

Einführung

Irreversibilität und Zeit, Evolution und Fortschritt

Fragen der Evolution wurden vornehmlich in Wissenschaftszweigen außerhalb der Physik behandelt, in denen langfristige Veränderungen und damit Geschichtlichkeit augenfällig sind. Diese sind die Biologie, speziell die Paläontologie, die Geologie und - sehr viel älter - die Geschichtsschreibung des Menschen. Das Bewußtwerden von Geschichtlichkeit von Zuständen ist an die Überlieferung von Zeugnissen, aber auch an den Wunsch der in eine Richtung führenden Zeitreihe von Ereignissen gebunden. Dieses setzte in der Geschichte der abendländischen Menschen bereits mit dem Alten Testament ein. Naturgeschichtliche Fossilien als Beweis für eine Evolution der Natur weit über den von der Theologie vorgegebenen zeitlichen Rahmen hinaus wurden hingegen erst mit dem Beginn des 19. Jahrhunderts beachtet.

So ist das Evolutionsdenken in den Naturwissenschaften noch relativ jung, strahlte aber bereits Ende des 19. Jahrhunderts auch auf die Geistes- und Sozialwissenschaften aus. Ebenfalls in dieser Periode begann man in der Physik auf das Phänomen der Irreversibilität aufmerksam zu werden, das wie die Evolution geeignet ist, einen 'Zeitpfeil' zu konstruieren. Zunächst auf die reine Wärmelehre bezogen, wurde die Irreversibilität nach und nach als empirische Tatsache in praktisch allen Naturphänomenen konstatiert. Der Streit um die Begründung dieser Erfahrungstatsache, begonnen durch Boltzmann (1844-1906) und Ostwald (1853-1932), hält bis heute unvermindert an.

Es lassen sich in dieser Frage wohl drei Grundpositionen unterscheiden: Boltzmann zeigte am Modell des idealen Gases, daß sich trotz einer reversiblen mikroskopischen Dynamik auf Grund eines entsprechend präparierten 'unwahrscheinlichen' Anfangszustandes eine Folge von Zuständen entwickelt, die den Ausgangszustand praktisch nicht mehr erreicht. Damit verbunden ist die monotone Zunahme der Entropie.¹ Boltzmann's Zeitgenosse Wilhelm Ostwald hingegen postulierte die Irreversibilität in dissipativen Prozessen schlicht als Erfahrungstatsache, die er auf Grund seines 'materiefreien' Energetikkonzeptes auch nicht weiter hinterfragte.² Vor etwa zwei Jahrzehnten versuchte nun Prigogine, die mikroskopische Reversibilität der statistischen Mechanik durch die Aufhebung der klassischen Trajektorien im Makrobereich - analog zur Quantenmechanik - zu beseitigen. Da durch ist die Irreversibilität allen Geschehens nicht mehr von einer passend gewählten Anfangsbedingung abhängig³.

Die Evolution erweist sich als zusammengesetztes Phänomen aus stetigen Veränderungen, qualitativen Sprüngen und vor allem Verzweigungen. Lange Zeit war die Physik auf die Beschreibung kontinuierlicher Veränderungen beschränkt. Die heutige Physik der Selbstorganisationsprozesse ermöglicht es nun, Diskontinuitäten in Form 'spontaner' Strukturbildungsvorgänge, die in Form einer Kette aufeinanderfolgen können, zu beschreiben. Ein Modell der Evolution bestünde also in der Aufeinanderfolge von Selbstorganisationsvorgängen in offenen Systemen, die zu den thermodynamischen Voraussetzungen der Evolution zählen. Ein hinreichendes Angebot an freier Energie ist also die *causa efficiens* der Evolution.

Ein Schwerpunkt des vorliegenden Jahrbuches liegt auf der Wechselbeziehung zwischen der biologischen Evolutionstheorie einerseits und der naturwissenschaftlichen Selbstorganisations-

theorie andererseits. Die Untersuchung dieser Beziehung kann ein erhebliches Erkenntnispotential enthalten, da beide Theoriekomplexe voneinander Anregungen erhalten können.

Lange Zeit existierte der Widerspruch zwischen dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, welcher das Anwachsen der Entropie im geschlossenen System forderte, und der Tatsache der biologischen Evolution, welche zu immer größerer Komplexität führte. Anfang der siebziger Jahre formulierte Prigogine einen Ansatz zur Lösung dieses Widerspruchs, indem er erstens feststellte, daß der Zweite Hauptsatz eben nur für geschlossene Systeme gilt - während alle Lebewesen offene Systeme darstellen - und zweitens den prinzipiellen Weg wies, wie sich Ordnung und Komplexität in offenen Systemen erhöhen können: Entropieexport kann zu spontaner Selbstorganisation führen.⁴ Erstaunlicherweise wurde diese neue Entwicklung aber von der Seite der Evolutionsbiologen kaum wahrgenommen. So werden Schlüsselvorgänge der Evolution, wie z.B. die Artbildung, weiterhin als Resultat einer Fremdorganisation angesehen (nur die geographische oder ökologische Trennung von Subpopulationen einer Art führt nach Mayr zur Speziation).

