

Hans Drieschs Argumente für den Vitalismus

MARCEL WEBER

Universität Hannover
Zentrale Einrichtung für Wissenschaftstheorie
und Wissenschaftsethik
Oeltzenstraße 9
30169 Hannover

Tel: (05 11) 762-5107

Fax: (05 11) 762-4799

E-mail: weber@mbox.ww.uni-hannover.de

Zusammenfassung. Ich rekonstruiere und kritisiere Hans Drieschs Argumentation für die Behauptung, daß biologischen Prozessen nur eine substanzdualistische Ontologie der belebten Materie (Vitalismus) gerecht werden kann. Meine Diagnose lautet, daß Drieschs Argumentation zwar logisch schlüssig ist bzw. durch leichte Modifikationen in eine logisch gültige Form gebracht werden kann, aber von empirisch unbegründeten, metaphysischen Prämissen über die Möglichkeiten eines energieumwandelnden Mechanismus ausgeht.

1. Einleitung und historischer Kontext

Der Vitalismus oder die Idee, daß es in Lebewesen irreduzible, elementare Kräfte gibt, die in der unbelebten Materie nicht vorhanden sind, wird heute im Allgemeinen für tot gehalten. So behauptet z.B. Sober (1993, S. 24), daß niemals ein »starkes positives Argument« für den Vitalismus konstruiert wurde. Ich werde hier Sobers Aussage widerlegen, indem ich zeige, daß Hans Drieschs Argumente für den Vitalismus die Prädikate »stark« und »positiv« im Sinne Sobers verdienen¹. Das Ziel dieses Aufsatzes besteht allerdings nicht in der Verteidigung einer vitalistischen Ontologie, tatsächlich wird unter anderem auch die Unhaltbarkeit von Drieschs Position gezeigt, und zwar auch von der damaligen Perspektive aus gesehen². Eine kritische Durchleuchtung von Drieschs Argumentation ist aber sowohl in historischer wie auch in systematischer Hinsicht interessant³. Außerdem gibt es auffällige Ähnlichkeiten zwischen Drieschs Ausführungen und der zeitgenössischen Diskussion über den nichtreduktiven Materialismus, Emergenz und das Leib/Seele-Problem. Ich werde am Rande auf solche Zusammenhänge hinweisen.

Der Entwicklungsphysiologe und spätere Philosoph Hans Driesch war einer der letzten Vitalisten innerhalb der Biologie (Mayr 1982, Mocek 1988, Roll-Hansen 1979, Thiel 1980). Obwohl die Bedeutung von Drieschs experimentellen und theoretischen Arbeiten für die Embryologie wissenschaftshistorisch ausführlich aufgearbeitet wurde (Maienschein 1986 und 1990, Willier und Oppenheimer 1964, Allen 1975) und mindestens eine Monographie über Drieschs späteres philosophisches Werk existiert (Miller 1991), wurde Drieschs Argumentation für den Vitalismus sowie seine Theorie der Entelechie meines Wissens nie systematisch rekonstruiert. Dem soll hier Abhilfe geschaffen werden.

Der junge Driesch wurde als Biologe bekannt durch eine Reihe von Experimenten, die der Vererbungs- und Entwicklungslehre von Wilhelm Roux widersprachen (Allen 1975, S. 29ff.). Sowohl Roux als auch Driesch hatten bei Ernst Haeckel promoviert und waren ursprünglich Anhänger von dessen »Darwinistischer« Schule. Nach seiner Promotion kam Driesch unter dem Einfluß Roux‘ und einer Gruppe von deutschen Entwicklungsphysiologen, die ihr Projekt bezeichnenderweise *Entwicklungsmechanik* nannten, zur Auffassung, daß Haeckels »biogenetisches Grundgesetz« keine Erklärung für die embryonale Morphogenese liefern kann. Die Ursachen für die Formbildung waren nach dieser neuen Auffassung in den biologischen *Individuen* zu suchen und nicht, wie Haeckel dachte, in der *Phylogenese*. Die Entwicklungsmechaniker suchten also nach mechanistischen Kausalerklärungen für die embryonale Zelldifferenzierung (Maienschein 1990).

Roux schlug um 1890 die sogenannte *Mosaiktheorie* vor, die - in heutiger Terminologie ausgedrückt - eine asymmetrische Verteilung der Erbinformation bei der Zellteilung annahm. Die Theorie stützte sich unter anderem auf eine Reihe von Experimenten, die Roux an Froschembryonen durchgeführt hatte. Wird bei Froschkeimen nach der ersten Furchungsteilung eine der Blastomeren abgetötet, kommt es zur Bildung von halben Embryonen (Roux 1888; siehe auch Driesch 1909, Bd. I, S. 59). Dieses Ergebnis erklärte Roux mit der Hypothese, daß die Formbildung eine »Evolution« oder Entfaltung eines *präformierten* Plans mit sich unabhängig entwickelnden Teilen darstellt (Maienschein 1986).

Im Jahre 1891 erzielte Driesch experimentelle Ergebnisse, die der Mosaiktheorie widersprachen. Bei seinen Experimenten mit Seeigelembryonen hatte er beobachtet, daß sich die Blastomeren des Seeigelkeims im Zwei- und Vierzellstadium separieren lassen, wobei sich aus jeder Hälfte eine ganze Pluteuslarve bildet (Driesch 1892; siehe auch Driesch 1909, Bd. I, S. 60). Zwischen Roux und Driesch entsprang eine Kontroverse über die Bedeutung dieser

sich scheinbar widersprechenden Ergebnisse, denen allerdings nichts weiter als artspezifische Unterschiede in der Ontogenese zugrunde liegen, wie Bertalanffy (1930) später feststellte.

Die Roux-Driesch Kontroverse war ein zentraler Bestandteil der theoretischen Debatte über die Mechanismen der Zelldifferenzierung in den neunziger Jahren des 19. Jahrhunderts (Maienschein 1986, Allen 1975, Mocek 1974). Die Debatten drehten sich vor allem um das Problem, ob die Embryogenese eine präformierte *Evolution* (im ontogenetischen, nicht im phylogenetischen Sinn) bzw. »Metamorphose von Mannigfaltigkeit« oder eine *Epigenesis* bzw. »Neubildung von Mannigfaltigkeit« darstellt (Driesch 1892). Driesch deutete die von ihm beobachteten Phänomene als »regulative Epigenesis«, die in dem Sinne nicht präformiert ist, indem der sich entwickelnde Keim von außen verursachte Störungen durch Regulation beheben kann.

Es muß betont werden, daß Driesch zu diesem Zeitpunkt noch *Materialist* war (Maienschein 1986), daß also die Roux-Driesch Kontroverse noch keine Kontroverse Materialismus vs. Vitalismus darstellt, sondern eine Debatte über zwei sich gegenseitig konkurrenzierende *mechanistische* Theorien.

Nach erfolglosen Versuchen, seine epigenetische Theorie mit mathematischen Methoden weiterzuentwickeln (Allen 1975, S. 31), begann Driesch um die Jahrhundertwende vom mechanistischen Projekt der »Entwicklungsmechanik« Abstand zu nehmen und vitalistische Theorien aufzustellen. Die Fähigkeit separierter Seeigelblastomeren, ein ganzes Tier zu bilden, sowie das verblüffende Regenerationspotential mancher mariner Invertebraten (insbesondere Seescheiden) brachten ihn zur Auffassung, daß diesen Phänomenen keine »Maschine«, d.h. keine physikalisch-chemische Kausalität, zugrunde liegen kann. Er postulierte die Existenz eines Vitalfaktors, den er in Anlehnung an Aristoteles *Entelechie* nannte. Driesch entwickelte auf dieser Grundlage ein System von vitalistischen Argumenten sowie eine Theorie der Entelechie. Diese sind Gegenstand der vorliegenden Arbeit⁴.

Die beiden Werke »Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre« (1905) sowie das aus einer in den Jahren 1907 und 1908 an der University of Aberdeen gehaltenen Vorlesung entstandene »Philosophie des Organischen« (1909), in denen seine vitalistischen Argumente und die Theorie der Entelechie ausführlich dargestellt sind, stammen aus einer Zeit, zu der sich Driesch nicht mehr mit der experimentellen Biologie beschäftigte, sondern mit Philosophie⁵.

Ich werde im nächsten Abschnitt Drieschs Argumente für den Vitalismus rekonstruieren. Im dritten Abschnitt untersuche ich Drieschs Begriff der Entelechie und vergleiche seinen Vitalismus mit anderen antireduktionistischen Argumentationssystemen. Im vierten Abschnitt werde ich zur weiteren Klärung von Drieschs Position versuchen, seine Argumente formal zu rekonstruieren. Zum Schluß folgt fünftens eine Kritik der Argumente für den Vitalismus.

2. Die Begründung des Vitalismus

Drieschs Begründung des Vitalismus stützt sich teilweise auf *experimentelle Tatsachen*. Aus experimentellen Fakten aus den Bereichen der Morphogenese und der Regeneration gewinnt Driesch zwei »Beweise für die Autonomie der Lebensvorgänge«. Zwei weitere solche »Beweise« werden aus der Bewegungs- und der Hirnphysiologie extrahiert. Dazu gibt es eine Reihe von »Indizien« aus verschiedenen Bereichen der Biologie, die von Driesch entweder »vitalistisch möchten verwertet werden« (1905, Bd. I, S. 211), oder in einen der anderen Beweise einmünden. Driesch läßt die Möglichkeit zu, daß einzelne der von ihm als »Indizien« angeführten Phänomene mechanistisch erklärbar sind, die in den »Beweisen« verwendeten Sachverhalte hält aber für ausschließlich vitalistisch erklärbar. Ich stelle zunächst die zwei

Hauptargumente dar, die Driesch als den »ersten« und »zweiten« Beweis bezeichnet. Danach werden die weiteren Beweise sowie die Indizien besprochen.

