

Zu Problemen des Reduktionismus der Biologie

von PAUL HOYNINGEN-HUENE, Zürich

I.

Die Probleme des Reduktionismus bilden seit langem einen wesentlichen Teil der philosophischen Diskussion der Biologie. War früher einmal diese Diskussion vielfach um den Gegensatz zwischen Mechanizismus und Vitalismus zentriert, und damit relativ kompakt, so ist heute das Feld möglicher Positionen vielfältiger und damit auch unübersichtlicher geworden. Kürzlich haben sich in diesem Zusammenhang wieder zwei hochkompetente Biologen zu Wort gemeldet, nämlich Konrad Lorenz und Ernst Mayr, und ich werde meine Diskussion der Probleme des Reduktionismus vor allem auf ihre Äußerungen beziehen. Dazu werde ich im folgenden Abschnitt (II.) zunächst die wichtige Unterscheidung dreier Arten von Reduktionismus aufnehmen, die von Francisco Ayala eingeführt wurde. Dann (III.) wird gezeigt, daß der sog. epistemologische Reduktionismus eine wesentliche Zweideutigkeit aufweist, die anschließend (IV.) an einem konkreten Beispiel diskutiert und behoben wird. Zur Begründung einer bestimmten antireduktionistischen Position wird von Biologen vielfach auf einen Aufsatz von Karl Popper verwiesen, dessen Argumente im folgenden Abschnitt (V.) untersucht werden. Schließlich ist zu fragen (VI.), ob die Emergenz oder Fulguration für den epistemologischen Antireduktionismus relevant ist. Abschließend werden die Ergebnisse der Diskussion zusammengefaßt und auf die Frage der Autonomie der Biologie bezogen (VII.).

II.

Als Ausgangspunkt der Diskussion wähle ich eine Unterscheidung von dreierlei Arten von Reduktionismus, wie sie von Francisco Ayala im einleitenden Résumé eines Bandes eingeführt worden ist, in dem die Arbeiten einer Konferenz aus dem Jahre 1972 über Probleme der Reduktion in der Biologie publiziert sind (Ayala 1974, pp. VII–XI). Diese Unterscheidung ist in der Folge von verschiedenen Autoren aufgenommen worden, um mit ihr verschiedene *Fragen* des Reduktionismus zu unterscheiden, und verschiedene *Antworten*, insbesondere das Verhältnis von Biologie zu Chemie und Physik betreffend, bestimmter zu artikulieren (z.B. Lorenz 1978, S. 34ff.; Mayr 1982, pp. 59–63). Ayala unterscheidet die drei verschiedenen Arten von Reduktionismus in folgender Weise, wobei ich nicht

die allgemeinste Formulierung wähle, sondern gleich auf der Fall der Biologie einschränke.

Ontologischer (oder *konstitutiver*) Reduktionismus bezeichnet eine Position, die behauptet, daß den Lebensprozessen keine anderen elementaren Substrate und keine anderen elementaren Wechselwirkungen zugrundeliegen als den Prozessen der unbelebten Natur auch. Dies bedeutet die Abweisung von besonderen Substraten oder besonderen Wechselwirkungen, die das Lebendige charakterisieren würden, also die Abwehr des Vitalismus in allen Spielarten.

Methodologischer (oder *explanatorischer*) Reduktionismus bezeichnet eine Position, die behauptet, daß die einzig legitime biologische Forschung sich auf der molekularen Ebene bewegt, und entsprechend wissenschaftliche Erklärungen von Zuständen und Prozessen, die zunächst auf höheren Organisationsniveaus beschrieben werden, ausschließlich mittels molekularen Größen zu erfolgen habe.

Epistemologischer (oder *theoretischer*) Reduktionismus bezeichnet eine Position, die behauptet, daß die biologischen Begriffe im Prinzip mittels physikalisch-chemischer Begriffe neu definiert, und die biologischen Gesetze aus physikalischen und chemischen Gesetzen im Prinzip deduziert werden können.

Definiert man nun die drei antireduktionistischen Positionen als die Negation der jeweiligen reduktionistischen Position, so erhält man rein kombinatorisch zunächst acht mögliche verschiedene Gesamtpositionen, die hinsichtlich der Reduktionismusfragen in der Biologie eingenommen werden können. Diese Positionen sind in der folgenden Tabelle dargestellt und durchnummeriert; das „+“ bedeutet den jeweiligen Reduktionismus, das „-“ den jeweiligen Antireduktionismus.

ontologischer Reduktionismus	+	+	+	+	-	-	-	-
methodologischer Reduktionismus	+	+	-	-	+	+	-	-
epistemologischer Reduktionismus	+	-	+	-	+	-	+	-
Gesamtposition	1	2	3	4	5	6	7	8

Natürlich sind damit die denkbaren Gesamtpositionen hinsichtlich des Reduktionismus nicht restlos bestimmt, denn die Einzelpositionen können noch weiter differenziert werden. So unterscheidet Ayala beispielsweise beim methodologischen Reduktionismus bzw. Antireduktionismus noch „extreme“ und „gemäßigte“ Formen (Ayala 1974, p. IX). Das soll uns hier aber nicht weiter interessieren. Im folgenden werde ich die vitalistischen Positionen 5 bis 8 nicht weiter behandeln. Ich behaupte nicht, daß der Vitalismus strikt und endgültig widerlegt sei. Sicher kann man dagegen behaupten, daß bei Biologen heute für den Vitalismus, in welcher Spielart

auch immer, praktisch kein Interesse besteht. Denn die Argumente, die „der“ Vitalismus zu seinen Gunsten in der Geschichte der Biologie vorgebracht hat, gelten heute als nicht überzeugend. Und weiter gibt es heute offensichtlich kein vitalistisches Forschungsprogramm, das innerhalb der Biologie als etablierter Disziplin ernstgenommen wird (vgl. z.B. Ayala 1974, p. VIII; Mayr 1982, p. 60).

