn diese mit den eigenen Leitvorstellungen konform geht. Sowohl Thomsons als auch Helmholtz' Haltung gegenüber der Darwinschen Theorie wird man im Rahmen ihrer jeweiligen Wissenschaftstheorie als weitgehend rational begründet ansehen können, und erst *post festum* läßt sich Helmholtz' Position als die *angemessenere* kennzeichnen.

Die *einflußreichere* Position war jedenfalls die der viktorianischen Physiker. Allgemein zeigt hier die Theorie des Erdalters, daß eine etablierte und dominierende Wissenschaft wie die Physik inkompatibel erscheinende Entwicklungen in einer anderen Disziplin (wie der Biologie) über längere Zeit behindern kann, ohne (wiederum *post festum* geurteilt) im Recht zu sein. Diese dominierende Variante des Physikozytrismus wirkte sich eindeutig negativ gegen Darwin aus.

Tatsächlich war es der Evolutionstheorie im 19. Jahrhundert nicht möglich, *ihr* Erdalter von einer (durch die Geologie gegebenen) *Voraussetzung* in eine (gegen die Physik aufrechterhaltene) *Erklärung* zu verwandeln. Es war die *Physik* selber, die durch revolutionäre Umwälzungen in ihren eigenen Grundlagen, darunter die Entdeckung der natürlichen Radioaktivität, zu einer enormen Ausdehnung des Erdalters kam. Sie beseitigte den Widerspruch zur Darwinschen Theorie, den sie gerade *dieser Theorie* zur Last gelegt hatte.

ebenso viel Grauen betrachten würden, wie wir eine Welt ohne Sonne? Wer weiss zu sagen, zu welcher Stufe der Vollendung bei dem wunderbaren Anpassungsvermögen an die Bedingungen des Lebens, welches allen Organismen zukommt, unsere Nachkommen nach 17 Millionen Jahren sich ausgebildet haben werden ...?» (Helmholtz, *Vorträge* II, S. 89).

4. Ernst Machs ›kopernikanische Wende‹ des Physikozentrismus

Tyndall und Helmholtz gehörten nicht zur breiten ›physikalischen‹ Ablehnungsfront gegen Darwin. Beide sahen die Möglichkeit, die Evolutionstheorie in ihre jeweiligen mechanistischen Programme zu integrieren. Sie zogen jedoch eine Schlußfolgerung *nicht*, die bei der konsequenten Anwendung des Evolutionsgedankens auf den Menschen als *erkennendes* Subjekt (zugleich also auch Objekt) nahegelegt wird: daß nämlich die menschlichen Erkenntnisstrukturen und somit auch die Gesetze der Physik selber als Produkte der Anpassung an einen gewissen Realitätsausschnitt aufgefaßt werden könnten. Diese Gesetze wären demnach als nur beschränkt gültig (für eben diesen Ausschnitt) und als dem zeitlichen Wandel unterworfen anzusehen. Demgegenüber hält der ›neuere Mechanismus‹ Tyndalls und Helmholtz', trotz aller Unterschiede gegenüber dem ›traditionellen Mechanismus‹ (Rey 1909), an einem essentialistischen Gesetzesverständnis fest, nach dem es universelle und unveränderliche Naturgesetze in der äußeren Realität *gibt*, die dem Menschen »als eine objective Macht« gegenüberstehen.⁴³

Für Ernst Mach dagegen »scheint« es sich hier nur um eine »fremde Macht« zu handeln (Mach, *Vorlesungen*, S. 252). Ihm ist ein solcher Mechanismus ein nur historisch begreifliches »Vorurteil« (Mach⁹ 1982, S. 472), von dem er sich selber früh frei machte. Wenige Jahre nach Erscheinen von *Origin* war er dabei der erste Vertreter der ›exakten Wissenschaften‹ überhaupt, der, ausgehend von Darwins Lehre, die Idee der *Entwicklung* für Erkenntnistheorie und die Wissenschaftstheorie der Physik fruchtbar zu machen versuchte.⁴⁴ Dies bedeutet unweigerlich auch eine Abkehr vom

43 Helmholtz, *Vorträge* I, S. 376. Diese Auffassung ist vom Wandel seiner Wissenschaftsauffassung nicht betroffen (vgl. Helmholtz² 1922, S. 14). Nur bei der Erörterung des Status der Axiome der Geometrie geht Helmholtz kurz auf Erkenntnisstruktur und Anpassung ein (Helmholtz, *Vorträge* II, S. 15). Zu Tyndall vgl. auch Anm. 14.

44 Noch 1863 vertritt Mach einen Mechanismus, insbesondere ein essentialistisches Gesetzesverständnis im Sinne von Helmholtz (Mach 1863, S. 3 ff.). Die Evolutionstheorie war offenbar ein wichtiges Moment für die Auflösung dieser Position. Rückblickend schreibt Mach: »Als Gymnasiast lernte ich schon 1854 die Lehre Lamarcks ... kennen, war

Physikozentrismus – gleichsam eine ›kopernikanische Wende‹ im Verhältnis von Physik und Biologie.

Tatsächlich sollte man bei Mach von einer durch Darwin vermittelten Entwicklungsidee und nicht vom Evolutionsbegriff im eigentlichen Darwinschen Sinne sprechen. Durch diese Idee wird ein ›naturwüchsiger‹ Zusammenhang aller Bereiche seines wissenschaftlichen Denkens hergestellt, der kurz nach seiner *biologischen*, *erkenntnis-* und *wissenschaftstheoretischen* Seite hin getrennt skizziert werden soll.