2.1 Der Erste Beweis

Die Grundlage zum »Ersten Beweis« bilden Drieschs Experimente an Embryonen sowie an den Adultformen von Organismen, die eine natürliche Fähigkeit besitzen, verlorene Gliedmassen und Organe zu regenerieren. Driesch stellte fest, daß die Blastomeren des Zwei- und Vierzellstadiums beim Seeigel *Echinus microtuberculatus* sich zu normalen, wenn auch etwas zu klein geratenen Larven entwickeln, wenn der Keim halbiert resp. viergeteilt wird (1905, S. 189 sowie 1909 Bd. I, S. 62f.). Das heißt, daß die embryonalen Zellen des Seeigelkeimes in den ersten zwei Furchungsteilungen ihre Fähigkeit beibehalten, sich zu einem ganzen Tier zu differenzieren. Es handelt sich hierbei um einen kontingenten biologischen Sachverhalt, der bei anderen Arten nicht notwendig gegeben ist; dieser Umstand wird aber von Driesch nicht thematisiert.

Um die von ihm beobachteten Phänomene theoretisch zu behandeln, führte er folgende Unterscheidung ein (1905, S. 188 sowie 1909, Bd. I, S. 123): Als »prospektive Bedeutung« bezeichnet Driesch das *wirkliche Schicksal* einer Zelle oder einer Gruppe von Zellen im sich entwickelnden Embryo, und als »prospektive Potenz« deren *mögliches Schicksal*⁶.

Die prospektive Bedeutung von Keimzellen kann variabel oder konstant sein; z.B. ist die prospektive Bedeutung von Roux' Froschblastomeren konstant, während die von Drieschs Seeigelzellen variabel ist. Mit der Variabilität der prospektiven Bedeutung meint Driesch, daß sich die Zellen je nach experimenteller Situation anders verhalten: die beiden Furchungszellen im Zweizellstadium des Seeigels differenzieren sich unabhängig weiter, wenn sie experi-

mentell getrennt werden; läßt man sie zusammen, leisten sie die Embryogenese gemeinsam. Im ersten Fall verhalten sie sich wie die Eizelle vor der ersten Furchungsteilung, im zweiten verhalten sie sich als normale Furchungszellen.

Die Blastula des Seeigels kann außerdem bis etwa zum 800-Zell Stadium in Stücke geschnitten werden und aus diesen Stücken, falls sie nicht zu klein sind, entwickeln sich normale Embryonen (1905, S. 190). Auch dieses Phänomen subsumiert Driesch unter die Variabilität der prospektiven Bedeutung gewisser embryonaler Teile.

Im Gegensatz zur prospektiven Bedeutung ist die prospektive Potenz *konstant*. Damit meint Driesch, daß es bei den Exstirpationsversuchen an den Seeigelembryonen, sofern der Embryo durch die Manipulationen nicht abstirbt, nur *einen möglichen Ausgang* gibt, nämlich den, daß sich ein ganzer Organismus aus den Bruchstücken bildet. Ebenso ist das mögliche Schicksal mancher Embryoteile konstant, z. B. wenn sich aus bestimmten Anlagen immer bestimmte Strukturen bilden. Mit anderen Worten: die Entwicklung einer Gruppe von Zellen läuft auf ein bestimmtes Ziel zu, welches durch die prospektive *Potenz* festgelegt ist. Dieses Ziel kann unter verschiedenen Anfangsbedingungen erreicht werden, weil die prospektive *Bedeutung* einzelner Zellen variabel ist.

Driesch nennt embryonale Systeme von Zellen, die das Phänomen der konstanten prospektiven Potenz zeigen, *harmonisch äquipotentielle Systeme* (1905, S. 205 sowie 1909, Bd. I, S. 122). Mit dem Begriff der Äquipotentialität soll zum Ausdruck gebracht werden, daß in diesen Systemen »*jedes ihrer Elemente jede einzelne Rolle in der Gesamtheit dessen spielen kann, was im ganzen System geschieht*« (1909, Bd. I, S. 121. Hervorhbg. im Original). Die »Harmonie« eines harmonisch-äquipotentiellen Systems besteht darin, daß »alle Einzelleistungen zusammen das Normale in normaler Proportion« bilden⁷ (1905, S. 204).

Die Furchungszellen des Seeigelembryos bis etwa zum Vierzell-Stadium bilden ein harmonisch-äquipotentielles System, ebenso Teile der Blastula bis etwa zum 800-Zell Stadium.

Driesch spricht auch im Zusammenhang mit den embryonalen Keimschichten des Gastrula-Stadiums, dem Ekto- und Entoderm, von harmonisch-äquipotentiellen Systemen. Wird ein Teil des Ektoderms des Seesterns *Asterias glacialis* entfernt, so liefert auch der übrigbleibende Rest, sofern er noch eine minimale Größe besitzt, die entsprechenden Strukturen des fertigen Tieres (1905, S. 190). Die Zellen des Entoderm sind ebenfalls in der Lage, exstirpierte Teile zu ersetzen. Niemals liefern allerdings Entodermzellen Ektodermgewebe oder umgekehrt; in Drieschs Worten: die prospektive Potenz von Ento- und Ektoderm ist *verschieden* (in heutiger Terminologie: die Zellen der Keimschichten sind *committed*). Innerhalb der Keimschichten ist die prospektive Potenz aber konstant; Ento- und Ektoderm bilden in sich geschlossene, harmonisch-äquipotentielle Systeme.

Weitere spektakuläre Beispiele harmonisch-äquipotentieller Systeme finden sich: beim marinen Wurm *Nais*, der, wenn er durchgeschnitten wird, vom hinteren Ende her das Vorderende mitsamt Gehirn regeneriert, ferner bei gewissen Coelenteraten, die ihre Köpfe mit den Tentakeln regenerieren können, sowie bei der Seescheide *Clavellina*, die einen abgeschnittenen Kiemenkorb regenerieren und sogar aus einem abgetrennten Kiemenkorb eine neue Seescheide bilden kann (1905, S. 193-198).

Schließlich wird die Theorie der harmonisch-äquipotentiellen Systeme noch formalisiert. Driesch faßt eine beliebige Zelle oder eine Gruppe von Zellen eines solchen Systems ins Auge, also z. B. eine Furchungszelle beim Seeigel oder eine Gruppe von Zellen an der Exstirpationsstelle eines sich regenerierenden Organs. Die Theorie des harmonisch-äquipotentiellen Systems besagt nun, daß das Schicksal eines Elementes - die prospektive Bedeutung - von drei Faktoren abhängt: (1) von seiner Lage im Organismus relativ zu bestimmten Fixpunkten des Systems: damit eine bestimmte Form entstehen kann, müssen sich z. B. an der Peripherie einer embryonalen Anlage befindliche Zellen anders verhalten als die im Zentrum; (2) von der absoluten Größe des Systems zum Zeitpunkt vor den morphogenetischen Veränderungen,

weil das Element irgendwie »wissen« muß, wieviel Zellmasse noch gebildet werden muß bis das zu bildende Organ oder Gewebe komplett ist, und (3) von einem Faktor E (»Entelechie«) der die spezifischen und Arttypischen Eigenschaften der zu bildenden Struktur bestimmt. Das Ganze wird als Funktion ausgedrückt (1905, S. 205):

$$S = f(a, g, E)$$

wobei S die prospektive Bedeutung oder das Schicksal des Elementes, a die Position im Raum, g die Größe des Systems und E den Einfluß der »Entelechie« (siehe unten) darstellt.

Die Idee bei dieser Theorie ist, daß die prospektive Bedeutung S d.h. das wirkliche Schicksal der Zellen in harmonisch-äquipotentiellen Systemen von deren relativen Position im Embryo abhängt, wobei die »Positionsinformation« anscheinend durch die Entelechie »gelesen« wird.⁸

Die Frage ist nun natürlich, was dieser Faktor E ist. Erwogen wird die Möglichkeit, daß E ein Ausdruck für die Wirkung einer »Maschine« ist. Dies wäre denkbar, wenn

es nur fixierte Entwicklung gäbe, das heißt wenn jedes Elementarorgan, jedes »Systems« prospektive Potenz auf seine Elemente so verteilt wäre, daß jedes Element seine feste unvariierbare prospektive Bedeutung besäße: dann möchte sich wohl eine Maschinerie, von allerdings beinahe unendlicher Komplikation, ersinnen lassen, welche durch das Getriebe ihrer einzelnen Teile den fertigen Organismus schaffen könnte (1905, S. 206).

Mit anderen Worten: bei einem nicht-harmonisch äquipotentiellen System ist das Schicksal embryonaler Zellen möglicherweise durch einen *Mechanismus* determiniert. Und nochmals in Drieschs Terminologie: wenn die prospektive Bedeutung in einem System in Bezug auf die

Lage seiner Elemente sowie in Bezug auf die absolute Größe des Systems konstant ist, wenn also S nur eine Funktion des Faktors E ist (d.h. $S = f(E)$), dann ist es denkbar, daß sich es sich bei diesem Faktor E um die Wirkung einer *Maschine* handelt (vgl. Abschnitt 3. 1).

Wie sieht es aber beim harmonisch-äquipotentiellen System aus? In solchen Systemen existieren Teilvolumina, welche sich in einem gewissen Sinn wie das ganze System verhalten, indem sie alles leisten, was das *ganze* System hervorbringen kann: »Jeder nicht gar zu kleine Teil [eines] solchen Systems verhält sich wie das Ganze«. Wenn diese Leistung nun die einer Maschine ist, müßte »*jeder beliebig gedachte Teil* des Ganzen jene unendlich komplizierte Maschine ganz enthalten«⁹ (1905, S. 207, Hervorhbg. von mir).

Nochmals mit anderen Worten: gegeben sei ein harmonisch-äquipotentielles System mit Volumen V . Driesch nimmt versuchsweise an, daß es eine »Maschine« enthält, welche die Formbildung determiniert. Diese Maschine müßte auch in allen Teilvolumina $V_1 \dots V_n$ vorhanden sein, die die ganze Formbildung ebenfalls zu leisten imstande sind. Und nun behauptet Driesch:

Es würde in der Tat unbegrenzt viele gleich große V_n geben, von denen jedes die Formbildung vollständig leisten könnte, und von denen daher jedes die hypothetische Maschine besitzen müßte (1909, Bd, I, S. 141).