Ebenfalls werde ich die Gesamtpositionen 1 und 2 nicht weiter behandeln, da sie wegen ihres methodologischen Reduktionismus unplausibel sind. Denn in der Tat können höhere Organisationsniveaus als das molekulare sinnvoll erforscht werden, ohne daß immer auf die molekulare Ebene zurückgegriffen wird. Zweifellos läßt sich beispielsweise die Funktion von manchen Organen oder Organteilen relativ zu ihren makroskopischen Eigenschaften verstehen, ohne daß man die Einzelheiten der molekularen Realisierung dieser Eigenschaften kennt: diese Information ist zum Verständnis der Funktion nicht notwendig (vgl. z.B. Ayala 1974, p. IX; Mayr 1982, p. 60).

Das Problem „des“ Reduktionismus in der Biologie scheint damit im wesentlichen auf die Alternative zwischen den Gesamtpositionen 3 und 4 hinauszulaufen. Viele namhafte *Biologen*, darunter z.B. F. Ayala und E. Mayr, vielleicht auch K. Lorenz, vertreten die Gesamtposition 4, jedenfalls, insofern für die Biologie evolutionäre Fragen (nach „ultimate causes“), und nicht bloß funktionelle Fragen (nach „proximate causes“) charakteristisch sind (zu diesen Begriffen siehe Mayr 1982, pp. 67–76). *In der Gesamtposition 4 steckt die Behauptung, daß der ontologische und epistemologische Reduktionismus im folgenden Sinn voneinander unabhängig sind: daß nämlich der ontologische Reduktionismus nicht notwendig den epistemologischen Reduktionismus impliziert* (während ontologischer Antireduktionismus natürlich epistemologischen Antireduktionismus impliziert). Im krassen Gegensatz dazu werden von *Wissenschaftstheoretikern* manchmal der epistemologische Reduktionismus bzw. Antireduktionismus dazu benutzt, um zu explizieren, was der ontologische Reduktionismus bzw. Antireduktionismus überhaupt besagen (z.B. Hempel 1966, S. 143ff.), d.h. es wird eine *strikte Abhängigkeit* der beiden Positionen behauptet, nämlich ihre Äquivalenz. Für diese Wissenschaftstheoretiker wäre demnach die Gesamtposition 4 wegen innerer logischer Inkonsistenz zurückzuweisen.

In dieser Situation ist es sinnvoll zu fragen, was genau unter dem strittigen epistemologischen Reduktionismus verstanden wird, und wie bei den genannten *Biologen* die Verträglichkeit von epistemologischem Antireduktionismus mit dem ontologischen Reduktionismus begründet wird.

III.

Bei ihrer Darstellung des epistemologischen Reduktionismus findet man sowohl bei Ayala als auch bei Mayr für die gleiche Sache zwei verschiedene Formulierungen, deren Differenz zunächst belanglos scheint. Einmal wird nämlich gesagt, der epistemologische Reduktionismus behaupte, daß „die Theorien und experimentellen Gesetze, die in einem Gebiet der Wissenschaft formuliert sind, *als Spezialfälle* von Theorien und Gesetzen aus einem anderen Bereich der Wissenschaft gezeigt werden können“ (Ayala 1974, p. IX; ebenso Mayr 1982, p. 62; Hervorhebung von mir). Ein andermal wird gesagt, daß „gezeigt werden muß, daß alle experimentellen Gesetze und Theorien [des einen Gebietes] logische Konsequenzen der theoretischen Konstrukte des anderen [Gebiets] sind [...]. Für die Ausführung dieser Deduktion verlangen die Gesetze der Logik, daß alle technischen Terme, die in der in der zu reduzierenden Wissenschaft verwendet werden [hier: der Biologie], mittels der wissenschaftlichen Terme, die in der reduzierenden Wissenschaft [hier: Physik und Chemie] verwendet werden, neu definiert werden.“ (Ayala 1974, p. X; ähnlich Mayr 1982, p. 62). Gemäß dieser zweiten Formulierung sind bei einer durchzuführenden Reduktion zweierlei Arten von Prämissen zu benutzen, aus denen die Gesetze und Theorien der zu reduzierenden Wissenschaft – hier also der Biologie – zu deduzieren sind: einmal angemessene Neudefinitionen der biologischen Begriffe mittels physikalisch-chemischer Begriffe, und zum anderen die benötigten Gesetze und Theorien aus Physik und Chemie. Ayala beruft sich für diese Formulierung der Position des epistemologischen Reduktionismus auf Nagel 1961. Nun erfolgt dieser Rückgriff auf Nagel aber so nicht ganz zu Recht, dann Nagel nennt ausdrücklich eine dritte Sorte von Prämissen, die man für eine Reduktion beizuziehen hat (Nagel 1961, p. 434): „Im allgemeinen werden einige der Prämissen mit dem Vokabular der primären Wissenschaft [d.i. hier Physik und Chemie] die Randbedingungen oder speziellen raumzeitlichen Konfigurationen angeben, unter denen die theoretischen Annahmen angewendet werden“. Nun ist diese Ungenauigkeit in Ayalas Bezugnahme auf Nagel aber gänzlich belanglos, denn er hätte ebensogut Hempel 1966 zitieren können: bei ihm findet sich die Position des epistemologischen Reduktionismus tatsächlich so formuliert wie bei Ayala: als Prämissen fungieren bei Hempel nämlich nur die Neudefinitionen und die Gesetze, nicht aber Randbedingungen (Hempel 1966, S. 144).