Im *biologischen* Kontext bezieht sich Mach fast durchgängig auf Darwin und erwähnt Lamarck nur sporadisch als Vorläufer, obwohl er Lamarcks Idee der Vererbung erworbener Eigenschaften große Bedeutung beimißt.⁴⁵ Die Evolutionstheorie wird häufig zur Stützung des Entwicklungsgedankens herangezogen, aber ihre biologischen Aussagen werden *nirgendwo* im Detail erläutert. Insbesondere der Zufallscharakter der Variation und die Ungerichtetheit der Evolution werden von Mach offenbar nicht grundsätzlich reflektiert, jedenfalls aber nicht akzeptiert.⁴⁶

also wohlvorbereitet, die 1859 publizierten Gedanken Darwins aufzunehmen. Diese wurden schon in meinen Grazer Vorlesungen 1864–1867 wirksam und äußern sich durch Auffassung des Wettstreits der wissenschaftlichen Gedanken als Lebenskampf, als Überleben des Passendsten« (Mach 1910, S. 600). Machs ›zwangloser‹ Übergang von Lamarck zu Darwin weist (erstmalig) darauf hin, daß er eine grundsätzliche Differenzierung zwischen beiden Ansätzen gar nicht vornimmt.

45 Siehe etwa Mach, *Vorlesungen*, S. 246; ³1919, S. 380f. und zur Vererbung erworbener Eigenschaften *Vorlesungen*, S. 615; ⁵1991, S. 64 f. Gegenüber Weismanns rigoroser biologischer Kritik dieses Gedankens von Lamarck beharrt Mach zumindest auf der Möglichkeit, daß »der Einfluß des individuellen Lebens auf die Nachkommen doch nicht auszuschließen« ist (Mach⁹ 1991, S. 65; vgl. *Vorlesungen*, S. 615).

46 Mach erkennt zwar in Darwins Theorie »die *Abänderung* als das Neue« an (*Vorlesungen*, S. 247). Er diskutiert aber ebensowenig wie Helmholtz (Anm. 39) den Zufallscharakter der Variation. Statt dessen stellt er eine Analogie zur Mechanik her, die darauf hindeutet, daß er an eine im Einzelfall determinierte Entwicklung glaubt. Dies wird bekräftigt durch Machs Vision, die Zunahme embryologischer und paläontologischer Befunde könne zu einer solchen Kenntnis der biologischen Entwicklung führen, daß ein Mathematiker »durch Variation einiger Parameter wie in einem flüssigen Nebelbild die eine Form in die andere überführt, so wie wir einen Kegelschnitt in den anderen umwandeln« (*Vorlesungen*, S. 287 f.).

Es gibt also eine ›Machsche Unschärferelation‹ hinsichtlich des biologischen Gehaltes der Darwinschen Lehre⁴⁷, und diese erweist sich geradezu als konstitutiv dafür, daß Mach diese Lehre auf die *Erkenntnistheorie*⁴⁸ anwenden kann: »... die Erkenntnis ist eine Äußerung der organischen Natur« (Mach, *Vorlesungen*, S. 249). Dieses Diktum könnte man als *Hauptsatz* der Machschen Erkenntnislehre bezeichnen. Tatsächlich will Mach alle Formen der Erkenntnis, von der einfachsten Gedächtnisleistung eines Tieres bis hin zur genialen wissenschaftlichen Idee und kulturellen Schöpfung, als Anpassungsleistungen des Individuums *und* der Art im Überlebenskampf verstanden wissen:

»Gedanken sind keine *gesonderten* Lebewesen. Doch sind Gedanken Äusserungen des organischen Lebens. Und, wenn Darwin einen richtigen Blick getroffen hat, muss der Zug der Umbildung und Entwicklung an denselben wahrzunehmen sein« (Mach³1919, S. 382).

Weite Teile von Machs Erkenntnislehre sind als Explikationen dieses Gedankens aufzufassen: »In kürzester Art ausgedrückt erscheint dann als Aufgabe der wissenschaftlichen Erkenntnis: Die Anpassung der Gedanken an die Tatsachen und die Anpassung der Gedanken aneinander.«⁴⁹

- 47 Diese Unbestimmtheit kommt auch in seiner schwankenden Beurteilung der Darwinschen Theorie zum Ausdruck. In seinen Werken findet sich sowohl eine euphorische Gleichstellung mit der Mechanik Galileis (Mach³1919, S. 380 f.; *Vorlesungen*, S. 247 f.) als auch die Feststellung, »daß ich die Entwicklungslehre in jeder Form als eine modifizierbare, zu verschärfende *naturwissenschaftliche Arbeitshypothese* betrachte ...« (Mach⁹1991, S. 65 f.).
- 48 Mach spricht lediglich von einer »Erkenntnislehre«, um sich bewußt von den Systemen der Schulphilosophie abzugrenzen, und kennzeichnet diese als eine »biologisch-ökonomische« (Mach 1910, S. 600), um klarzumachen, daß (Darwinsche) Biologie und Nationalökonomie schon in der ›Ontogenese‹ seiner Anschauungen leitend waren. Siehe hierzu näher Čapek 1968.
- 49 Mach 1910, S. 600. Sein bekanntes Prinzip der Denkökonomie etwa ist auf diesem Hintergrund als ein gleichsam phänotypisches Merkmal aufzufassen, das seine ›biologische‹ Erklärung darin findet, daß Einfachheit und Zweckmäßigkeit der Erkenntnis einen Selektionsvorteil gewähren: »Den rein ökonomischen Wert, den ich den Theorien zugestehe, und die Stellung, die ich der Metaphysik gegenüber einnehme, haben ihre tiefe Berechtigung in den biologischen Forderungen« (Mach, *Vorlesungen*, S. 59c; vgl. 227 ff.).