Driesch stößt also unter der Annahme, daß die Formbildung mechanisch determiniert ist, auf das absurde Postulat, daß ein harmonisch-äquipotentielles System beliebig viele »Maschinen« enthalten müßte. Deswegen »kann keine Art von Maschine irgendwelcher Form [...] die Grundlage der Differenzierung harmonisch-äquipotentieller Systeme sein« (1909, Bd. I, S. 142). Dieses Argument nennt Driesch »den ersten Beweis der Autonomie der Lebensvorgänge«.

2.2 Der zweite Beweis

Der zweite Beweis baut auf Drieschs Begriff des *komplex-äquipotentiellen Systems* auf. Solche Systeme liegen, wie auch schon die harmonisch-äquipotentiellen, gewissen morphogenetischen Prozessen zugrunde. Der Unterschied zwischen den beiden Arten von äquipotentiellen Systemen besteht darin, daß das komplexe System immer ein ganzes Individuum bilden kann, während aus harmonisch-äquipotentiellen Systemen nur Teile von Individuen, z. B. ein bestimmtes Organ, hervorgehen¹⁰. Die folgende Stelle bringt dies klar zum Ausdruck:

[D]as *Fortpflanzungsorgan* ist der allerklarste Typus eines komplex-äquipotentiellen Systems, welches überhaupt existiert. Denken Sie z. B. an den *Eierstock* unseres Seeigels, und Sie sehen ohne weiteres ein, daß Sie hier ein morphogenetisches System vor sich haben, in dem jedes Element gleichermaßen fähig ist, denselben komplexen morphogenetischen Akt zu leisten: *die Bildung des ganzen Individuums* (1909, Bd. I, S. 228. Hervorheb. im Original).

Ein weiteres Beispiel komplex-äquipotentieller Systeme bildet das Cambium (Wachstumsschicht) gewisser Gefäßpflanzen, z. B. Begonien. Eine einzelne Zelle aus dieser Schicht kann unter bestimmten Bedingungen eine ganze Pflanze hervorbringen (1905, S. 201). Auch bei Organismen, die zur sogenannten doppelseitigen Regenerationen fähig sind, liegen komplex-äquipotentielle Systeme vor, z. B. bei der Seescheide *Clavellina*, die, wenn sie in der Mitte durchgeschnitten wird, aus beiden Hälften wieder ein ganzes Tier regenerieren kann (1909, Bd. I, S. 227).

Die Zellen eines komplex-äquipotentiellen Systems besitzen folgende Eigenschaft: sie sind durch Zellteilung aus anderen Zellen hervorgegangen, die ebenfalls Teil eines solchen Systems waren. Diese Zelle ist wiederum durch eine Reihe von Teilungen entstanden, etc. *ad infinitum*. Nun wird wieder die Möglichkeit erwogen, ob die Eigenschaften des komplex-äquipotentiellen Systems durch einen physikalisch-chemischen Mechanismus bestimmt sein könnten, oder kurz: durch eine Maschine. Diese Maschine

müßte in jedem Element der komplex-äquipotentiellen Systeme ganz vorhanden sein; diese Elemente sind jeweils aus einem durch Teilung hervorgegangen; dieses eine muß die Maschine auch besessen haben. Also hat unsere Maschinerie von unendlich hoher typischer Kombination sich fortgesetzt geteilt und ist doch immer ganz geblieben (1905, S. 209).

Mit anderen Worten: da eine einzelne Zelle in einem komplex-äquipotentiellen System ein ganzes Individuum bilden kann, muß sie die ganze morphogenetische Maschine enthalten. Da die Zelle durch Teilung aus einer anderen Zelle entstanden ist, die grundsätzlich dasselbe zu leisten vermag, muß sich die ganze Maschine *vollständig* selbst kopiert haben, denn sonst würde sie ihre Fähigkeit nicht über beliebig viele Generationen aufrechterhalten können.

Driesch findet, daß

es geradezu eine Absurdität sein, anzunehmen, daß eine komplizierte, nach den drei Richtungen des Raumes in typischer Weise verschiedene Maschine viele, viele Male geteilt werden und doch immer ganz bleiben könnte: also kann keine Maschine irgendwelcher Art Ausgangspunkt der Entwicklung und Basis der Vererbung sein (1909, Bd. I, S. 230).

Dieser Folgerung liegt wohl die Annahme zugrunde, daß eine Maschine bzw. eine »physikalisch-chemische Tektonik« sich nicht selbst kopieren kann. Die Grundlage der komplex-äquipotentiellen Systeme - und damit der Vererbung! - muß also ebenfalls die Entelechie sein¹¹. Dieses ist der »zweite Beweis der Autonomie der Lebensvorgänge«, der gegenüber dem ersten »unabhängig« sein soll¹² (1905, S. 209.).

2.3 Die physiologischen Beweise

Driesch nennt drei physiologische Prozesse, die sich möglicherweise mechanistisch erklären lassen, obwohl ein solcher Mechanismus noch in keinem dieser Fälle »ersonnen« sei: (1) die Bildung von »Antitoxinen« (heute: Antikörper), (2) die »Regulationen im Hungerzustand« sowie (3) der »Stoffdurchtritt durch lebende organische Häute« oder, wie man heute sagen würde, biologische Membranen¹³ (1905, S. 212). Diese Beispiele seien aber keine »typischen Indizien« für vitalistisches Geschehen.

Als »Indizien ersten Ranges« betrachtet er eine Reihe von Phänomenen wie Streß-Adaptionen bei Pflanzen oder »Regulationen zweiter Ordnung«, bei denen regenerative Vorgänge, die eine Störung im Organismus beheben, *ihrerseits* gestört werden (1905, S. 211-216). Diese Phänomene sind aber nach Drieschs eigener Aussage möglicherweise auf die bereits besprochene Theorie der harmonisch- und komplex-äquipotentiellen Systeme reduzierbar.

Zwei unabhängige, physiologische »Beweise der Autonomie der Lebensvorgänge« konstruiert Driesch aber aus der »Analyse der Handlung« bei höheren Tieren und beim Menschen. Diese werden hier besprochen, da sie für die Systematik der Argumentation interessant sind.

Handlungen, so Driesch, seien »mitbestimmt durch die Gesamtheit aller Reize, welche früher an dem handlungsausführenden Individuum Bewegungen ausgelöst haben« (1905, S. 218), also durch die *historische Reaktionsbasis*. Diese Reaktionsbasis bestimmt laut Driesch die Handlungen aber nicht vollständig; die genaue Zuordnung einer Reaktion zu einem bestimmten Reiz muß durch das Handlungssubjekt in jeder Situation individuell vorgenommen werden.

Eine Maschine, z. B. ein Phonograph (heute: Plattenspieler), sei hingegen »durch die Spezifität ihrer Geschichte« (1905, S. 219) fest *determiniert*. Eine Maschine sei »geradezu definiert als eine Einrichtung für Festes, für Bestimmtes, sei dieses auch, in ebenfalls festem Rahmen, einer Regulation fähig«. Die Reaktionen eines handelnden Subjektes und einer Maschine sind also nach Driesch fundamental verschieden. Der Unterschied besteht in der Art und Weise, in der bestimmte Reize bestimmten Reaktionen »zugeordnet« sind. Bei einem Handlungssubjekt werden die Reaktionen *individuell* auf bestimmte Reize abgestimmt. Diese »Individualität der Zuordnung« zeigt sich etwa an folgendem Phänomen:

Eine außerordentlich kleine Variation der Zusammensetzung des Reizes kann die Zusammensetzung der Reaktion fundamental ändern, und andererseits kann diese sich beinahe oder sogar durchaus gleich bleiben, wenn die Zusammensetzung des Reizes fundamental geändert wird (1905, S. 220).

Die Reaktion auf stark unterschiedliche Reize kann ähnlich ausfallen und umgekehrt, weil das handelnde Subjekt die Reaktion aufgrund der historischen Reaktionsbasis und der gegebenen Situation im dem Moment des Eintretens der Situation *neu* bestimmt. Driesch ist der Auffassung, daß eine Maschine, welche diese Individualität der Zuordnung leisten könnte, von unendlicher Komplexität sein müßte. Deswegen kann das Reaktionsbestimmende bei Handlung-

gen keine Maschine sein, es muß durch eine Art der Entelechie bewerkstelligt werden. Die Art von Entelechie, die für Handlungen zuständig ist, wird von Driesch »Psychoid« genannt (1905, S. 221).

Ein weiterer »Beweis« wird aus der Hirnphysiologie gewonnen, und zwar aus den von Neurophysiologen durchgeführten Exstirpationsversuchen an der Großhirnrinde von Säugtieren. Obwohl dort offenbar bestimmte Bereiche bestimmte Funktionen (motorische Zentren, Zentren der optischen sowie akustischen Wahrnehmung etc.) zugeordnet sind, »kann innerhalb ziemlich weiter Grenzen eine Vertretung der einen Rindenteile durch andere statthaben«. Die *funktionelle Plastizität* der Großhirnrinde war also schon zu Drieschs Zeiten ein allgemein anerkanntes Phänomen und Driesch ließ sich die Möglichkeit nicht entgehen, daraus ein vitalistisches Argument zu konstruieren.

Driesch stellte fest, daß es sich bei der Übernahme der Funktion zerstörter Hirnteile durch noch intakte Teile »nie um eine *morphologische* Restitution entnommener Teile« handle, sondern um einen »*funktionellen* Ersatz« oder um ein »Eintreten sonst für eben diese Leistung nicht benutzter Bahnen an Stelle der fehlenden« (1905, S. 222. Hervorhbg. im Original). Diese Plastizität der Großhirnrinde ist mechanistisch nicht erklärbar, weil ihr nicht »feste maschinell-tektonische Beziehungen« zugrunde liegen können. Driesch hält also einen Mechanismus für etwas inhärent starres, unflexibles, das der funktionellen Flexibilität des Gehirns nicht gerecht werden könnte. In Analogie zu den morphogenetischen Systemen bezeichnet er die Großhirnrinde als »funktionelles harmonisch-äquipotentielles System«.