Vergleicht man nun die beiden verschiedenen, am Anfang dieses Abschnitts gegebenen Formulierungen für die Position des epistemologischen Reduktionismus, so sieht man, daß sie Ausdruck einer auch in der Wissenschaftstheorie selbst vorhandenen Zweideutigkeit in der Bestim-

mung des epistemologischen Reduktionismus sind: nämlich *ob neben den Gesetzen und Neudefinitionen als Prämissen einer Reduktion auch Randbedingungen, die den Spezialfall charakterisieren, beizuziehen sind oder nicht*. Nun mag es scheinen, daß diese Frage lediglich eine Konvention betrifft, nämlich die Nominaldefinition von „epistemologischer Reduktionismus“, und daher sowohl belanglos als auch nicht mit Argumenten entscheidbar ist. Beides ist nicht der Fall. Das läßt sich leicht an einem Beispiel zeigen.

IV.

Als Beispiel wähle ich die epistemologische Reduktion des Kraftgesetzes des freien Falles auf das Newtonsche Gravitationsgesetz. Das Kraftgesetz der freien Falles lautet

$$K_S = m \cdot g, \quad K_S = \text{Schwerkraft}; m = \text{Masse des fallenden Körpers}; g = \text{Erdbeschleunigung.}$$

Das Newtonsche Gravitationsgesetz lautet

$$(1) \quad K_G = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}, \quad K_G = \text{Gravitationskraft}; \gamma = \text{Gravitationskonstante}; m_1, m_2 = \text{sich anziehende Massen}; r = \text{Abstand der Massen.}$$

Will man das Kraftgesetz des freien Falles „aus“ dem Gravitationsgesetz ableiten, so benötigt man folgende weiteren Prämissen:

$$(2) \quad K_S = K_G.$$

Das ist die Identifikation der Schwerkraft als einer Gravitationskraft, also die Neudefinition eines Begriffs der zu reduzierenden Theorie mittels eines Begriffs aus der die Reduktion leistenden Theorie. Darin ist die Annahme enthalten, daß keine anderen Kräfte als die Gravitationskraft mitspielen bzw. daß sie vernachlässigbar sind, wie Luftreibung, elektrische und magnetische Kräfte, Sonnenwind usw.

$$(3) \quad m_1 = M_E = \text{Erdmasse.}$$

Das ist die Identifikation des Körpers, der den fallenden Körper anzieht, als der Erde; der Zahlenwert der Erdmasse muß bekannt sein. Darin ist die Annahme enthalten, daß die übrigen Massen des Universums wie Sonne, Mond, andere Planeten, Sterne, andere Milchstraßen, intergalaktischer Staub, alle Strahlung um Universum, (die ja ebenfalls Masse besitzt) usw.

quantitativ vernachlässigbar sind, kurz, daß es sich um ein 2-Körper-Problem handelt.

$$(4) \frac{\Delta r}{R_E} \ll 1, \quad R_E = \text{Erdradius}; \Delta r = \text{Fallweg.}$$

Das besagt, daß der Fallweg sehr viel kleiner als der Erdradius sein muß. Darin ist die Annahme enthalten, daß die Erde in guter Näherung eine Kugel ist. (4) ist wichtig, weil damit der Näherungsschluß spezifiziert wird: die Gravitationskraft darf längs des Fallwegs als konstant angenommen werden, im logischen Widerspruch zum Gravitationsgesetz, weil ihre Änderung längs des Fallwegs quantitativ vernachlässigbar ist. Dazu muß der Erdradius bekannt sein, und man muß sich auf die relativ zum Erdradius kurzen Fallwege beschränken.

- (5) Rechenregel: Bei der Anwendung des Gravitationsgesetzes dürfen die beteiligten Massen in unserem Fall wie Punktmassen behandelt werden, die sich am Ort des Schwerpunktes der wirklichen Massen befinden.

Diese Rechenregel gilt nur, wenn die Massenverteilung in der Erdkugel in guter Näherung kugelsymmetrisch ist; andernfalls wird die Rechnung erheblich komplizierter.

Nimmt man die Prämissen (1) bis (5) zusammen, so läßt sich daraus das Kraftgesetz des freien Falles

$$K_s = m \cdot g, \text{ mit } g = \gamma \cdot \frac{M_E}{R_E^2}$$

ableiten.

Offensichtlich benötigt man für diese Ableitung neben der technischen Regel (5) drei Arten von Prämissen: einmal das Gesetz (1), dann die Neudefinition (2), und schließlich die Randbedingungen (3) und (4), die die Situation spezifizieren, in der das Gravitationsgesetz angewandt werden soll. Ein Verzicht auf die von (1) logisch unabhängigen Prämissen (3) und (4) macht den Schluß natürlich unmöglich. Bei dieser Art von Ableitbarkeit wird in der Physik davon gesprochen, daß ein Gesetz ein Spezialfall eines anderen sei (z.B. Macke 1962, S. 156). Also trifft zunächst einmal die schwächere Variante von „epistemologischer Reduktionismus“, bei der als Prämissen auch Randbedingungen zugelassen sind, die Situation der Physik. Aber das ist natürlich kein Argument dafür, die stärkere Variante von vorneherein auszuschließen, denn sie könnte ja für die Biologie gerade sinnvoll sein. Aber das ist nicht der Fall. Denn wenn man als Prämissen einer epistemologischen Reduktion nur Gesetze und Neudefinitionen zuläßt, dann liegt diese Beziehung nur dann vor, wenn die beiden zu vergleichenden Gesetze/Theorien in verschiedenem Voka-