Mach selber hat das Problem artikuliert, »die ganze technische und wissenschaftliche Kultur als ... Umweg« zum Ziel der Selbsterhaltung zu begreifen (Mach⁵1980, S. 60). Ein Reflex auf diese Problematik ist sein Gebrauch des Evolutionsbegriffs im kognitiv-kulturellen Bereich: Die im biologischen Kontext auftretende ›Unschärfe‹ wird hier einwandfrei *zuungunsten* der Darwinschen Entwicklungsvorstellung entschieden. Mach glaubt daran, daß die vom Individuum angesammelte Erkenntnis biologisch ›engrammiert‹ und durch Vererbung an die Nachfahren weitergegeben werden kann. Sein Entwicklungsgedanke ist stark lamarckistisch geprägt, wenn es darum geht, kognitive Veränderungen im weitesten Sinne zu erfassen.⁵⁰ Der Prozeß der kognitiven Entwicklung im Individuum *und* der Art ist daher für ihn auch ein eindeutig fortschrittsorientierter.⁵¹ Machs Vorstellungen zur *Wissenschaftsdynamik* allgemein folgen, entgegen seiner eigenen Einschätzung, eher dem biologischen Modell Lamarcks als Darwins.

Dies festzustellen ist wichtig insbesondere in Hinblick auf seine *Theorie der Wissenschaftsgeschichte*⁵², während für seine Wissenschaftstheorie im engeren Sinne der entscheidende Punkt die

- 50 Siehe hierzu insbesondere Mach *Vorlesungen*, S. 615 ff. Tatsächlich glaubt Mach sogar daran, daß »wesentliche organische Umbildungen« erklären können, warum neue wissenschaftliche Theorien zunächst weitgehend abgelehnt und »nach einem Jahrhundert« weitgehend anerkannt werden (*Vorlesungen*, S. 258).
- 51 Daß Darwins »zwiespältige Einstellung zum Fortschritt« (Engels 1989, S. 89) von Mach nicht geteilt wird, läßt sich vielfach belegen (etwa: Mach, *Vorlesungen*, S. 257 ff.). Am deutlichsten wird dies wohl in seiner Idee eines »gerechten« Verlaufs der Wissenschaftsgeschichte (*Vorlesungen*, S. 76).
- 52 Das Beispiel Mach belegt besonders gut, daß Theorien der Wissenschaftsgeschichte, die die nachweisbaren historischen Prozesse im Auge behalten, sich nicht auf Darwins Evolutionstheorie berufen können – und *vice versa* (Bayertz 1987). Insbesondere zur zufälligen Variation der Biologie kann im Bereich der Ideen- und Theoriengenesen keine auch nur annähernd befriedigende Analogie hergestellt werden. Es hat deshalb eine gewisse symbolische Bedeutung, wenn Mach gegen Ende seines Lebens die frühe Entwicklung ›von Lamarck zu Darwin‹ invertiert: »Ich denke meine Stellung zwischen Darwin und Lamarck ... zu ändern, beziehungsweise umzukehren; ich halte Lamarck jetzt für den tieferen Geist ...« (Blackmore und Hentschel 1985, S. 142; vgl. 146 f.).

durch Darwin vermittelte ›biologische‹ Orientierung ist. Hier kommt Mach trotz seiner empiristischen Grundhaltung zu einer Auffassung, die mit der des älteren Induktivismus, nach dem »das Entdecken ein recht behagliches Handwerk« sei (Mach ³1919, S. 445), nur noch wenig gemein hat. Andererseits stimmt Mach in wesentlichen Punkten mit Darwins Wissenschaftsverständnis⁵³ überein: Fokussiert in Hinblick auf die früheren Charakterisierungen (Teil 2) läßt sich feststellen, daß Machs Auffassung (1) Darwins eher *holistisches* Theorienverständnis mit umgreift⁵⁴, daß sie (2) zweifelsfrei ebenfalls *probabilistisch* (und nicht *certistisch*), daß sie (3) *plausibilistisch und prognostizistisch*⁵⁵ sowie (4) eben-

- 53 Der wichtigste, erkenntnistheoretisch vermittelte *Unterschied* zu Darwin liegt darin, daß Darwin naturwissenschaftliche Theorien als Ganzes realistisch interpretiert, während es sich hier bei Mach um »eine Art Instrumentensammlung zur gedanklichen Ergänzung irgend welcher teilweise vorliegender Tatsachen oder zur möglichsten Einschränkung unserer Erwartung in künftig sich darbietenden Fällen« handelt (Blackmore und Hentschel, S. 455).
- 54 Vgl. hierzu Anm. 19. Wissenschaftliche Erkenntnis ist auch bei Mach *nicht* in die komplexe Beobachtung (›Anpassung der Gedanken an die Tatsachen‹) und Theorie (›Anpassung der Gedanken aneinander‹) zu zerlegen: »... Beobachtung und Theorie sind nicht scharf zu trennen ...« (Mach ⁵1980, S. 165; vgl. 202 f.). Weiter kann bei Mach (im Anschluß an Duhem) eine einzelne, in eine Theorie ›eingepaßte‹ Hypothese nicht isoliert durch die Erfahrung widerlegt werden (S. 244). Diese Züge hat Machs Wissenschaftstheorie mit Darwins gemeinsam und unterscheidet sie vom Induktivismus. Der Metapher der Wissenschaft als *Pyramide* im Induktivismus kann man Machs häufig benutzte Metapher des lebendigen *Organismus* gegenüberstellen. Tatsächlich reiht Mach Darwin neben Descartes, Newton und Leibniz unter die wenigen Großen der Wissenschafts- und Philosophiegeschichte ein, die sich »um den organischen Zusammenhang größerer Gedankenkreise« (S. 178) bemühten.
- 55 »Man verlangt von der Wissenschaft, daß sie zu *prophezeien* verstehe ... Der Ausdruck, obgleich naheliegend, ist jedoch zu eng. Der Geologe, Paläontologe, zuweilen der Astronom, immer der Historiker, Kulturforscher, Sprachforscher prophezeien, sozusagen, nach rückwärts. ... Sagen wir lieber: *Die Wissenschaft hat teilweise vorliegende Tatsachen in Gedanken zu ergänzen*. Dies wird durch die Beschreibung ermöglicht, denn diese setzt Abhängigkeit der beschreibenden Elemente voneinander voraus, da ja sonst nichts beschrieben wäre« (Mach, *Vorlesungen*, S. 283 f.). Machs Begriff der Beschreibung