Damit habe ich die Darstellung von Drieschs auf empirischen Tatsachen beruhender Argumentation für die »Autonomie der Lebensvorgänge« abgeschlossen. Zusammenfassend halte ich fest, daß Driesch die Existenz eines vitalistischen Faktors *E* oder Entelechie postuliert, der allein sämtliche beobachteten Tatsachen erklären soll. Im nächsten Abschnitt werde ich Drieschs Begriff der Entelechie analysieren.

3. Die Theorie der Entelechie

Grundlage der Morphogenese bzw. Regeneration harmonisch-äquipotentieller sowie komplex-äquipotentieller Systeme sowie der Handlung ist in Drieschs Biologie ein »elementarer Naturfaktor«, den er als *Entelechie* bezeichnet. Er will mit dieser Wortwahl nicht direkt an Aristoteles' *εντελεχεια* anknüpfen, sondern das Wort »nur als Zeichen der Verehrung für diesen großen Genius« gebrauchen und es »mit neuem Inhalt« füllen (1909, Bd. I, S. 145). Welches ist nun dieser Inhalt? Ich werde zunächst darstellen, was sich Driesch unter der Entelechie vorstellt.

3.1 Die Entelechie ist kein Mechanismus

Dieser Punkt erübrigt sich im Grunde durch Drieschs »Beweise der Autonomie der Lebensprozesse«, die Ausdruck seiner Auffassung sind, daß keine »Maschine« den von ihm beobachteten biologischen Phänomene zugrunde liegen kann. Ich will aber hier nochmals versuchen, den Unterschied zwischen Drieschs »Entelechie« und einem Mechanismus möglichst eindeutig auf den Begriff zu bringen.

Die *Maschinenmetapher* spielt in der Argumentation eine zentrale Rolle; die hinter ihr stehende Intuition wird aber von Driesch an mehreren Stellen explizit gemacht. Zum Beispiel:

Wir werden das Wort "Maschine" in seinem allerallgemeinsten Sinne verstehen. Eine Maschine ist uns also eine typische Anordnung physikalischer und chemischer Konstituenten, durch deren Wirkung ein typischer Effekt erreicht wird. Wir legen großes Gewicht darauf, in unsere Definition der Maschine auch chemische Konstituenten einzubeziehen; wir verstehen also unter einer »Maschine« eine Anordnung von viel höherem Grade der Komplikation, als z. B. eine Dampfmaschine ist (1909, Bd. I, S. 140).

Weiter wird spezifiziert, von welcher Art die »Wirkung« einer Maschine ist, wie sie Driesch sich vorstellt: es ist eine »resultierende Wirkung vieler komplizierter elementarer Wechselwirkungen« (1909, Bd. I, S. 139). Was »resultierend« bedeutet erfahren wir an dieser Stelle nicht¹⁴, dafür gibt es an anderen Stellen entsprechende Hinweise. So spricht Driesch an einer Stelle von »Kausalität, welche auf räumliche Konstellation begründet ist« (1909, Bd. I, S. 142), und wir wollen annehmen, daß Driesch bei den »resultierenden Wirkungen« irgendwelche komplexen Wechselwirkungen in Raum und Zeit vor Augen hat. Das Kriterium der *Räumlichkeit* erscheint auch in Drieschs Begriff der »extensiven« oder »in einem *Nebeneinander* bestehende« »Mannigfaltigkeit« (1905, S. 207/208), die in einer Maschine vorhanden sein kann, und die etwas qualitativ Anderes ist als Entelechie. Letztere wird im Gegensatz dazu als »intensive Mannigfaltigkeit« bezeichnet.

Unter »elementare Wechselwirkungen« versteht Driesch die aus Physik und Chemie bzw. von der unbelebten Materie bekannten Wechselwirkungen. Dies ersehen wir etwa an folgender Stelle, an der Driesch über die extensive Mannigfaltigkeit als eine

physikalische-chemische Struktur, [...] eine Tektonik, eine Maschine—das Wort in weitestem Sinne verstanden -, also [...] eine Mannigfaltigkeit [...], welche sehr viele physikali-

sche und chemische Substanzen *und Kräfte* in typischer Ordnung umfaßt (1905, S. 206. Hervorhbg. im Original).

spricht. Fassen wir also zusammen: Driesch definiert das »Maschinelle«, das durch die Beweise als Grundlage gewisser biologischer Phänomene ausgeschlossen wird, so allgemein wie möglich als *System räumlich und zeitlich komplex angeordneter physikalisch-chemische Wechselwirkungen*.

Wie Driesch in aller Deutlichkeit sagt, ist er im Allgemeinen *nicht* der Auffassung, eine Maschine könne nicht ausreichend *komplex* sein, um die Grundlage morphogenetischer oder anderer biologischer Prozesse zu bilden. Explizit wird das in der im Abschnitt 2. 1 zitierten Stelle (1905, S. 205) gesagt, oder in der folgenden:

Man muß nun zugeben, daß eine Maschine in unserem Sinne des Wortes sehr wohl die Grundlage der Formbildung im allgemeinen sein *könnte*, *wenn* es nur normale, d. h. nur ungestörte Entwicklung *gäbe* und *wenn* die Entnahme von Teilen bei unseren Systemen zu *fragmentaler* Entwicklung führen *würde* (1909, Bd. I, S. 140. Hervorhbg. im Original).

Der Grund für Drieschs Zurückweisung des Mechanischen als Grundlage morphogenetischer Prozesse, und damit der Grund für die Einführung der Entelechie, ist also das von ihm *empirisch* festgestellte Verhalten der harmonisch- und komplex äquipotentiellen Systeme. Allerdings würden die Beweise natürlich hinfällig, wenn man einer Maschine die Fähigkeit zu »harmonisch-äquipotentiellen Verhalten« resp. »komplex äquipotentielltem Verhalten« zugestehen würde. Ich komme auf die Logik von Drieschs Argumenten im 4. Abschnitt zurück.

3.2 Die Entelechie ist keine chemische Reaktion

Wenn Driesch sagt, daß die Entelechie nicht eine »Resultante« elementarer Wechselwirkungen ist, meint er damit auch chemische Wechselwirkungen. Zusätzlich schließt er eine »chemische Theorie der Formbildung« explizit aus. Unter einer solchen Theorie versteht er die Vorstellung, daß

eine chemische Substanz oder Mischung von sehr komplizierter Zusammensetzung die eigentliche Basis von Entwicklung und Vererbung sei, und daß durch die Zersetzung oder Entmischung derselben die Formbildung geleitet werde« (1909, Bd. I, S. 134).

Es ist etwas schwierig zu rekonstruieren, was hier mit »Zersetzung oder Entmischung« gemeint sein soll. Gemäß seinen etwas unklaren Ausführungen an dieser Stelle in der »Philosophie des Organischen« stellt er sich unter einer solchen Theorie etwa folgendes vor: am Anfang der Morphogenese stehe eine chemische Substanz, die eine Zersetzungsreaktion durchläuft und z. B. in drei Produkte zerfällt. Diese drei Produkte ordnen sich irgendwie im Protoplasma des Keimes in inhomogener Weise an, indem die Pole des Keimes diese Stoffe mit unterschiedlicher Stärke »anziehen«. Der daraus resultierende -in heutiger Terminologie ausgedrückt - *morphogenetische Gradient* wäre dann der Ausgangspunkt für die weiteren formbildenden Prozesse.

Driesch hat folgende Schwierigkeiten mit dieser Vorstellung: da bestimmte harmonisch-äquipotentielle Systeme die regenerative Formbildung *wiederholt* leisten können, muß die »hypothetische Verbindung immer wieder da [sein], um *neu* zerlegt zu werden« (1909, S. 135. Hervorhbg. im Original). Selbst wenn »chemische« Prozesse zu solch komplexem Verhalten in der Lage wären, bleibt das Problem, daß die Vielfalt der chemischen Konstituenten

organischen Materials der makroskopischen morphologischen Vielfalt nicht gerecht werden kann. Morphologisch stark *verschiedene* biologischen Materialien können chemisch sehr *ähnlich* zusammengesetzt sein. Man müßte allein deswegen zusätzliche »nichtchemische« Faktoren postulieren und hätte dann die Theorie einer chemischen Formbildung bereits zugunsten einer mechanischen verlassen, deren Unmöglichkeit Driesch demonstriert zu haben glaubte.

Mit einem ähnlichen Argument wird die Annahme einer »lebenden Substanz« oder eines »Lebensstoffs« als Träger der Entelechie verworfen. Chemische Substanzen sind nach Drieschs Auffassung *homogen*, während die Entelechie *mannigfaltig* ist (1909, Bd. II, S. 254). Dies schließt aber nicht aus, daß chemische Verbindungen als *notwendige aber nicht hinreichende Bedingungen* an morphogenetischen oder anderen Lebensprozessen beteiligt sind. Notwendige *und* hinreichende Bedingungen werden aber erst durch die Wirkung der Entelechie (siehe Abschnitt 3. 5) auf die stofflichen Konstituenten eines Organismus geschaffen.

3.3 Die Entelechie ist nicht materiell

Ausgangspunkt zu dieser Aussage sind die beiden »Beweise der Autonomie der Formbildung«, die implizieren, daß der Entelechie »keine Art von Kausalität, welche auf räumlicher Konstellation begründet ist« (1909, S. 142), zugrunde liegen kann. Driesch bekundet Zurückhaltung beim Gebrauch des Materiebegriffs (1905, S. 239, Fußn. 1), trotzdem läßt er sich zu folgender Aussage verleiten:

Mit dem eigentlich »Materiellen«, mit dem eigentlichen Begriff des »Raumerfüllens« und »Widerstandsleistens« hat, selbst wenn dasselbe dynamisch gefaßt wird, Entelechie gar nichts zu tun (1905, S. 240).

Hier scheint mehr der klassische, metaphysische Begriff der Materie (*res extensa*) zu spielen, als eine moderne atomistische Theorie der Materie¹⁵. Entelechie ist bei Driesch also etwas qualitativ anderes als Materie, weil sie im Gegensatz zu dieser nicht *räumlicher* Natur ist. Im Übrigen ist die Entelechie im Gegensatz zur Materie *unteilbar*, was an z. B. den harmonisch- und komplex-äquipotentiellen Systemen, die die Eigenschaft haben, immer ganz zu bleiben (1909, Bd. I, S. 145), zutage tritt¹⁶. Die Entelechie ist auch nicht lokalisiert: sie ist nicht »im Raum«, sondern »wirkt in den Raum hinein« (1909, Bd. II, S. 261).