bular formulierte *äquivalente* Gesetze/Theorien sind (oder die eine lediglich eine Abschwächung der anderen ist). Aber darauf zielt die Frage nach epistemologischer Reduktion weder innerhalb der Physik noch in der Biologie: denn man möchte in der Biologie ja wissen, ob bestimmte Gruppen von biologischen Systemen, für die man biologische Gesetze formuliert hat, physikalisch-chemisch beschreibbar, und ihre biologischen Gesetze aus denen der Physik und Chemie ableitbar sind. Dazu muß man natürlich diese Gruppen von biologischen Systemen spezifizieren, und diese Spezifizierung fungiert, wenn in die Sprache von Physik und Chemie übersetzt, als Randbedingung, unter der die Gesetze von Physik und Chemie zur Anwendung gelangen. *Nur wenn man diese Randbedingungen als Prämissen zuläßt, ist die Frage nach epistemologischer Reduktion überhaupt interessant, und zwar sowohl innerhalb der Physik, wie auch für die Biologie: denn sonst ist die Antwort in den interessierenden Fällen immer negativ, und damit gehaltlos.* Um einen informativen Begriff von epistemologischem Reduktionismus zu erhalten, muß man also als Prämissen der Ableitung auch Randbedingungen zulassen, worauf schon Nagel 1961 hingewiesen hat (Nagel 1961, pp. 442–3).

V.

Wir können uns jetzt wieder der Frage zuwenden, wie die Gesamtposition 4 begründet wird, d.h. wie unter Zugrundelegung des ontologischen Reduktionismus der epistemologische Antireduktionismus verteidigt wird. Als Kronzeuge für die Unhaltbarkeit der Position des epistemologischen Reduktionismus wird bei Ayala und Mayr die Arbeit Popper 1974 zitiert (Ayala 1974, p. X; Mayr 1982, p. 62). Popper zeigt, daß *alle* bisherigen Versuche der Reduktion entweder gänzlich gescheitert seien, oder aber nicht vollständig haben durchgeführt werden können. Insbesondere sei die Reduktion der Chemie auf die Physik nicht vollständig gelungen, und „die angestrebten Reduktionen seien als solche damit gescheitert“ (Popper 1974, p. 269; zitiert bei Lorenz 1978, S. 34). Der Grund für dieses Scheitern durch Unvollständigkeit sei, daß „eine vollständig neue Idee eingebracht werden muß, eine Idee, die für die physikalische Theorie etwas fremd ist: die Idee der Evolution, der Geschichte unseres Universums, der Kosmogonie“ (Popper 1974, p. 267). Nun ist es allerdings eine überzeugende Analogie, daß, wenn schon die Reduktion der Chemie auf die Physik scheitert, weil der Gedanke der Evolution des Anorganischen neu hinzugenommen werden muß, auch die Reduktion von Biologie auf Chemie und Physik scheitern muß, weil hier der Gedanke der Evolution des Lebendigen hinzugenommen werden muß. Unter diesen

Bedingungen wäre die Gesamtposition 4, wo ja die Verträglichkeit von ontologischem Reduktionismus mit epistemologischem Antireduktionismus behauptet wird, sehr plausibel: denn die epistemologische Nicht-Reduzierbarkeit ergibt sich trotz ontologischer Reduzierbarkeit gerade daraus, daß die Evolution eine zentrale Rolle spielt. Und entsprechend ergibt sich ebenso plausibel, daß Physiker und an physikalischen Beispielen orientierte Wissenschaftstheoretiker, die nur die Gesamtposition 3 für konsistent halten, dies genau deshalb tun, weil sie von der fundamentalen Bedeutung des Evolutionsgedankens und der daraus resultierenden Eigenständigkeit der Biologie nur unzureichend Kenntnis genommen haben (vgl. hierzu besonders Mayr 1982, pp. 32–76).

Diese in sich außerordentlich plausible Argumentation beruht auf der Popperschen Analyse des Reduktionismus in „seiner bedeutenden wissenschaftstheoretischen Schrift“ (Lorenz 1978, S. 32) Popper 1974. Wir müssen uns daher Poppers Argumentation im einzelnen ansehen. Zunächst sind drei Vorbemerkungen zu machen.

1. Popper verwendet den Terminus „epistemologischer Reduktionismus“ nicht. Stattdessen spricht er einfach von „Reduktion“, was er im wesentlichen mit „Erklärung“ gleichsetzt (pp. 259–260, und Fußnote p. 260). Wenn man Poppers Theorie der Erklärung berücksichtigt, wo u.a. verlangt wird, daß das zu Erklärende aus dem Erklärenden logisch folgen muß, und daß das Erklärende Naturgesetze und Anfangsbedingungen enthalten muß (Popper 1972, pp. 192–193), so scheint die Identifikation von Poppers Ausdruck „Reduktion“ mit *epistemologischer* Reduktion gerechtfertigt. (Daß Popper die Neudefinitionen nicht explizit als Prämissen anführt, ist unerheblich: denn die von Popper verlangte logische Ableitung fordert sie implizit, und sie lassen sich als Naturgesetze auffassen). Darüber hinaus spricht Popper noch von „Reduktionismus als Methode“ (z.B. 1974, p. 260) und von „philosophischem Reduktionismus“ (z.B. 1974, p. 260, p. 297). Die Bedeutung dieser Termini braucht uns aber in unserem Zusammenhang nicht weiter zu interessieren.