falls eindeutig *deskriptionistisch* (und nicht *essentialistisch*) ist. Keiner der *wissenschaftstheoretischen* Einwände, welche die viktorianischen Physiker gegen Darwin vorbrachten, hat daher nach dem Wissenschaftsverständnis eines Mach Bestand. Ebenso ist bei ihm einem (wenngleich ›affirmativen‹) Physiko-zentrismus Helmholtz'scher Prägung der Boden entzogen. Die eingangs skizzierte traditionelle Sicht der Physiker auf das Verhältnis von Physik und Biologie wird nun zwar bei Mach nicht gerade umgekehrt, weil die Entwicklungsbiologie der Physik nur zeigen kann, daß ihre grundlegenden Voraussetzungen (wie die Struktur des Raumes und der Zeit, das Kausalitätsprinzip) historisch gewachsen und somit veränderbar sind, aber nicht, *wie* ihre Veränderung aussieht. Physik und Biologie werden aber gewissermaßen ›ins Gleichgewicht‹ gebracht. Seiner Forderung: »Die Wissenschaft schafft nicht eine Tatsache aus der anderen, sie ordnet aber die bekannten« (Mach, *Vorlesungen*, S. 242) genügt die Darwinsche Evolutionstheorie ebenso wie etwa die theoretische Mechanik oder die Elektrodynamik. Diese Konsequenz wäre für einen Whewell oder William Thomson wissenschaftstheoretisch inakzeptabel, und auch Helmholtz vermeidet sie. Mach aber meint *auch Darwin*, wenn er eben diese Schlußfolgerung zieht, zu der er *ohne Darwin* kaum hätte gelangen können: »Die imposantesten Sätze der Physik, lösen wir sie in ihre Elemente auf, unterscheiden sich in nichts von den beschreibenden Sätzen des Naturhistorikers« (*Vorlesungen*, S. 230).

5. Schlußbemerkungen

Machs Darwin-Rezeption hat, wie seine wissenschaftstheoretischen Leitvorstellungen allgemein, beträchtlichen Einfluß auf die Physik des ausgehenden 19. und des 20. Jahrhunderts genommen. Er trug vermutlich mehr als jeder andere Physiker dazu bei, daß ›*wissenschaftsdarwinistische*‹ Vorstellungen in die naturwissenschaftliche und technische Ausbildung gelangten und so eine starke Verbreitung fanden.⁵⁶ Ludwig Boltzmann, sein (informel-

schließt die im Induktivismus so wichtige Bestätigungsinstanz der *Prognose* ein, aber eben auch *Verstehbarkeit* im Sinne Darwins.

56 Zur Problematik der Bezeichnung ›Wissenschaftsdarwinismus‹ vgl. die

ler) Nachfolger auf dem Wiener Lehrstuhl für »Geschichte und Theorie der inductiven Wissenschaften« und Gegner in der Atomismus-Debatte, wurde wohl durch ihn zum Verfechter der Evolutionstheorie. Boltzmann prophezeite, das 19. Jahrhundert werde einst gefeiert werden als das »Jahrhundert der mechanischen Naturauffassung, das Jahrhundert Darwins«. ⁵⁷

Helmholtz, Mach und Boltzmann gehörten zu den wissenschaftstheoretischen Vordenkern der deutschsprachigen Physik des 19. Jahrhunderts. Ihre Beispiele positiver Darwin-Rezeption stehen in starkem Kontrast zur Aufnahme in der viktorianischen Physik. Eine breitere Untersuchung der deutschen Rezeption dürfte diesen Befund bestätigen. In der vielschichtigen Darwin-Rezeption wird man auf *verschiedenen* Ebenen Faktoren zu suchen haben, die eine positivere Aufnahme in der deutschsprachigen Physik ermöglicht haben. Zusammenfassend und zugleich extrapolierend sollen hierzu einige Überlegungen angestellt werden.

Zunächst scheint die Biologie in Deutschland institutionell stärker etabliert und ihr Verhältnis zur Physik ein engeres, durch

institutionelle und curriculare Schranken weniger belastetes gewesen zu sein. Dies erleichterte die Forschung auf einem Grenzgebiet wie der Sinnesphysiologie (Helmholtz, Mach, Fechner, Zöllner, u. a.; vgl. Helmholtz, *Vorträge* 1, S. 396 f.) und trug zum Abbau des Physiko-zentrismus bei. Mach gibt hierfür das beste Beispiel, aber auch ein »Reduktionist« wie Helmholtz sah die Möglichkeit, Mechanismus und Evolutionstheorie zu vereinbaren.

Unter den Einflüssen der deutschen *Schulphilosophie* war es zweifellos der Materialismus-Streit um die Jahrhundertmitte, der eine positive Darwin-Rezeption vorzubereiten half (Gregory 1977, S. 164 ff.). ⁵⁸ Der »scientific materialism« eines Tyndall in Großbritannien dagegen kam später und hatte für den Darwinismus keine Wegbereiter-, sondern eher eine Wegbegleiter-Funktion; von den Physikern wurde *auch er* zunächst kaum positiv rezipiert.