Wenn also die Entelechie nicht materiell ist, ergibt sich folgende Schwierigkeit: Driesch behauptet, daß Entelechie die »wahre Grundlage der Vererbung« ist (1909, Bd. I, S. 230). Gleichzeitig anerkennt er die durch de Vries, Correns und Tschermak um die Jahrhundertwende wiederentdeckten *Mendelschen Gesetze*, und zwar nicht nur als phänomenologische Gesetze, sondern mit einem ontologisch-deskriptiven Inhalt. Die Mendelschen Kreuzungsexperimente beweisen für Driesch,

daß bei der Vererbung eine Übergabe von Etwas von Generation zu Generation statthat, eine Übergabe von einzelnen und getrennten, sich auf die Formcharaktere des Erwachsenen *materiellen* Dinge (1909, Bd. I, S. 235, Hervorhbg. von mir).

Diese »Dinge« nennt Driesch mit dem britischen Genetiker William Bateson »Allelomorphe«¹⁷. Warum Driesch glaubt, die Mendelschen Gesetze würden die *materielle* Natur

oder »Dinghaftigkeit« der Allelomorphe zeigen ist unklar, denn er scheint damit einer mechanistischen Vererbungslehre das Wort zu reden. So fragt er schließlich:

Liegt nicht ein ernstlicher Widerspruch vor, wenn wir auf der einen Seite behaupten, daß Entelechie die Basis von allem, was zur Vererbung und von ihr hinwegführt, sei, und wenn wir hier auf der anderen Seite materielle Bedingungen der Vererbung annehmen?
(1909, Bd. I, S. 231)

Die Frage ist natürlich rein rhetorisch, denn gemäß dem zweiten Beweis kann nichts Räumliches, und damit nichts Materielles, die Grundlage der Vererbung sein. Diese Behauptung wird jetzt präzisiert, indem »einerseits stoffliche Kontinuität, andererseits Entelechie« als »Basis der Vererbung« bezeichnet wird. Mit anderen Worten: Entelechie und materielle Dinge sind beides *notwendige* aber *nicht hinreichende* Bedingungen für die Reproduktion eines Organismus. Entelechie und Stoff stehen dabei in einer bestimmten kausalen Beziehung zueinander: die Entelechie *ordnet* die bei der Vererbung beteiligten materiellen Elemente (1909, Bd. I, S. 232). Damit gewinnen wir eine neue Einsicht über das Wesen der Entelechie: offensichtlich gibt es eine *kausale Wirkung* von der nicht-materiellen Entelechie auf die materiellen Komponenten eines Organismus. Die Entelechie zwingt den materiellen Bestandteilen des Organismus ihre Ordnung auf. Wie muß man sich diese Wechselwirkung vorstellen? Ist die Entelechie gar in der Lage, physikalische Gesetze zu überwinden?

3.4 Die Entelechie verletzt die Hauptsätze der Thermodynamik nicht

Als Kandidaten von durch die Wirkung der Entelechie verletzten physikalischen Gesetzen kommen die beiden Hauptsätze der Thermodynamik in Frage. Ich bespreche zunächst den ersten Hauptsatz.

Driesch versteht den ersten Hauptsatz als eine quantitative Formulierung des Kausalprinzips »Keine Veränderung ohne Ursache« und »Gleiche Ursachen, gleiche Wirkungen« (1905, S. 233/234). Dieses Prinzip gilt laut Driesch »*a priori*«, d. h. es wird »nicht durch Erfahrung bewiesen« (1905, S. 232). Durch Einführung der Energie als »Maß für Kausalität« kann das Kausalprinzip quantitativ ausgedrückt werden; das Ergebnis ist der Energieerhaltungssatz. Mit diesem Verständnis des ersten Hauptsatzes der Thermodynamik ist eine Verletzung dieses Gesetzes eine *faktische Unmöglichkeit*. Driesch zieht daraus folgende Konsequenzen: die Entelechie muß mit dem Energiesatz »harmonieren« (1905, S. 234).

Wie steht es mit dem zweiten Hauptsatz? Drieschs Wiedergabe dieses thermodynamischen Gesetzes ist etwas kryptisch: »wo alles identisch ist, kann es, wenn nicht von außen her, kein Geschehen geben« und »das am meisten Verschiedene verändert sich zuerst« (1905, S. 236). Mit »Verschiedenheit« könnte eine Differenz der *Entropie* gemeint sein; dann ist aber das »sich *zuerst* verändern« nicht in einem kinetischen Sinn zu verstehen. Auch andere Stellen erinnern kaum an die gängigen Formulierungen des zweiten Hauptsatzes (z. B. 1909, Bd. II, S. 191). Wie auch immer Driesch den zweiten Hauptsatz versteht, er ist der Auffassung, daß Lebensprozesse diesen nicht verletzen müssen:

besser, man [...] begnügt sich mit der Einsicht, daß ja tatsächlich, wegen des steten Kraft- und Stoffaustausches zwischen Organismus und normaler Umgebung, die für ein Geschehen an ihm notwendigen »Potentialdifferenzen« stets zur Verfügung sind (1905, S. 236/237).

Mit anderen Worten: Lebewesen sind offene Systeme und befinden sich nicht in einem Zustand des thermodynamischen Gleichgewichts. Deswegen ist die für die biologischen Vorgänge notwendige thermodynamische Triebkraft im Organismus *und seiner Umwelt* stets vorhanden. Driesch scheint in dieser Hinsicht also mit der modernen Physik einig zu sein (vgl. Schrödinger 1944, Kap. 6).

3.5 Die Wirkung der Entelechie

Wenn die Entelechie also, wie Driesch behauptet, (1) selbst nicht materiell ist, aber kausal auf Materie wirkt, diese Wirkung (2) keine aus physikalisch-chemischen Wechselwirkungen resultierende ist und (3) die Entelechie die Gesetze der Thermodynamik nicht verletzt, so muß erneut gefragt werden, wie Driesch sich das Verhältnis zwischen der Materie, die physikalischen Gesetzen unterliegt, und der Entelechie vorstellt. Bisher wurde die Entelechie vorwiegend negativ definiert: es wurden ihr bestimmte Eigenschaften *abgesprochen*. Versuchen wir herauszufinden, welche Eigenschaft Driesch der Entelechie *zuspricht*. Hierzu zunächst folgendes Zitat:

Wo Entelechie sich am Naturgeschehen beteiligt, da ist also die Gesetzmäßigkeit des Anorganischen gestört oder *überwunden*: aber nicht in dem Sinne, daß damit die Sätze vom festen Arbeitswert von der Notwendigkeit von Verschiedenheiten, also die beiden Energiesätze, aufgehoben wären (1905, S. 238. Hervorhbg. von mir).

»Die beiden Energiesätze« sind der erste und zweite Hauptsatz der Thermodynamik, die durch die Entelechie befolgt werden. Interessant ist nun aber dieses »Überwinden«¹⁸ der »Gesetzmäßigkeit des Anorganischen«. Wie stellt sich Driesch dieses Überwinden vor? In irgendeiner Weise muß die Entelechie kausal wirksam werden. Driesch macht den folgenden Vorschlag:

[D]ie Leistung von Entelechie [besteht] darin, bestehende Potentialdifferenzen, d. h. mögliche anorganische Wechselwirkungen, in regulatorischer Weise aufzuheben und freizugeben (1909, Bd. II, S. 192).

Mit anderen Worten: die Entelechie kontrolliert physikalische Ereignisse, die ansonsten *ungeordnet* verlaufen würden. An anderen Stellen spricht Driesch von »Kompensation« (1905, S. 237) sowie von »Suspendierung« von »Potentialdifferenzen« (1909, Bd. II, S. 191). Zur Explikation dieses Begriffs wird die folgende, äußerst aufschlußreiche *Analogie* angeführt:

Gerade so wie Elektrizitätspotentiale etwa Gravitationspotentiale “kompensieren” können, d. h. wie elektrisierte Körperchen sich der Schwerkraftwirkung entgegen zu bewegen vermögen, [...] so tritt Entelechie als elementarer Naturfaktor in das Kompensationsgetriebe der anorganischen Agentien ein (1905, S. 237).

Das Beispiel mit den sich entgegengewirkenden Kräften *unterschiedlicher Art* ist erhellend, weil es das Verhältnis zwischen der Entelechie und den physikalischen Wechselwirkungen klärt: offensichtlich darf die durch die Entelechie ausgeübte Wirkung als *elementare Wechselwirkung* aufgefaßt werden. Wie eine Gravitationskraft einer elektromagnetischen Kraft entgegenwirken kann, kann die Entelechie den übrigen physikalischen Kräften entgegenwirken¹⁹. Driesch führt also eine (oder mehrere) neue elementare Wechselwirkung ein, die ausschließlich durch die Entelechie ausgeübt wird, und die mit der Materie und den für sie typischen Kräften kausal in Beziehung tritt.

Damit schließe ich die Darstellung von Drieschs Vitalismus ab. Es folgt nun eine formale Rekonstruktion von Drieschs »Beweisen«, die dann als Grundlage für die Kritik seiner Argumentation dient.

4. Formale Rekonstruktion von Drieschs »Beweisen«

4. 1 Erster Beweis

Wenn man von Aussagen ausgeht, in denen Driesch behauptet, daß in einem harmonisch-äquipotentiellen System »jedes beliebige überhaupt vorstellbare Volumen beliebiger Form« die hypothetische morphogenetische Maschine »vollständig besitzen« müßte (z.B. 1909, Bd. I, S. 141), drängt sich die folgende formale Rekonstruktion des Ersten Beweises auf:

Prämisse 1: Keine Maschine ist in allen ihren Teilen ganz enthalten.

Prämisse 2: Harmonisch-äquipotentielle Systeme sind in allen ihren Teilen ganz enthalten.

Konklusion: Harmonisch-äquipotentielle Systeme sind keine Maschinen.