2. Popper unterscheidet zwei Arten des Scheiterns von Reduktionsversuchen: einmal ein grundsätzliches Scheitern, bei dem die Reduktionsrichtung später evtl. umgekehrt wird, und ein Scheitern im Sinne einer unvollständigen Reduktion. Warum kann ein Reduktionsversuch grundsätzlich scheitern? Popper bringt drei Beispiele grundsätzlichen Scheiterns von Reduktionsversuchen (die dennoch wissenschaftlich außerordentlich fruchtbar waren). Knapp formuliert waren das die Cartesische Reduktion der gesamten Physik auf die Materieeigenschaft Ausdehnung und den Stoß zwischen Körpern (pp. 262–263), die Reduktion der Elektrodynamik auf die Mechanik (p. 264), und die Reduktion der Mechanik und Chemie auf die elektrodynamische Theorie des Atomismus (pp. 264–266). Bei diesen

Fällen ist das grundsätzliche Scheitern der Reduktion darauf zurückzuführen, daß im Bereich der zu reduzierenden Theorie neue, eigenständige Entitäten, sei es Teilchen oder Wechselwirkungen, entdeckt wurden, die in der Theorie, die die Reduktion leisten sollte, nicht vorkamen. Entsprechend wurde die Reduktion unmöglich. Mit dem früher eingeführten Terminus: die Reduktion wurde unmöglich, weil sich die ontologische Reduktion als unmöglich herausgestellt hatte. Analog würde die Reduktion der Biologie auf die heutige Physik und Chemie trivialerweise unmöglich, wenn die Existenz von spezifischen Vitalkräften entdeckt würde. Diese Fälle der scheiternden Reduktion sind für unser Thema ohne Interesse: denn uns interessiert der Fall, bei dem ontologischer Reduktionismus vorausgesetzt wird, und der epistemologische Reduktionismus in Frage steht.

3. Also ist für uns allein der Fall unvollständiger Reduktion von Bedeutung. Popper bringt dazu zunächst Beispiele aus der Mathematik. Obwohl Lorenz kurz darauf eingeht (Lorenz 1978, S. 33), werde ich sie aus zwei Gründen nicht behandeln. Einmal sind die Reduktionismusprobleme der nichtempirischen Wissenschaften für das Problem, das uns hier speziell interessiert, nur von begrenztem Informationswert. In den empirischen Wissenschaften läßt sich nämlich die Unterscheidung von ontologischem und epistemologischem Reduktionismus wohl treffen, aber es ist sehr fraglich, ob sie in den nichtempirischen Wissenschaften sinnvoll ist. Zum anderen ist auch bei Lorenz das argumentative Gewicht des Beispiels aus den Naturwissenschaften, nämlich die unvollständige Reduktion der Chemie auf die Physik, unvergleichlich größer (Lorenz 1978, S. 33ff.).

Popper diskutiert das Beispiel der Reduktion der Chemie auf die Physik unter Voraussetzung der folgenden Idealisierungen, die lediglich sein Argument von nebensächlichen Komplikationen freihalten sollen: wir hätten eine vollständige quantenmechanische Theorie der chemischen Bindung und eine vollständige Theorie der Kernkräfte, die die vollständige Kenntnis der Periodensystems, der Isotope, und besonders die Kenntnis der Stabilität bzw. der Instabilität schwerer Kerne miteinschloße. „Wäre dies eine völlig befriedigende Reduktion der Chemie auf die Quantenmechanik?“ (Popper 1974, p. 266). Nach Popper wäre diese Reduktion nicht vollständig, da drei Residuen bestehen bleiben (pp. 267–268):

1. Die Idee der Evolution des Kosmos. Die Theorie des Periodensystems der Elemente erklärt die schweren Elemente als aus den leichten zusammengesetzt. Damit nimmt sie aber an, daß die schweren Elemente eine Geschichte haben, daß nämlich im Weltraum Bedingungen geherrscht haben, unter denen sich diese schwereren Elemente aus den leichteren durch Fusion bilden können. Die Erklärung dieser Bedingungen aber ist Sache der Kosmologie, so daß man sicher nicht sagen kann, die

Chemie sei auf die Physik, sondern allenfalls auf Physik *und* Kosmologie reduziert worden. Grob könnte man dieses Argument wie folgt darstellen:

- a) Physik & besonders kosmische Bedingungen (hoher Druck, hohe Temperatur etc.) \Rightarrow Chemie.
- b) Kosmologie (inklusive kosmologische Anfangsbedingung: big bang) \Rightarrow besondere kosmische Bedingungen (hoher Druck, hohe Temperatur etc.).

Also (a) & b)):

- c) Physik & Kosmologie \Rightarrow Chemie.

2. *Prädestination oder prästabilisierte Harmonie: Kernkräfte.* Hier ist die Tatsache gemeint, daß bei dem Reduktionsversuch die Kernkräfte eine wesentliche Rolle spielen, und diese Kernkräfte wegen ihrer kurzen Reichweite in der Natur praktisch nur bei den obengenannten, im ganzen seltenen kosmischen Bedingungen überhaupt wirksam werden. Insofern operiert die Erklärung des Periodensystems mit einer unter normalen Bedingungen nicht manifesten Eigenschaft, einer inhärenten Potenz gewissermaßen, die gerade unter besonderen kosmischen Bedingungen aktualisiert wird, so daß sich die schweren Kerne bilden können.

3. *Prästabilisierte Harmonie: Kernkräfte vs. Gravitation.* Hier ist die Tatsache gemeint, daß die obige Reduktion von einem besonderen Verhältnis von Gravitation und Kernkräften Gebrauch macht: daß nämlich, unter den besonderen kosmischen Bedingungen die extrem schwache, aber sehr langreichweitige Gravitation mit der extrem starken, aber sehr kurzreichweitigen Kernkraft gerade so zusammenwirken, daß die schweren Kerne entstehen können.