Weiter spielte das physikotheologische »design argument« eine wichtige Rolle in der Darwin-Kritik der viktorianischen Physiker. In der deutschsprachigen Physik des 19. Jahrhunderts hingegen hatte die Physikotheologie kein Gewicht mehr – ein Faktum, das selber nur philosophiegeschichtlich zu verstehen ist. ⁵⁹ Schließ-

Anm. 50-52. Machs eigene Schriften, insbesondere seine *Mechanik*, erlebten zahlreiche Auflagen und waren in der Physik äußerst einflußreich. Das vermutlich markanteste Beispiel für die *mittelbare* Wirkung seiner Ideen liefert der Physiker und Ingenieur August Föppl, der mit Mach in Briefwechsel stand und Machs »biologische« Erkenntnislehre übernahm. Föppl bildete »etwa zehntausend« Ingenieurstudenten aus (Föppl 1925, S. 25). In seinen *Vorlesungen über technische Mechanik*, die von 1898 bis 1948 nicht weniger als 14 Auflagen erlebten, wird stets der »Vorgang des Anpassens unserer Vorstellungen und unseres Denkens an das außer uns liegende Geschehen« als biologischer Prozeß der Weitervererbung der bestangepaßtesten Gedanken vermittelt. Das Beispiel zeigt auch, wie ein popularisierter und vulgarisierter »Wissenschaftsdarwinismus« auf die wissenschaftlich-technischen »Eliten« Einfluß nehmen und sich mit der breiteren und diffusen Strömung des Sozialdarwinismus auf problematische, sogar gefährliche Weise assoziieren konnte: »Wer aber erst die richtige Theorie eines Vorgangs erfaßt hat, der vermag ihn, sofern ein Eingriff überhaupt möglich ist, nach Wunsch zu leiten, und darum ist die Wissenschaft die gewaltigste Waffe, die Menschen und Völkern zu Gebote stehen« (S. 11, vgl. 5 f.).

⁵⁷ Boltzmann 1905, S. 28; vgl. 314. Zum Einfluß des Evolutionsgedankens auf seine Wissenschaftstheorie ist vom Verfasser der Artikel in Vorbereitung: »Ludwig Boltzmanns evolutionärer Mechanismus.«

⁵⁸ Daß die materialistische Bewegung wiederum davon beeinflusst wurde, daß mit Lorenz Oken »der Idealismus der Naturphilosophie in einen handfesten materialistischen Monismus umschlug« (Heidelberger 1993, S. 36), scheint für die deutsche Darwin-Rezeption generell wichtig und auch für die Physik beachtenswert. Heidelberger weist darauf hin, daß Oken (im Unterschied zu Schelling und Hegel) eine biologische Entwicklungslehre vertrat, die die positive Aufnahme Darwins bei den Materialisten mit herbeiführte (S. 37). Unter den Physikern dürfte jedenfalls Fechners »Bekehrung« zu Darwin (mit einer eigenwilligen Umdeutung der Evolutionstheorie) durch Okens Entwicklungslehre vermittelt sein (S. 86 f., 294 f.). Die scharfe Ablehnung der Naturphilosophie bei den meisten Naturwissenschaftlern des späteren 19. Jahrhunderts sollte allerdings vor einer Überbetonung eines Einflusses von dieser Seite auf die deutsche Darwin-Rezeption warnen.

⁵⁹ Hier ist vor allem Kants eindringliche Warnung an Naturwissenschaft und Theologie vor einer unklaren Abgrenzung beider Bereiche zu gegenwärtigen: »Wenn man also für die Naturwissenschaft und in ihrem Kontext den Begriff von Gott hereinbringt, um sich die Zweckmäßigkeit in der Natur erklärlich zu machen, und hernach diese Zweckmäßigkeit wiederum braucht, um zu beweisen, daß ein Gott sei: so ist in keiner von beiden Wissenschaften innerer Bestand; ...« (Kant 1974, S. 331: A 301, B 305). Helmholtz etwa, der in Kant den einzigen

lich wirkte der recht *starre* Induktivismus als leitende Wissenschaftstheorie der viktorianischen Physik eindeutig negativ auf die Darwin-Rezeption. Die deutschsprachige Physik verfügte zwar nicht über eine derart dominierende Wissenschaftstheorie. Generell läßt sich aber sagen, daß hier einer Theoriebildung, die im Herschel-Whewellschen Sinne *nicht* als ›induktiv gesichert‹ erschien, ein größerer Spielraum gewährt wurde. Es ist charakteristisch, daß der Darwin-Anhänger Boltzmann seine kinetische Gastheorie gegen Ende des Jahrhunderts ähnlichen Einwänden von seiten des Darwin-Gegners Tait ausgesetzt sah, wie sie Thomson, Tait und andere zuvor gegenüber der Darwinschen Theorie geäußert hatten.⁶⁰

Mußte Darwins Evolutionstheorie sich zunächst *auch* gegen den harten Widerstand der viktorianischen Physiker durchsetzen, so belegen andererseits Beispiele wie Mach und Boltzmann für die Physik, Clifford und Poincaré für die Mathematik, wie sehr die Evolutionstheorie *in the long run* das Selbstverständnis der sogenannten ›exakten Wissenschaften‹ beeinflusste und zu einer *Dynamisierung* ihrer Wissenschaftsauffassung beitrug. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um diesen Prozeß im Detail verstehen und seinen Anteil an der Ausprägung des modernen Wissen-

verlässlichen ›Ankerpunkt‹ einer neu zu begründenden *wissenschaftlichen* Philosophie sah, folgt dessen Kritik der Physikotheologie, wenn er Darwins größte Leistung in einer *natürlichen* Erklärung der Zweckmäßigkeit des Lebendigen erblickt.