Dieser Schluß ist zwar formal gültig, die beiden Prämissen sind aber logisch problematisch: Die erste Prämisse könnte als *Tautologie* betrachtet werden (d.h. als Konsequenz der Teil-Ganzes Relation) und die zweite als *logisch falsch* (d.h. unverträglich mit dieser Relation). Man sollte aber ein Argument nicht allein aufgrund einer ungeschickten Formulierung verwerfen. Um diese Probleme zu vermeiden, schlage ich die folgende Formulierung des ersten Beweises vor:

Prämisse 1: Keine Maschine kann auf beliebig viele Arten fragmentiert werden, ohne daß ihre Funktion beeinträchtigt wird.

Prämisse 2: Harmonisch-äquipotentielle Systeme können auf beliebig viele Arten fragmentiert werden, ohne daß ihre Funktion beeinträchtigt wird.

Konklusion: Harmonisch-äquipotentiellen Systeme sind keine Maschinen

Dieser Schluß ist formal gültig, und bei den beiden Prämissen handelt es sich zweifellos um nicht-tautologische Aussagen. Man muß sich jetzt nur noch überlegen, ob man den beiden Prämissen zustimmen kann. Betrachten wir sie einzeln:

(1) Die erste Prämisse behauptet die faktische (im Gegensatz zu einer logischen) Unmöglichkeit einer Maschine, die die Eigenschaft besitzt, daß sie auf beliebig viele Arten fragmentiert werden kann. Wie wird diese Behauptung begründet? Driesch gibt eigentlich keine direkte Begründung; er stellt lediglich fest, daß eine solche Maschine eine »Absurdität« sei (1909, Bd. I, S. 142). Als indirekte Begründung könnte aber diejenige Stelle gelesen werden, an der Driesch sagt, es könne »keine Art von Kausalität, welche auf räumlicher Konstellation begründet ist, die Grundlage der Differenzierung harmonisch äquipotentieller Systeme sein« (ebenda; Hervorhbg. von mir). Damit impliziert Driesch, daß die *räumliche Konstellation* der kausalen Wechselwirkungen, die eine notwendige Eigenschaft einer Maschine ist, verhindert, daß die Maschine die fragliche Eigenschaft haben kann. Gleichzeitig wird damit impliziert, daß harmonisch äquipotentielle Systeme *nicht* auf einer Konstellation räumlicher Kausalität beruhen, und daß sie *deswegen* auf beliebig viele Arten fragmentiert werden können, ohne daß ihre Funktion dadurch beeinträchtigt wird.

(2) Die zweite Prämisse wird *experimentell* begründet; sie drückt den von Driesch beobachteten Sachverhalt aus, daß gewisse morphogenetische Prozesse durch Fragmentierung oder Exstirpation embryonaler Gewebe nicht oder nicht wesentlich beeinträchtigt werden. Die Frage ist, ob die Behauptung begründet ist, ein harmonisch äquipotentielles System lasse sich *auf beliebig viele Arten* fragmentieren. Driesch gibt zunächst gewisse Einschränkungen an. Bei den Versuchen mit Seeigel Blastulae, z. B., dürfen die Fragmente »nicht gar zu klein« sein, damit sich eine ganze Larve aus ihnen bilden kann (1905, S. 190). Trotz dieser Einschränkung geht Driesch aber zur Aussage über, daß »jedes überhaupt vorstellbare Volumen«

die Formbildung vollständig zu leisten imstande sei (1909, Bd. I, S. 141). Dahinter steht die Intuition, daß jedes Volumen, das die Formbildung zu leisten imstande ist, um einen *infinitesimalen Betrag* verschoben werden kann, so daß sich eine unendliche Zahl von äquipotentiel- len Teilvolumina ergibt (ebenda). Deswegen scheint mir die Wiedergabe von Drieschs Be- hauptung durch die angegebene zweite Prämisse korrekt.

Ob diese Behauptung *wahr* ist, ist wiederum eine andere Frage. Driesch klammert den *zellulären Aufbau* des Embryos - der ihm zweifellos bekannt sein mußte - im ersten Beweis vollständig aus. Damit lassen sich die von Driesch beobachteten Phänomene damit erklären, daß jede somatische Zelle über die vollständige Erbinformation verfügt und daß manche Zell- differenzierungsvorgänge *reversibel* sind. Die Fragmentierung des Embryos muß also theoretisch mindestens eine nicht terminal differenzierte Zelle intakt lassen, damit das Frag- ment die durch das ganze »harmonisch-äquipotentielle System« geleistete Formbildung zu leisten vermag. Die Zahl der Möglichkeiten, eine Fragmentierung oder Exstirpation vorzu- nehmen ist also nicht beliebig groß, sondern sie ist durch die Anzahl der vorhandenen intak- ten, nicht terminal differenzierten Zellen begrenzt. Die Idee eines infinitesimalen Verschie- bens der »Elementarteile« ist mit dem zellulären Aufbau des Embryos unverträglich.

Beim ersten Beweis verwendet Driesch also eine Prämisse, die durch eine unzulässige Verallgemeinerung der beobachteten Phänomene in den mikroskopischen Bereich entstanden ist, und die vermutlich falsch ist. Das Problem läßt sich wie folgt beheben:

Prämisse 1: Keine Maschine läßt sich fragmentieren, ohne daß ihre Funktion beeinträch- tigt wird.

Prämisse 2: Harmonisch-äquipotentielle Systeme lassen sich fragmentieren, ohne daß ihre Funktion beeinträchtigt wird.

Konklusion: Harmonisch-äquipotentielle Systeme sind keine Maschinen.

Jetzt ist die zweite Prämisse auch empirisch unproblematisch. Wie es sich in dieser formalen Rekonstruktion mit der *ersten* Prämisse verhält, bespreche ich im letzten Abschnitt.

4.2 Zweiter Beweis

Ich formuliere Drieschs Behauptung, eine Maschine könne sich nicht »fortgesetzt teilen und doch immer ganz bleiben« (Abschnitt 2.2), leicht um:

Prämisse 1: Keine Maschine kann sich selbst kopieren.

Prämisse 2: Komplex-äquipotentielle Systeme kopieren sich selbst.

Konklusion: Komplex-äquipotentiellen Systeme sind keine Maschinen

Offensichtlich ist der Schluß formal gültig, und der empirische Status der Prämissen ist evident. Die Frage ist hier, ob die erste Prämisse begründet ist. Ich verschiebe diese Frage auf den 5. Abschnitt.

4.3 Die physiologischen Beweise

Ich formuliere Drieschs handlungsphysiologisches Prinzip der »Individualität der Zuordnung« leicht um:

Prämisse 1: Keine Maschine reagiert in allen Situationen zweckmäßig.

Prämisse 2: Psychoide (Handlungsentelechien) reagieren in allen Situationen zweckmäßig.

Konklusion: Also sind die Psychoide keine Maschinen

Formal ist dieser Schluß so zweifellos gültig. Zunächst stellt sich nun wiederum die Frage, ob die Prämissen einen empirischen Gehalt besitzen. Der in Abschnitt 2. 3 bereits zitierte Satz, Maschinen seien »geradezu definiert als Einrichtungen für Festes, Bestimmtes« kann so gelesen werden, daß Driesch eine in dem von ihm angegebenen Sinn »handelnde Maschine« als *begriffliche* Unmöglichkeit betrachtet. Dann wird allerdings die Unmöglichkeit von mechanistischen handlungsphysiologischen Erklärungen zu einem rein definatorischen Problem. Dies dürfte kaum Drieschs Intuition gewesen sein.

Die Unmöglichkeit einer Maschine, die in allen möglichen Situationen zweckmäßig handelt ist wohl eher in einem *faktischen* Sinn gemeint, und diesen Punkt wird man Driesch auch ohne weiteres schenken. Auch sogenannte »intelligente« Maschinen, wie etwa »smart bombs« reagieren nicht zweckmäßig in Situationen, für die der Erbauer sie nicht vorgesehen hat; z. B. wenn eine »smart bomb« als Kaffeemaschine dienen müßte.

Welches ist der Status der zweiten Prämisse? Wie sieht es mit der »Individualität der Zuordnung« bei Handlungen aus? Die Behauptung ist die, daß handelnde Subjekte in einer unendlichen Anzahl von z.T. nur geringfügig verschiedenen Situationen, zweckmäßig reagieren,

indem das Subjekt mit Hilfe der Reaktionsbasis, aber nicht allein aufgrund dieser, einem gegebenen Satz von Reizen eine Antwort individuell zuordnet. Hier ist die Frage natürlich, ob diese Behauptung empirisch wahr ist. Auch wenn man von Situationen absieht, in denen Handlungen aufhören zweck- oder unzweckmäßig sein zu können (z. B. im freien Fall aus 10'000 m Höhe ohne Fallschirm), so fragt sich, ob die Zuordnung von Handlungen zu gegebenen Situationen wirklich »individuell« ist, oder ob es nicht einfach endlich viele in irgend einer Weise vorprogrammierte Handlungsmöglichkeiten gibt. Für eine eingehende Diskussion dieser Frage ist hier nicht der richtige Ort, handelt es sich doch um ein schwieriges handlungstheoretisches Problem. Driesch läßt es dabei bewenden, daß es keine Maschine geben kann, die in dem von ihm angegebenen Sinne »handelt«. Diese Intuition wird durch die angegebene Rekonstruktion als formal gültiger Schluß korrekt wiedergegeben.

Es verbleibt noch der hirnhysiologische Beweis. Wie wir in Abschnitt 2. 3 gesehen haben, beruht dieser auf dem Konzept der *funktionellen Plastizität* der Gehirne von Säugetieren, also deren Fähigkeit, durch Beschädigung bestimmter Regionen ausgefallene Funktionen zu ersetzen, indem ein noch intakter Teil die Funktion übernimmt. Das Argument läßt sich wie folgt formal darstellen:

Prämisse 1: Keine Maschine besitzt funktionelle Plastizität.

Prämisse 2: Das Säugetiergehirn besitzt funktionelle Plastizität.

Konklusion: Also ist das Säugetiergehirn keine Maschine.