Zu diesem Popperschen Argument ist in unseren Zusammenhang dreierlei zu sagen:

1. Zweifellos sind die einzelnen naturwissenschaftlichen Tatsachenbehauptungen, die Poppers Argument aufbauen, gemäß dem Stand des wissenschaftlichen Wissens korrekt. Was allenfalls sinnvoll befragt werden kann, ist der argumentative Stellenwert dieser Tatsachenbehauptungen für die zu begründende Sache, nämlich die Unvollständigkeit der Reduktion der Chemie auf die Physik. Beispielsweise kann man sich fragen, ob die Deutung der Kernkräfte und der Gravitation als „inhärente Potentialitäten“ (p. 268) und ihr Verhältnis zueinander als „prästabilisierte Harmonie“ (p. 268) sinnvoll ist. Ich lasse diese Frage hier offen, weil diese beiden behaupteten Residuen der Reduktion von Chemie auf Physik von Biologen nicht aufgenommen worden sind. Der Grund dafür mag folgender sein. Akzeptiert man nämlich die Poppersche Rede von der prästablierten Harmonie in den genannten Fällen, so beruht natürlich nicht nur unser

Sonnensystem auf prästablierter Harmonie, wie Popper konsequenterweise betont (p. 268), sondern ebenfalls der gesamte Bereich des Lebendigen. Denn das Leben ist von einer Unmenge von Eigenheiten unseres Planeten und des übrigen Sonnensystems abhängig, die erst in ihrer besonderen Kombination und unter besonderen Bedingungen ihre lebenskonstitutive Potenz aktualisieren. Die Rede von prästablierter Harmonie im Zusammenhang mit der Evolution ist für Biologen heute aber recht befremdlich.

2. Die sich an der Rede von der prästablierten Harmonie zeigende Fremdheit des Popperschen Textes läßt sich auflösen, wenn man fragt, welches Vorverständnis dem Begriff Reduktion bei Popper zugrundeliegt. Für Popper bedeutet Reduktion einen Spezialfall von Erklärung. Das sieht man im Text auf p. 259/260 (Hervorhebung von mir): „... Newtons *Reduktion* – oder eher *Erklärung* – von Keplers und Galileis Gesetz. . .“, und noch deutlicher in der zugehörigen Fußnote, die bei der Korrektur beigelegt wurde: „In Text dieses Aufsatzes habe ich – vielleicht unsorgfältigerweise, oder weil ich terminologische Einzelheiten nicht mag – die gut zu machende Unterscheidung zwischen Erklärung im allgemeinen, und *Reduktion im Sinne einer Erklärung* mittels einer etablierten oder „fundamentaleren“ Theorie, nicht gemacht.“ Liest man den Popperschen Text mit „Erklärung“ statt „Reduktion“, so werden einige relevante, aber vorher nicht ganz verständliche Stellen völlig durchsichtig, insbesondere die Diskussion des Verhältnisses von Chemie zu Physik. Denn Popper fragt, nachdem er die vorhin genannten Idealisierungen konstatiert hat: „Wäre das eine völlig befriedigende [fully satisfactory] Reduktion der Chemie auf die Quantenmechanik?“ (p. 266). Gemeint ist eine völlig befriedigende *Erklärung*: dann sind natürlich die benötigten kosmischen Randbedingungen, die man nur aus der Kosmologie ableiten kann, eine nicht erklärte Zusatzannahme, dann sind natürlich Kernkräfte, die man nur bei schweren Kernen ex post festum feststellen kann, zur Erklärung der Existenz eben dieser Kerne unbefriedigend, dann ist natürlich ein unerklärtes, höchst spezielles, aber für die beobachteten Phänomene konstitutives Verhältnis verschiedener Wechselwirkungen unbefriedigend. Das Poppersche Argument ist zwingend dafür, daß die Physik allein für eine vollständig befriedigende Erklärung der Chemie, *wobei die Existenz schwerer Kerne eingeschlossen gedacht ist*, in der Tat unzureichend ist. Denn man benötigt dazu weitere, selbst erklärungsbedürftige Prämissen (die kosmischen Randbedingungen), und ist auf ein bestimmtes „Zusammenspielen“ aller Prämissen angewiesen, das nur in seiner Faktizität konstatiert werden kann, aber darum noch nicht erklärt ist.

3. Reduktion im Sinne Poppers (also eine Erklärung) und epistemologische Reduktion im eingeführten Sinn sind nun aber nicht dasselbe. Das

sieht man daran, daß Popper von *mehr oder weniger befriedigender* Reduktion spricht, und damit eine Graduierung der Erklärungskraft einer Reduktion/Erklärung ansetzt (ausgeführt in Popper 1972, pp. 192–194). Von Erklärungen läßt sich wohl sagen, sie seien mehr oder weniger befriedigend, bei einer epistemologischen Reduktion dagegen gibt diese Rede-weise keinen Sinn: hier kann man lediglich sagen, die verlangte logische Ableitbarkeit liege vor oder liege nicht vor. (Daß die logische Ableitbarkeit i.a. nur *approximativ* gezeigt werden kann, betrifft ein *anderes* Problem als das der mehr oder weniger befriedigenden Erklärung). Die Popperschen Argumente sind Argumente dafür, daß mit der Quantenmechanik allein die Chemie nicht restlos befriedigend *erklärt* ist, *und zwar gerade dann, wenn man die epistemologische Reduktion von Chemie auf Quantenmechanik voraussetzt*. Denn die vorher (Popper 1974, p. 266) genannten Idealisierungen, die Popper „um des Argumentes willen“ voraussetzt, bedeuten gerade die (näherungsweise) logische Ableitbarkeit „der Chemie“ aus der Quantenmechanik.

Poppers Argumente können also nicht zur Stützung der Gesamtposition 4 beigezogen werden, wo ja behauptet wird, daß trotz ontologischer Reduktion die epistemologische Reduktion unmöglich sei. Denn Poppers Aufsatz hat (u.a.) ein anderes Thema: hier wird gezeigt, daß bei Bestehen der epistemologischen Reduktionbeziehung zwischen zwei Theorien man nicht ohne weiteres behaupten kann, daß damit die eine Theorie durch die andere restlos befriedigend erklärt sei. Aber diese illegitime Inanspruchnahme von Poppers Argumenten zur Stützung der Gesamtposition 4 kann sichtbar machen, worum es beim Streit um den epistemologischen Reduktionismus eigentlich geht. Bevor wir uns dem zuwenden, müssen wir noch ein weiteres Argument untersuchen, das zur Stützung der Gesamtposition 4 herangezogen wird.