60 Zu Tait's Boltzmann-Kritik s. Bellone 1980, S. 29 ff. Auch diese Kritik wurde von William Thomson gesteuert (S. 31). Sie zielt im Kern darauf ab, daß Boltzmann's Gastheorie ein Übergewicht auf mathematische Deduktion lege und empirisch nicht hinreichend begründet sei. Als ein ›Gegenstück‹ zu Tait's Boltzmann-Kritik kann man die polemische Thomson-und-Tait-Schelte des deutschen Astronomen Zöllner ansehen. Dieser bezichtigt die Briten gerade, in »rastloser Vermehrung empirischer Tatsachen zu schwelgen« und die deduktive Methode sträflich zu vernachlässigen (Zöllner 1872, S. VIII). Boltzmann selber sah die Annäherung von physikalischer und biologischer Theoriebildung folgendermaßen (vgl. den Schluß von Teil 1): »... die früher so genannten beschreibenden Naturwissenschaften triumphierten, als ihnen die Hypothese Darwins erlaubte, die Lebensformen und Erscheinungen nicht bloß zu beschreiben, sondern ebenfalls zu erklären. Sonderbarerweise machte fast gleichzeitig die Physik die entgegengesetzte Schwenkung« (Boltzmann 1905, S. 4 f.).

schaftsverständnisses beurteilen zu können. Wie Ernst Mach (³1919, S. 360) treffend bemerkte: »Darwin's Gedanke ist eben zu bedeutend und weittragend, um nicht auf alle Wissensgebiete Einfluss zu nehmen.«

Literatur

- Bayertz, Kurt (1987): »Wissenschaftsentwicklung als Evolution? Evolutionäre Konzeptionen wissenschaftlichen Wandels bei Ernst Mach, Karl Popper und Stephen Toulmin«, in: *Zeitschrift für allgemeine Wissenschaftstheorie*. Bd. 18, S. 61-91.
- Bellone, Enrico (1980): *A World on Paper. Studies on the Second Scientific Revolution*. Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- Blackmore, John und Klaus Hentschel, Hgg. (1985): *Ernst Mach als Außenseiter. Machs Briefwechsel über Philosophie und Relativitätstheorie mit Persönlichkeiten seiner Zeit*. Wien: W. Braumüller.
- Boltzmann, Ludwig (1905): *Populäre Schriften*. Leipzig: J. A. Barth.
- Bowler, Peter J. (1990): *Charles Darwin. The Man and his Influence*. Oxford: Basil Blackwell.
- Brush, Stephen G. (1979): »Nineteenth-Century Debates about the Inside of the Earth: Solid, Liquid or Gas?«, in: *Annals of Science*. Bd. 36, S. 225-254.
- (1987): »The Nebular Hypothesis and the Evolutionary World View« in: *History of Science*. Bd. 25, erweitert um: Bibliographie of Works Published Since 1974, S. 245-277.
- Burchfield, Joe D. (1990): *Lord Kelvin and the Age of the Earth*. 2nd ed. Chicago/London: The University of Chicago Press (¹1975).
- Čapek, Milic (1968): »Ernst Mach's Biological Theory of Knowledge«, in: *Synthese*. Bd. 18, S. 171-191.
- Charpa, Ulrich (1987): »John F.W. Herschels Methodologie der Erfahrungswissenschaft«, in: *Philosophia Naturalis*. Bd. 24, S. 121-148.
- Cassirer, Ernst (1973): *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*. Bd. 4: Von Hegels Tod bis zur Gegenwart (1832-1932). Hildesheim/New York: Georg Olms (¹1957).
- Darwin, Charles (1868): *The Variation of Animals and Plants under Domestication*. 2 Bde. London: Murray.
- (1958): *The Autobiography of Charles Darwin, 1809-1882*. Hg. Nora Barlow, London: Collins.
- (1964): *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (1859). Faksimile der Erstauflage mit einer Einführung von Ernst Mayr. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.