Auch dieser Schluß ist formal gültig. Der kritische Punkt in dieser Folgerung dürfte die erste Prämisse sein. Ihr empirischer Status scheint eindeutig: Driesch spricht Maschinen die Eigenschaft zu, daß zwischen ihren Teilen »feste tektonische Beziehungen« bestehen, die eine funktionelle Plastizität unmöglich machen.

Soweit zur formalen Rekonstruktion von Drieschs Argumenten für den Vitalismus. Die Argumente lassen sich im Wesentlichen alle als formal gültige Deduktionen darstellen. Im letzten Abschnitt werden vor allem die als erste Prämissen auftauchenden Unmöglichkeitshauptungen für Maschinen kritisiert.

5. Kritik von Drieschs Argumenten

Wie wir im 4. Abschnitt gesehen haben, liegt allen Argumenten für den Vitalismus dieselbe Art von Behauptung zugrunde, nämlich, daß es eine Maschine mit bestimmten Eigenschaften nicht geben kann. Diese Eigenschaften werden dann den gewissen biologischen Phänomenen zugrunde liegenden Entitäten zugesprochen. Daraus folgert Driesch in allen Fällen, daß diese Entitäten keine Maschinen sein können, wobei er unter einer Maschine eine beliebige komplexe Anordnung von physikalisch-chemischen Wechselwirkungen versteht. In allen Fällen wird ein elementarer, nicht weiter analysierbarer Naturfaktor mit dem Namen Entelechie postuliert, der die Ursache für die beobachteten Phänomene darstellen soll. Ich fasse die Eigenschaften zusammen, die Maschinen laut Driesch nicht haben können²⁰:

- (P1) Keine Maschine läßt sich (beliebig) fragmentieren, ohne daß ihre Funktion beeinträchtigt wird..
- (P2) Keine Maschine kann sich selbst kopieren.
- (P3) Keine Maschine kann in allen Situationen zweckmäßig reagieren.
- (P4) Keine Maschine kann funktionelle Plastizität besitzen.

Die Frage ist nun, wie die in diesen vier Unmöglichkeitsbehauptungen enthaltene Modalität interpretiert werden soll. Theoretisch gibt es folgende drei Möglichkeiten:

(1) *Logische (begriffliche) Unmöglichkeit.* Dies bedeutet, daß ein Gegenstand, der einen oder mehrere der Eigenschaften $P_1 \dots P_4$ besitzt, nicht mehr unter den Maschinenbegriff (in Drieschs Definition) fällt.

(2) *Technische Unmöglichkeit.* Es könnte aufgrund technischer Schwierigkeiten unmöglich sein, Maschinen mit den Eigenschaften $P_1 \dots P_4$ zu konstruieren bzw. eine in der Natur vorgefundene Maschine physikalisch-chemisch zu analysieren.

(3) *Faktische Unmöglichkeit.* Es könnte sein, daß um die Eigenschaften $P_1 \dots P_4$ zu haben, die Maschinen gegen Naturgesetze verstoßen müßten.

Welche dieser drei Bedeutungen kommt Drieschs Intuition am nächsten? Betrachten wir sie der Reihe nach:

Ad (1) Trotz Bemerkungen wie »Der Maschinenbegriff wird hier in wahren Wortsinne 'unsinnig'« (1905, S. 207) oder »Maschinen sind geradezu definiert als Einrichtungen für Festes, Bestimmtes« (Abschnitt 2. 3), entspricht (1) nicht Drieschs Intuition. Wenn das der Fall wäre, müßte sich Driesch damit zufriedengeben, auf die Maschinenmetapher zu verzichten. Es gäbe dann keinen Grund, die Existenz einer Entelechie zu postulieren.

Ad (2) Auch die technische Unmöglichkeit ist nicht das Gemeinte, obwohl Driesch an manchen Stellen die Formulierung verwendet, eine Maschine mit solchen Eigenschaften lasse sich nicht »ersinnen« (1905, S. 214 oder S. 221). Diese Bemerkungen sind aber als heuristische Ergänzungen zur Maschinenmetapher zu verstehen, die jeweils mit der entsprechenden kausalen Terminologie ergänzt werden.

Ad (3) Die *faktische Unmöglichkeitsbehauptung* kommt Drieschs Intuition am nächsten. Dafür spricht vor allem die Tatsache, daß Driesch die Möglichkeit morphogenetischer oder

handlungsbestimmender Maschinen nicht *a priori* ausschließt, sondern aufgrund gewisser empirischer Beobachtungen.

Driesch betont wiederholt, daß die betrachteten biologischen Phänomene mechanistisch erklärt werden *könnten*, wenn sie »nichts anderes leisten würde, als ein Phonograph leistet« (1909, Bd. II, S. 96). Die Behauptung beruht also auf einem faktischen Vergleich zwischen den typischen Eigenschaften einer Maschine aus der damaligen Technologie und derer der zur Diskussion stehenden biologischen Vorgänge.

Die Maschinenmetapher hatte Driesch verführt. Er dachte aufgrund der Starrheit der ihm bekannten Maschinen, daß alle physikalisch-chemischen Systeme diese Eigenschaft haben müssen. Dies wird deutlich, wenn er von den für Maschinen typischen »festen tektonischen Beziehungen« redet, die Maschinen von belebten Systemen unterscheiden soll (siehe Abschn. 2. 3). Wenn er seinen Phonographen zersägen würde, dann erhielte Driesch als Ergebnis einen Schrotthaufen. Zerschneidet er eine Blastula des Seeigels, erhält er lauter kleine Pluteus-Larven, die munter umherschwimmen. Drieschs Reaktion, aus dieser Spannung auf einen fundamentalen Unterschied zwischen mechanischem und biologischem Geschehen zu schließen, ist verständlich.

Trotzdem läßt sich Drieschs Behauptung nicht begründen. Für die Unmöglichkeit von Maschinen mit den Eigenschaften $P_1 \dots P_4$ müßte mindestens je ein weiteres Argument angegeben werden. Genau an diesem Punkt flüchtet sich Driesch aber in metaphysische Behauptungen von der folgenden Art:

Ein System, welches einen gewissen Zustand von Verschiedenheit hinsichtlich seiner aktuellen und potentiellen Konstituenten besitzt, kann nicht durch seine eigenen Faktoren in einen heterogenen Zustand übergeführt werden (1909, Bd. II, S. 197).

Dies verlangt angeblich das »Prinzip des zureichenden Grundes« - also ein metaphysisches Prinzip. Mit der Konstruktion des Entelechiebegriffs als »intensive Mannigfaltigkeit« soll dem Prinzip vom zureichenden Grund Genüge getan werden. Dieses Prinzip ist allerdings nicht empirisch begründbar. Es gibt keinen physikalischen Grund, warum eine »Maschine« nicht durch ihre eigenen Bestandteile, z. B. durch den Besitz eines *genetischen Programms*, morphogenetische Prozesse vollziehen kann. Damit wird Drieschs äußerst interessanter Versuch, den Vitalismus durch experimentelle Tatsachen zu belegen, letztlich doch in ein empirisch unbegründetes metaphysisches Postulat übergeführt.

Anmerkungen:

- ¹ »Starke positive Argumente« im Sinne Sobers sind z.B. Descartes' Argumente für den Leib/Seele-Dualismus (*ebd.*).
- ² Mit Unterstützung des heutigen Wissens über die molekularen Grundlagen von Entwicklungsvorgängen hätte man natürlich ein leichtes Spiel mit Driesch. Darauf soll hier aber aus systematischen Gründen so weit wie möglich verzichtet werden.
- ³ Vgl. Hoyningen-Huene (1992a) Systematik antireduktionistischer Argumente.
- ⁴ Drieschs Vitalismus besaß bis in die Dreißigerjahre einige Anhänger (Mirakel 1933; Wermel 1934). Im Allgemeinen wurde Drieschs Position aber von seinen Zeitgenossen als unhaltbar betrachtet (z. B. Bertalanffy 1930; Needham 1936, S. 68ff.). Eine kurze Übersicht über die Rezeption von Drieschs vitalistischer Theorie gibt Miller (1991), S. 29-39.
- ⁵ Driesch ließ sich 1900 in Heidelberg nieder, wo er in Philosophie habilitierte. 1911 erfolgte die Ernennung zum außerordentlichen Professor. 1920 erging ein Ruf nach Köln und schließlich 1921 an den bedeutenden Lehrstuhl für Philosophie zu Leipzig (Nachfolger Drieschs in Leipzig waren Gehlen, Gadamer und Bloch). Drieschs Einfluß auf die deutsche Philosophie ist nicht zu unterschätzen; z. B. promovierte Arnold Gehlen bei ihm und er war bei vielen Gelehrtenkollegen außerordentlich hoch geachtet (siehe den Begründungstext des Kölner Berufungskollegiums; wiedergegeben in Miller 1991, S. 7). Miller mißt Drieschs Philosophie außerdem eine systematische Bedeutung für den Konstruktivismus Dingerscher Prägung bei.
- ⁶ Gemeint ist damit natürlich nicht das »Schicksal« der betrachteten Zellen selbst, sondern Lage und Typ der aus ihnen durch Zellteilung und -wanderung hervorgegangenen Tochterzellen im Gesamtorganismus. Drieschs Unterscheidung zwischen prospektiver Bedeutung und Potenz hat sich in der Entwicklungsbiologie bis heute gehalten, wobei sich hierfür die engl. Termini *fate* resp. *potency* eingebürgert haben. Man beachte, daß die prospektive Bedeutung und die prospektive Potenz aller Zellen identisch sind, wenn sich der Keim vollständig als *Mosaik* verhält, wie Roux bei seinen Froschkeimen demonstriert zu haben glaubte.
- ⁷ Genaugenommen besagt der Harmoniebegriff dreierlei: (1) *Kausalharmonie*. In einem harmonisch abgestimmten System sind einzelne Teile für Reize anderer Teile empfänglich. (2) *Kompositionsharmonie*. Unabhängig sich entwickelnde Teile eines Organismus passen zueinander. (3) *Funktionalharmonie*. Mehrere Teile können bei der Ausübung einer Funktion zusammenarbeiten. Harmonie ist eine Seite der *Zweckmäßigkeit* eines Organismus (1905, S. 175f.). Das Vorliegen von Zweckmäßigkeit ist für Driesch aber *kein* hinreichender Grund für den Vitalismus. Die Zweckmäßigkeit könnte eine »statische Teleologie« sein, die auf physikalisch-chemischer Kausalität beruht. Die Frage ist, ob es eine »besondere Art des Zweckmäßigen im Bereich des organi-