VI.

Besonders K. Lorenz und E. Mayr betonen, daß im Verlauf der Evolution „völlig neue Systemeigenschaften [auftreten], die vorher nicht, und zwar auch nicht in Andeutungen, vorhanden gewesen waren“ (Lorenz 1973, S. 48; auch Lorenz 1978, S. 36; ähnlich Mayr 1982, p. 63). Solche „Eigenschaften des Gesamtsystems können prinzipiell nicht aus der vollständigen Kenntnis des Komponenten, einzeln genommen oder in anderen Teil-Kombinationen, abgeleitet werden“ (Mayr 1982, p. 63). Dieses Phänomen heißt *Emergenz* oder *Fulguration*. Nun könnte es scheinen, daß damit ein Argument für die Gesamtposition 4 gewonnen werden kann. Denn wenn die genannte Kenntnis der Komponenten eines Systems es nicht erlauben sollte, alle Eigenschaften des aus ihnen und nichts anderem zu-

sammengestellten Gesamtsystems vorherzusagen, dann scheint plausibel, daß Organismen, auch wenn sie ausschließlich aus Bestandteilen der anorganischen Welt aufgebaut sind, prinzipiell nicht vollständig mittels der Begriffe und Gesetze der anorganischen Welt beschrieben werden können, und somit der epistemologische Reduktionismus unhaltbar ist.

Um die Stichhaltigkeit dieses Arguments zu prüfen, müssen wir ansehen, was genau unter Emergenz bzw. Fulguration verstanden wird. Hierfür ist besonders das von Lorenz verwendete Beispiel eines Schwingungsstromkreises instruktiv (Lorenz 1973, S. 48ff.; Lorenz 1978, S. 35f.). Lorenz zeigt, daß in Stromkreisen, bei denen eine Batterie, ein Widerstand und ein Kondensator, bzw. eine Batterie, ein Widerstand und eine Spule in Serie geschaltet sind, monoton steigende bzw. monoton fallende Spannungen abgreifbar sind. Schaltet man dagegen neben Batterie und Widerstand den Kondensator *und* die Spule in Serie, so entstehen abklingende Spannungsschwingungen. Dieses komplexere System kann „durch Zusammensetzung aus a und b [den beiden einfacheren Stromkreisen] entstanden gedacht werden“ (Lorenz 1973, S. 50; 1978, S. 35). In der Tat, hier gibt es eine neue Systemeigenschaft, nämlich Schwingungsfähigkeit, die bei den Untersystemen oder den Komponenten des Systems nicht vorhanden ist. (Die Beschreibung der einfacheren Stromkreise als Untersysteme ist zwar nicht ganz genau, aber das tut hier nichts zur Sache). Selbstverständlich ist diese neue Systemeigenschaft nicht „summativ Überlagerung“ (Lorenz 1973, S. 50; 1978, S. 35) von Eigenschaften der einfacheren Stromkreise, und zweifellos auch nicht aus der vollständigen Kenntnis dieser einfacheren Stromkreise ableitbar. Aber ebenso selbstverständlich ist das Schwingungsverhalten aus der Kenntnis der Komponenten *und der Kenntnis des Schaltplanes* ableitbar, wie auch die von Lorenz selbst angegebenen Formeln für den zeitlichen Verlauf der Spannung belegen: sie lassen sich nämlich aus der den Schwingungs-Stromkreis beschreibenden Differentialgleichung ableiten.

Damit aber ist klar, daß die Fulgurationen oder emergenten Eigenschaften, jedenfalls wenn sie so gefaßt sind wie bei Lorenz, kein Gegenargument gegen den epistemologischen Reduktionismus abgeben. Denn ihre Unableitbarkeit aus der Kenntnis der Komponenten ergibt sich ja nur, *wenn man den Bauplan des Gesamtsystems, d.h. die Randbedingungen nicht berücksichtigt*, anders gesagt, wenn man nicht weiß, um welches System es sich eigentlich handelt. Wir hatten in Abschnitt IV bereits gesehen, daß *bei einem sinnvollen Begriff des epistemologischen Reduktionismus als Prämissen auch Randbedingungen zugelassen werden müssen*. Daß diese Randbedingungen, d.h. der Bauplan selbst nicht aus der Kenntnis der Komponenten oder anderer aus diesen Komponenten zusammen-

gesetzter Systeme abgeleitet werden kann, ist klar, aber gibt kein Argument gegen die Möglichkeit der epistemologischen Reduktion her.

VII.