- (1992): *Über die Entstehung der Arten durch natürliche Zuchtwahl, oder die Erhaltung der begünstigten Rassen im Kampf um's Dasein*. 9., unveränderte Auflage. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Nachdruck: Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Darwin, Francis, Hg. (1887): *The Life and Letters of Charles Darwin*. 3 Bde. London: John Murray.
- , Hg. (1903): *More Letters of Charles Darwin*. 2 Bde., London: Murray.
- Dierse, Ulrich (1986): »Der Newton der Geschichte«, in: *Archiv für Begriffsgeschichte*. Bd. 30, S. 158-182.
- Du Bois-Reymond, Emil (1912): *Reden in zwei Bänden*. Bd. 2. 2. vervollständigte Auflage. Leipzig: Von Veit & Comp. (1887).
- (1979): »Gedächtnisrede auf Hermann von Helmholtz« (1896), in: Heinrich Scheel, Hg.: *Physiker über Physiker*. Bd. 2. Berlin: Akademie-Verlag, S. 68-99.
- Eiseley, Loren (1958): *Darwin's Century*. New York: Doubleday.
- Ellegård, Alvar (1958): *Darwin and the General Reader*. Göteborg: Almqvist & Wiksell.
- Engels, Eve-Marie (1989): *Erkenntnis als Anpassung? Eine Studie zur evolutionären Erkenntnistheorie*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Fechner, Gustav Theodor (1873): *Einige Ideen zur Schöpfungs- und Entwicklungsgeschichte der Organismen*. Leipzig: Breitkopf und Härtel.
- Föppl, August (1925): *Lebenserinnerungen. Rückblick auf meine Lehr- und Aufstiegsjahre*. München/Berlin: R. Oldenbourg.
- (1925): *Vorlesungen über technische Mechanik*, Bd. 1: Einführung in die Mechanik. 8., erweiterte Auflage. Leipzig/Berlin: B. G. Teubner.
- Freud, Sigmund: *Gesammelte Werke*. 18 Bde. Hg. von Anna Freud u. a. Frankfurt am Main 1952-1968: Imago/S. Fischer.
- Gooding, David (1982): »Empiricism in Practice: Teleology, Economy, and Observation in Faraday's Physics«, in: *Isis*. Bd. 73, S. 46-67.
- Glick, Thomas F., Ed. (1974): *The Comparative Reception of Darwinism*. Austin/London: University of Texas Press.
- Gregory, Frederick (1977): *Scientific Materialism in Nineteenth Century Germany*. Dordrecht: Reidel.
- Hall, Marie Boas (1984): *All Scientist Now: The Royal Society in the Nineteenth Century*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Haughton, Samuel (1973): »Biogenesis« (1860), in: David Hull, Hg.: *Darwin and His Critics*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, S. 217-227.
- Heidelberger, Michael (1993): *Die innere Seite der Natur. Gustav Theodor Fechners wissenschaftlich-philosophische Weltauffassung*. Frankfurt am Main: Vittorio Klostermann.
- Heimann, Peter M. (1972): »The »Unseen Universe«: Physics and Philosophy of Nature in Victorian England«, in: *British Journal for the History of Science*. Bd. 6, S. 73-79.
- Helmholtz, Hermann von: *Wissenschaftliche Abhandlungen*. 3 Bde. Leipzig 1882-1895; J. A. Barth.
- (1896): *Vorträge und Reden*. 2 Bde. 4., erweiterte Auflage. Braunschweig: Vieweg (1865).
- (1922): *Einleitung zu den Vorlesungen über theoretische Physik*. Hg. von Arthur König und Carl Runge. 2., unveränderte Auflage. Leipzig: J. A. Barth (1903).
- Herschel, John F. (1830): *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*. London: Longman, Rees, Orme, Brown & Green.
- (1861): *Physical Geography*. London: Longmans.
- Hopkins, William (1973): »Physical Theories of the Phenomena of Life« (1860), in: David Hull, Hg.: *Darwin and His Critics*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, S. 229-272.
- Hull, David L. (1973): *Darwin and His Critics. The Reception of Darwin's Theory of Evolution by the Scientific Community*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press.
- (1974): »Charles Darwin and Nineteenth-Century Philosophies of Science«, in: Ronald N. Giere & Richard S. Westfall, Hgg.: *Foundations of Scientific Method: The Nineteenth Century*. Bloomington/London: Indiana University Press, S. 114-132.
- Huxley, Thomas H. (1863): *Evidence as to Man's Place in Nature*. London/Edinburgh: Williams and Norgate.
- James, Frank A. (1982): »Thermodynamics and Sources of Solar Heat, 1846-1862«, in: *British Journal for the History of Science*. Bd. 14, S. 155-181.
- Jenkin, Fleeming (1973): »The Origin of Species« (1867), in: David Hull, Hg.: *Darwin and His Critics*. Cambridge (Mass.): Harvard University Press, S. 303-344.
- König, Gert (1968): »Der Wissenschaftsbegriff bei Helmholtz und Mach«, in: Alwin Diemer, Hg.: *Beiträge zur Entwicklung der Wissenschaftstheorie im 19. Jahrhundert*. Meisenheim am Glan: Anton Hain, S. 90-114.
- Königsberger, Leo (1903): *Hermann von Helmholtz*. 3 Bde. Braunschweig 1902/1903: Vieweg.
- Lawrence, Philip (1977): »Heaven and Earth – The Relation of the Nebular Hypothesis to Geology«, in: Wolfgang Yourgrau und Allen D. Breck, Hg.: *Cosmology, History and Theology*. New York/London: Plenum Press, S. 159-177.
- Lenoir, Timothy (1989): *The Strategy of Life. Teleology and Mechanics in Nineteenth Century German Biology*. 2., verbesserte Auflage. Chicago/London: The University of Chicago Press (1982).
- Mach, Ernst: *Populärwissenschaftliche Vorlesungen*. 5. Auflage. Wien/Köln/Graz: Böhlau (1896).
- (1863): *Compendium der Physik für Mediciner*. Wien: W. Braumüller.
- (1910): »Die Leitgedanken meiner naturwissenschaftlichen Erkenntnis-