-
- schen Lebens« gibt, also eine »dynamische« Teleologie« (1905, S. 4f.).
- ⁸ Damit drängt sich eine Analogie auf zwischen der Driesch'schen Entelechie und dem heutigen Begriff des genetischen Programms einer Zelle, welches auf bestimmte biochemische Signale aus der unmittelbaren Umgebung der Zelle reagiert.
- ⁹ Man beachte, daß Driesch hier induktiv von *einigen* Teilen des harmonisch-äquipotentiellen Systems, die die ganze Formbildung zu leisten vermögen, auf *alle* Teile dieses Systems schließt. Ich komme darauf im Abschnitt 4. 1 zurück.
- ¹⁰ Demnach müßte man die Zellen des Zwei- und Vierzellstadium des Seeigels auch als komplex-äquipotentielle Systeme betrachten. Die beiden Arten von Äquipotentialität können sich angeblich »durchdringen« (1905, S. 201).
- ¹¹ Driesch schlägt hier also eine *vitalistische Theorie der Vererbung* vor. Er zieht aus dieser Theorie und den von ihm anerkannten Mendelschen Gesetzen interessante Konsequenzen für das Wesen der Entelechie. Siehe hierzu Abschnitt 3. 3.
- ¹² Tatsächlich sind die beiden Beweise verschieden, denn sie bedienen sich nicht derselben Prämissen. Der Erste Beweis setzt die Unmöglichkeit einer Maschine, die in ihren Teilen funktional enthalten ist, voraus, während der Zweite Beweis von der Unmöglichkeit einer sich selbst ohne Verluste kopierenden Maschine ausgeht. Vgl. 4. Abschnitt.
- ¹³ Driesch beweist hier einen guten Riecher, denn die Bildung von Antikörpern durch das Immunsystem, die metabolische Homöostase und Transportphänomene an biologischen Membranen dürften heute Paradigmen molekular erklärbarer Lebensprozesse darstellen.
- ¹⁴ Der Begriff der Resultanten spielt eine gewisse Rolle in der Emergenzdiskussion, in der manche Autoren »resultante« und »emergente« Eigenschaften gegenübergestellt haben (z.B. Morgan 1923, S. 2).
- ¹⁵ Der moderne Atomismus war zu dieser Zeit noch nicht allgemein anerkannt (Nye 1972) und Driesch wäre natürlich der letzte, der ihn anerkennen würde. Er sagt explizit, er könne die »übliche 'Atom'- und 'Molekül'-theorie, welche die Körperlichkeit irreduzibel sein läßt«, nicht »gebrauchen« (1905, S. 239).
- ¹⁶ Man beachte die mögliche Analogie zu Descartes' Argument der Verschiedenheit von Seele und Körper aus der sechsten Meditation, wo aus der Unteilbarkeit der Seele deren nicht-materielles Wesen abgeleitet wird.
- ¹⁷ Die heute bekanntere Bezeichnung »Gen« wurde noch im gleichen Jahr (1909) durch den dänischen Biologen Wilhelm Johannsen eingeführt (Olby 1990, S. 524).
- ¹⁸ Die Vorstellung des »Überwindens« von Naturgesetzen erinnert an gewisse Emergenztheorien, in denen oft davon die Rede ist, daß Ganzheiten die Gesetzmäßigkeiten einer Mikroebene durch kausale *Makrodetermination* »überwinden« (engl. *supersede*), siehe z. B. Sperry (1986). Emer-

genztheorien behaupten in der Regel, daß es Eigenschaften komplexer Ganzheiten gibt, die nicht aus der vollständigen Kenntnis der Eigenschaften der Komponenten dieser Ganzheit abgeleitet werden können (z. B. Mayr 1982, S. 63). In der Einführung nicht-materieller Wechselwirkungen unterscheidet sich Drieschs Vitalismus aber grundlegend von den Emergenztheorien, welche ja explizit als *materialistische* Theorien verstanden werden wollen.

¹⁹ Es fragt sich natürlich, wie sich dies mit Drieschs Behauptung verträgt, daß der Energieerhaltungssatz der Physik durch vitalistische Prozesse nicht verletzt wird. Ein ähnliches Problem ergibt sich in gewissen Emergenztheorien (siehe Hoyningen-Huene 1994).

²⁰ Alle diese Eigenschaften treten in den formalen Rekonstruktionen als 1. Prämissen auf, siehe 4. Abschnitt.

Literaturverzeichnis

- Allen, G. E., 1975: *Life Science in the Twentieth Century*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Ayala, F. J., 1974: Introduction, in: F. J. Ayala & T. Dobzhanski (Hg.): *Studies in the Philosophy of Biology. Reduction and Related Problems*, Berkeley: University of California Press: S. VII-XVI
- Bertalanffy, L., 1930: Tatsachen und Theorien der Formbildung als Weg zum Lebensproblem, *Erkenntnis* 1: 361.
- Broad, C. D., 1925: *The Mind and its Place in Nature*, London: Routledge & Kegan.
- Driesch, H., 1892: *Entwicklungsmechanische Studien. I. Der Wert der beiden ersten Furchungszellen in der Echinodermen-Entwicklung. Experimentelle Erzeugung von Teil- und Doppelbildungen*, *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie* 53: 160-178.
- Driesch, H., 1905: *Der Vitalismus als Geschichte und als Lehre*, Leipzig: Barth.
- Driesch, H., 1909: *Philosophie des Organischen. Gifford-Vorlesungen gehalten an der Universität Aberdeen in den Jahren 1907-1908*, 2 Bde., Leipzig: Engelmann.
- Driesch, H., 1928: *Philosophie des Organischen (Vierte, gekürzte und teilweise umgearbeitete Auflage)*, Leipzig: Quelle & Meyer.
- Hoyningen-Huene, P., 1992: On the Way to a Theory of Antireductionist Arguments, in: A. Beckermann, H. Flohr & J. Kim (Hg.): *Emergence or Reduction? Essays on the Prospects of Nonreductive Physicalism*, Berlin: deGruyter. S. 289-301
- Hoyningen-Huene, P. (1994), *Zu Emergenz, Mikro- und Makrodetermination*, in: W. Lübke (Hg.), *Kausalität und Zurechnung. Über Verantwortung in komplexen kulturellen Prozessen*. Berlin: de Gruyter, S. 165-195.

- Maienschein, J., 1986: Preformation or new formation-or neither or both? in: T. J. Horder, J. A. Witkowski & C. C. Wylie (Hg.): *A History of Embryology*, Cambridge: Cambridge University Press: S. 73-108.
- Maienschein, J., 1990: Cell theory and development, in: R. C. Olby, et al. (Hg.): *Companion to the History of Modern Science*, London: Routledge: S. 357-373.
- Mayr, E., 1982: *The Growth of Biological Thought*, Cambridge Mass.: Belknap (Harvard University Press).
- Miller, T., 1991.: *Konstruktion und Begründung: zur Struktur und Relevanz der Philosophie Hans Drieschs* (Dissertation, Universität Münster, 1989), Hildesheim/Zürich/New York: Georg Olms.
- Mirakel, R. C., 1933: Zur Beweisung des Vitalismus, offener Brief an Hans Driesch, *Biologisches Centralblatt* 54: 614-629.
- Mocek, R., 1974: *Wilhelm Roux, Hans Driesch. Zur Geschichte der Entwicklungsphysiologie der Tiere*, Jena: Gustav Fischer.
- Mocek, R., 1988: *Materialismus und Idealismus in der Lebensforschung. Hans Driesch*, in: ders.: *Neugier und Nutzen*, Berlin: Dietz Verlag: S. 198-218
- Morgan, C. L., 1923: *Emergent Evolution*, London: Williams and Norgate.
- Nagel, E., 1961: *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation*, London: Routledge and Kegan Paul.
- Needham, J., 1936: *Order and Life*, Cambridge Mass.: MIT Press 1968.
- Nye, M. J., 1972: *Molecular Reality. A Perspective on the Scientific Work of Jean Perrin*, London/New York: MacDonald/American Elsevier.
- Olby, R. C., 1990: The emergence of genetics, in: R. C. Olby, et al. (Hg.): *Companion to the History of Modern Science*, London: Routledge: S. 521-536

- Roll-Hansen, N., 1979: Reductionism in Biological Research: Reflections on Some Historical Case Studies in Experimental Biology. in: J. Bärmark (Hg.), Perspectives in Metascience, Göteborg: Kungl. Veteskaps- och Vitterhets- Samhället, S. 157-172.
- Roux, W., 1888: Beiträge zur Entwicklungsmechanik des Embryo. Über die künstliche Hervorbringung halber Embryonen durch Zerstörung einer der beiden ersten Furchungskugeln, sowie über die Nachentwicklung (Postgeneration) der fehlenden Körperhälfte, Virchow's Archiv path. Anat. u. Physiol. u. kl. Med. 114: 113-153. Auszugsweise in englischer Übersetzung abgedruckt in Willier und Oppenheimer (1964).
- Schrödinger, E., 1944: Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet, Bern: Francke 1946.
- Sober, E., 1993: Philosophy of Biology, Oxford: Oxford University Press.
- Sperry, R. W., 1986: Discussion: Macro- versus Micro-Determinism, Philosophy of Science 53: 265-270.
- Thiel, C., 1980: Eintrag »Driesch«, in: J. Mittelstraß (Hg.) Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, Mannheim/Wien/Zürich: B.I. Wissenschaftsverlag, S. 498f.
- Wermel, J., 1934: Über die Beweisung des Vitalismus, Antwort an R. C. Mirakel, Biologisches Centralblatt 54: 313-324.
- Willier, B. H. and S. B. Oppenheimer, 1964: Foundations of Experimental Embryology, Englewood Cliffs N. J.: Prentice-Hall.