Damit kommen wir zu einem Sachverhalt, der für die Debatte um die epistemologische Reduktion von Biologie auf Physik und Chemie wesentlich ist, aber bisher vielleicht nicht ausreichend expliziert worden ist. Er besteht im Kern in der unterschiedlichen methodischen Stellung von Anfangs- und Randbedingungen in Physik und Chemie einerseits und der Biologie – jedenfalls, wenn sie sich nicht auf funktionelle Fragen beschränkt – andererseits. In Physik und Chemie sind die besonderen Anfangs- und Randbedingungen, unter denen ein bestimmtes empirisches Gesetz Geltung hat, zu einem großen Teil vom Experimentator selbst hervorgebracht. Geht es nun um eine Erklärung dieses empirischen Gesetzes mittels eines allgemeineren Gesetzes oder einer Theorie, so sind diese Anfangs- und Randbedingungen selbst nicht naturwissenschaftlich erklärungsbedürftig: der Experimentator hat sie selbst wissentlich-willentlich hergestellt, und das muß nicht erklärt werden. Infolgedessen können diese Anfangs- und Randbedingungen, zusammen mit dem allgemeineren Gesetz oder der allgemeineren Theorie, unproblematisch als Prämissen der Erklärung fungieren. Kurz: im Fall experimentell herstellbarer Anfangs- und Randbedingungen, was der typische Fall in der *Labor-Physik* und der *Labor-Chemie* ist, sind *epistemologische Reduktion und Erklärung identisch*. Poppers Aufsatz macht aber deutlich, daß schon in Physik und Chemie epistemologische Reduktion und befriedigende Erklärung sich nicht immer decken: das ist genau dann der Fall, wenn die Anfangs- und Randbedingungen nicht beliebig manipulierbar sind, sondern als Resultat gewisser historischer Prozesse vorliegen: genau dann müssen diese Anfangs- und Randbedingungen eben als Resultat dieser historischen Prozesse erklärt werden. Diese Situation liegt nun in der Biologie immer vor: der Bauplan der Lebewesen, und zwar auf allen Organisationsniveaus, ist Produkt der Evolution, und es gehört mit zu den Aufgaben der Biologie zu erklären, warum gerade die Baupläne heute lebender Lebewesen heute realisiert sind, die ausgestorbener Lebewesen heute nicht mehr realisiert sind usw.. Infolgedessen *decken sich in der Biologie epistemologische Reduktion und Erklärung i.a. nicht*: denn wenn man sich nicht auf funktionelle Fragen beschränkt, dann sind eben die jeweiligen Baupläne, d.h. die Anfangs- und Randbedingungen selbst erklärungsbedürftig.

Daraus sieht man, daß die Frage der Autonomie der Biologie, die ja ein wesentliches Motiv der Reduktionismus-Diskussion war und ist, gar

nicht primär anhand der Reduktionismusprobleme diskutiert werden sollte, jedenfalls solange die allermeisten Biologen ontologische Reduktionisten sind. Denn weder mit der (evtl. richtigen) Behauptung noch mit der (evtl. richtigen) Leugnung des epistemologischen Reduktionismus wird die Eigenart der Biologie, und insbesondere ihr Verhältnis zur Physik und Chemie, ausreichend beschrieben. Das Charakteristikum der Biologie im Unterschied zu Physik – jedenfalls, wo sie nicht mit der Kosmologie verschmolzen ist – und Chemie besteht darin, daß *bei den typischen biologischen Erklärungen, die sich nicht auf die Erklärung funktioneller Zusammenhänge beschränken, auf historische Tatsachen zurückgegriffen werden muß*, nämlich bestimmte vergangene Geschehnisse auf der Erdoberfläche.

Wie aber steht es nun mit der Gesamtposition 4 in Sachen Reduktionismus? Wir haben zwar gesehen, daß zur Verteidigung der Autonomie der Biologie diese Frage nur sekundäre Bedeutung hat. Aber die Frage ist dennoch grundsätzlich interessant. Wenn ein bestimmtes biologisches System ausschließlich aus Atomen und Molekülen aufgebaut ist, können dann alle Begriffe, die zur Beschreibung des biologischen Systems notwendig sind, im Prinzip mittels physikalisch-chemischer Begriffe neu definiert, und könne dann im Prinzip alle biologischen Gesetze dieses biologischen Systems aus physikalisch-chemischen Gesetzen *und der vollständigen Kenntnis des Aufbaus dieses biologischen Systems* deduziert werden? Wichtig ist dabei, daß die Frage lautet, ob diese logischen Verbindungen *im Prinzip* bestehen oder nicht. Daß faktisch diese epistemologische Reduktion wohl nirgends durchgeführt ist, und daß sie – falls möglich – unsäglich kompliziert wäre, und daß sie für die Biologie vielleicht nur von sehr begrenztem Erkenntniswert wäre, tut nichts zur Sache.

Die Argumente, die wir diskutiert haben, reichen zur Begründung der Gesamtposition 4 nicht aus. Was man eigentlich für die argumentative Stützung von Gesamtposition 4 benötigt, ist ein *überzeugendes Beispiel aus der Biologie* (und nicht aus der Welt des Menschen), bei dem sichtbar wird, daß tatsächlich die vollständige Kenntnis der Komponenten und ihrer Gesetze, sowie die Kenntnis des Bauplans prinzipiell unzureichend sind, um das Ganze zu beschreiben und seine Gesetze abzuleiten.

Danksagung. Ich danke den Zürcher und Berner Biologen, mit denen ich philosophische Probleme der Biologie diskutieren konnte, insbesondere Eric Kubli.

Literatur

- Ayala, F. 1974: Introduction. In: Ayala/Dobzhansky 1974.
- Ayala, F., T. Dobzhansky (eds.) 1974: *Studies in the Philosophy of Biology. Reduction and Related Problems* (Univ. of California Press, Berkeley, 1974)
- Hempel, C. 1966: *Philosophie der Naturwissenschaften* (dtv, München, 1966)
- Lorenz, K. 1973: *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens* (Piper, München, 1973)
- Lorenz, K. 1978: *Vergleichende Verhaltensforschung. Grundlagen der Ethologie* (dtv, München, ²1982)
- Macke, W. 1962: *Mechanik der Teilchen, Systeme und Kontinua. Ein Lehrbuch der theoretischen Physik* (Geest & Portig, Leipzig, ²1964)
- Mayr, E. 1982: *The Growth of Biological Thought. Diversity, Evolution, and Inheritance* (Belnap, Cambridge, 1982)
- Nagel, E. 1961: *The Structure of Science. Problems in the Logic of Scientific Explanation* (Routledge, London, 1961)
- Popper, K. 1972: *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach* (Clarendon, Oxford, ⁶1981)
- Popper, K. 1974: *Scientific Reduction and the Essential Incompleteness of All Science*. In: Ayala/Dobzhansky 1974.

Dr. P. Hoyningen-Huene
Registr. 47
CH-8006 Zürich