- lehre und ihre Aufnahme durch die Zeitgenossen«, in: *Physikalische Zeitschrift*. Bd. 11, S. 599-606.
- (1919): *Die Principien der Wärmelehre. Historisch-kritisch entwickelt*. 3., unveränderte Auflage. Leipzig: J. A. Barth (1896).
 - (1980): *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*. 5. Auflage. Leipzig: J. A. Barth, Nachdruck: Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (1905).
 - (1982): *Die Mechanik. Historisch-kritisch dargestellt*. 9. Auflage, mit einem Vorwort von L. Mach. Leipzig: J. A. Barth, Nachdruck: Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (1883).
 - (1991): *Die Analyse der Empfindungen und das Verhältnis des Physischen zum Psychischen*. 9., unveränderte Auflage. Jena: G. Fischer, Nachdruck: Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft (1886).
- Maxwell, James C. (1890): *The Scientific Papers*. Hg. von William D. Niven. 2 Bde. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayr, Ernst (1994): *... und Darwin hat doch recht*. München/Zürich: Piper. (*One Long Argument*. Cambridge, Mass. 1991).
- McLaughlin, Peter und Hans-Jörg Rheinberger (1982): »Darwin und das Experiment«, in: Kurt Bayertz, Bernhard Heidtmann und Hans-Jörg Rheinberger, Red.: *Darwin und die Evolutionstheorie. Dialektik*. Bd. 5, Köln: Pahl-Rugenstein, S. 27-43.
- Nagel, Ernest (1971): *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*. 3. Auflage. London: Routledge & Kegan Paul (1961).
- Numbers, Ronald L. (1977): *Creation by Natural Law. Laplace's Nebular Hypothesis in American Thought*. Seattle/London: University of Washington Press.
- Peirce, Charles S. (1986): »The Fixation of Belief« (1877), in: Christian J.W. Kloesel, Hg.: *Writings of Charles Peirce*, Bd. 3. Bloomington: Indiana University Press, S. 242-257.
- Pulte, Helmut (1989): *Das Prinzip der kleinsten Wirkung und die Kraftkonzeptionen der rationalen Mechanik*. Wiesbaden: F. Steiner.
- (1993): »Zum Niedergang des Euklidianismus in der Mechanik des 19. Jahrhunderts«, in: xvi. *Deutscher Kongress für Philosophie. Sektionsbeiträge*, Bd. 2. Berlin 1993: TU Berlin, S. 833-840.
- Putnam, Hilary (1986): »Meaning Holism«, in: Lewis E. Hahn und Paul A. Schilpp, Hgg.: *The Philosophy of W.V. Quine*. La Salle: Open Court, S. 405-426.
- Rey, Abel (1909): *Die Theorie der Physik bei den modernen Physikern*. Leipzig: W. Klinkhardt (*La Théorie de la physique chez les physiciens contemporains*. Paris 1907).
- Ruse, Michael (1975): »Darwin's Debt to Philosophy: an Examination of the Influence of the Philosophical Ideas of John F. W. Herschel and William Whewell on the Development of Charles Darwin's Theory of Evolution«, in: *Studies in History and Philosophy of Science*. Bd. 6, S. 159-181.
- (1979): *The Darwinian Revolution*. Chicago/London: The University of Chicago Press.
- Schweber, Silvan S. (1979): »The Young Darwin«, in: *Journal for the History of Biology*. Bd. 12, S. 175-192.
- (1989): »John Herschel and Charles Darwin: A Study in Parallel Lives«, in: *Journal for the History of Biology*. Bd. 22, S. 1-71.
- Sharlin, Harold I. (1972): »On Being Scientific: A Critique of Evolutionary Geology and Biology in the Nineteenth Century«, in: *Annals of Science*. Bd. 29, S. 271-285.
- Spencer, Herbert (1966): *The Works of Herbert Spencer. Various Fragments*. Bd. 18. Osnabrück: O. Zeller (1907).
- Stewart, Balfour und Peter G. Tait (1875): *The Unseen Universe, or Physical Speculations on a Future State*. 2. Auflage. London: Macmillan (1875).
- Stokes, George G. (1883): »On the Absence of Real Opposition between Science and Revelation«, in: *Journal of the Transactions of the Victoria Institute*. Bd. 17, S. 200.
- (1893): *Natural Theology. The Gifford Lectures*. Bd. 2. London: Adam and Charles Black.
- Tait, Peter G. (1869): »Geological Time« (anonym), in: *The North British Review*. Bd. 50, S. 409-439.
- (1876): *Lectures on Some Recent Advances in Physical Science*. London: Macmillan.
- Thompson, Silvanus P. (1910): *The Life of William Thomson, Baron Kelvin of Largs*. 2 Bde. London: Macmillan & Co.
- Thomson, William (1891-1894): *Popular Lectures and Addresses*. 3 Bde. London: Macmillan & Co.
- (1882-1911): *Mathematical and Physical Papers*. 6 Bde. Cambridge: Cambridge University Press.
- Thomson, William und Peter G. Tait (1867): *Treatise on Natural Philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Todhunter, Isaac (1876): *William Whewell, D.D. An Account of his Writings with Selections from his Literary and Scientific Correspondance*. 2 Bde. London: Macmillan & Co.
- Toulmin, Stephen G. und June Goodfield (1970): *Die Entdeckung der Zeit*. München: W. Goldmann (*The Discovery of Time*. London 1965).
- Tyndall, John (1874): *Fragmente aus den Wissenschaften*. Mit Vorwort und Zusätzen von Hermann von Helmholtz. Braunschweig: Vieweg (*Fragments of Science for Unscientific People*. London 1871).
- Whewell, William (1833): *Astronomy and General Physics. Considered with Reference to Natural Theology*. London: W. Pickering.
- (1967): *The Philosophy of the Inductive Sciences*. 2. Auflage, mit Berich-

- tigungen, Hinzufügungen und einem Anhang mit früher veröffentlichten philosophischen Essays. 2 Bde. London: Frank Cass & Co. (1840).
- Wilson, David B. (1974): »Kelvin's Scientific Realism. The Theological Context«, in: *Philosophical Journal*. Bd. 11, S. 41-60.
- (1987): *Kelvin and Stokes. A Comparative Study in Victorian Physics*. Bristol: Adam Hilger.
- (1989): »A Physicists Alternative to Materialism. The Religious Thought of George Gabriel Stokes«, in: Patrick Brantlinger, Hg.: *Energy and Entropy. Science and Culture in Victorian Britain*. Bloomington/Indianapolis: Indiana University Press.
- Young, Robert M. (1985): *Darwin's Metaphor: Nature's Place in Victorian Culture*. Cambridge/London/New York: Cambridge University Press.
- Zöllner, Johann C. F. (1872): *Über die Natur der Cometen. Beiträge zur Geschichte und Theorie der Erkenntniss*. Leipzig: W. Engelmann.