Andererseits sind alle bisher untersuchten physikalischen und chemischen Modelle und Modellsysteme der Selbstorganisationstheorie in vielen Punkten zu einfach, um die Komplexität der biologischen Evolution und der Entwicklungsprozesse adäquat beschreiben zu können. Das trifft auch auf das dynamische Chaos zu. Erste Ansätze zu komplexeren Modellen zeigen sich aber mittlerweile in der sogenannten „Komplexitätstheorie,⁵“ - die allerdings noch weit davon entfernt ist, eine geschlossene Theorie zu sein, und die häufig mit zu abstrakten mathematischen Modellen arbeitet.

Es wäre demzufolge von Interesse, durch die Konfrontation mit den Begriffen der Selbstorganisationstheorie (und der Komplexitätsforschung) viele Positionen der biologischen Evolutionstheorie zu hinterfragen. Denn eine aktuelle Analyse des Diskussionsinnerhalb der biologischen Evolutionstheorie zeigt, daß die sogenannte „Moderne Synthese,“ des Darwinismus keineswegs alle grundlegenden Phänomene der biologischen Evolution zu erklären vermag. Obwohl vieler Grundpositionen von Darwin und der modernen Genetik wohl immer Bestandteil einer seriösen Evolutionstheorie bleiben werden, gibt es aber auch strittige Fragen. Da ist zum Beispiel die Theorie der sprunghaften Evolution von Gould und Eldredge⁶, welche viele paläontologische Daten viel besser zu beschreiben vermag und zudem mit den Bifurkationsprozessen in der Selbstorganisationstheorie leicht in Einklang zu bringen ist. Oder andererseits gibt es die sehr populäre Theorie der Soziobiologie, welche (besonders in ihren populärwissenschaftlichen Veröffentlichungen) nichts anderes zu sein scheint, als die Wiedergeburt des alten Sozialdarwinismus mit Hilfe der modernen Genetik. Dabei würde eine kritische Analyse der Dynamik von Vererbungsprozessen, welche nur unter Zuhilfenahme von Ideen der Selbstorganisationstheorie möglich wäre, mit aller Wahrscheinlichkeit zeigen, daß die Vererbung selbst viel komplexer abläuft, als es uns die Soziobiologie glauben machen will. Historisch gesehen zeigt sich allerdings, daß es natürlich schon lange alternative wissenschaftliche Erklärungen der biologischen Evolution gab, welche man als Vorläufer der Selbstorganisationstheorie betrachten könnte. Da ist vor allem der kybernetische Ansatz von Schmalhausen⁷ zu nennen, oder die Ideen zur Evolutionstheorie von Wolkenstein⁸.

Möglicherweise wird sich zeigen, daß die Idee von der Koevolution von verschiedenen Arten und ihrer gemeinsamen Umwelt ein Erklärungspotential in sich birgt, welches einerseits die etwas zu lineare und zu "blinde" Evolutionstheorie durch eine komplexere Theorie zu ersetzen

vermag, andererseits aber einen Weg zu einer mehr biologischen Selbstorganisationstheorie zu weisen verspricht.

Bereits bei der physikalischen Beschreibung von Evolutionsvorgängen, mehr aber noch bei der Anwendung von Methoden der Selbstorganisationstheorie auf die biologische Evolution, tritt eine Reihe von offenen Fragen auf, die in diesem Band thematisiert werden. Sie lassen sich zwei großen Themenkomplexen zuordnen:

- I. *Reversibilität, Irreversibilität und Fortschritt*
- II. *Moderne Entwicklungen der biologischen Evolutionstheorie. Selbstorganisation und Evolution*

Folgende Fragenkomplexe seien an dieser Stelle genannt:

1. Die Frage nach der Richtung jeglichen Geschehens. Die im 19. Jahrhundert bei vielen Naturphänomenen entdeckte Irreversibilität war ein Fortschritt gegenüber dem reversiblen Denken der klassischen Mechanik. Beispiele für solche 'nichtklassischen' Phänomene sind chemische Reaktionen, Reibungs- und Wärmeleitungsvorgänge. Entscheidend war die Verallgemeinerung auf *alle* Naturvorgänge, die als irreversibel gedacht wurden. Die nächste Stufe der Verallgemeinerung war die Konstruktion eines Zeitpfeils, der von der Irreversibilität aller Naturphänomene getragen wird. Dies war eine unabhängige Konstruktion im Gegensatz zu der *in sich* fließenden Zeit, die von Newton⁹ als Rahmen aller 'darin' ablaufenden Prozesse postuliert worden war. Diskussionen in der neueren Zeit zeigen, daß die Suche nach dem irreversiblen 'Urphänomen' etwa auf der Ebene der nichtlinearen Dynamik noch nicht abgeschlossen ist.¹⁰ Andererseits ist auch die These denkbar, daß die Gerichtetheit der Prozesse nur eine subjektive Erfahrungstatsache ist, die sich aus einzelnen, voneinander durchaus unabhängigen Phänomenen speist und sich daraus als *Konstrukt* aufbaut. So ist es nach Teilhard de Chardin (1881-1955) der *Blick* des Menschen, der aus einer zusammenhangslosen Folge von Ereignissen eine allgemeine Richtung zu erkennen vermag.¹¹ In der theoretischen und mathematischen Physik wird schon seit langem versucht, im Rahmen der sogenannten „Begründungsproblematik der statistischen Physik“¹² eine definitive Antwort auf diese Frage zu finden.
2. Auch bei der Evolution ist es oftmals schwierig, über längere Zeiträume eine Richtung zu erkennen. Etwas populärer formuliert, handelt es sich um die Frage des Fortschritts im Sinne einer allgemeinen Höherentwicklung, einer allgemeinen Verbesserung. Bei sozialen Phänomenen ist diese Frage ganz offensichtlich nichttrivial und von subjektiven, ja ideologischen Bewertungsmaßstäben abhängig. Auch in der Biologie und Physik gibt es kaum einheitliche oder nicht-anthropogene Maßstäbe für die Bewertung einer Entwicklung. Bei linearen Wachstumsprozessen, etwa beim Wachsen einer osmotischen Zelle oder der Zunahme einer Populationszahl können wir einfache numerische oder geometrische Parameter gegen die 'Zeit' verfolgen. Schwieriger wird es bei der Bewertung mit abstrakteren Größen, etwa 'Komplexität' oder 'Einfachheit' oder gar ästhetische Qualität eines anorganischen Gebildes oder Lebewesens. Ein weites Feld ist die Definition von Entropiegrößen als Maß für Komplexität.

3. Evolution ist oftmals durch gleichzeitig ablaufende, offenbar gegenläufige Prozesse gekennzeichnet. In der Biologie scheint der Zeitpfeil der Evolution durch eine stetig zunehmende Artenvielfalt und Komplexität der Organismen gekennzeichnet zu sein. Gleichzeitig beobachten wir aber in der heutigen Zeit eine rapide Abnahme der Artenanzahl auf der Erde. Und dies bei unverminderter Zufuhr an freier Energie zum Ökosystem Erde. Generell lassen sich in der Entwicklungsgeschichte der Lebewesen verschiedene Phasen unterscheiden, die in unregelmäßiger Folge einander abwechseln: Neben der Phase der „normalen“ Evolution gibt es explosionsartige Phasen, bei denen in geologisch kurzer Zeit eine ungeheure Anzahl neuer Arten entstanden ist, und daneben Phasen des katastrophemäßigen Aussterbens ganzer biologischer Taxa. Ist die Selbstorganisationsidee in der Lage, hier zu neuen Erklärungsmöglichkeiten zu verhelfen?
4. Evolution ist einerseits durch Diskontinuitäten gekennzeichnet, indem sie als Folge von Evolutionssprüngen - abgegrenzt durch dynamische oder strukturelle Instabilitäten - aufgefaßt wird. Damit ist die 'Richtung' der Evolution im Sinne zunehmender Komplexität oder Vielfalt noch nicht eingeschränkt. Diskontinuitäten 'zweiter Ordnung' können aber auch als interne Katastrophen in der Evolution auftreten, ohne daß sich die äußereren Bedingungen - im Sinne äußerer Katastrophen - dramatisch ändern müssen. Ein einfaches Beispiel hierfür sind die Fenster im Chaos. Mechanismen solcher internen Katastrophen, die mit dramatischen Strukturvereinfachungen einhergehen, sind bislang noch wenig untersucht.

Bei der Konzeption dieses Bandes wurden die eben genannten Fragen ‘rhetorisch’ an die beteiligten Autoren gerichtet. Der Leser wird erkennen, wie in den vorliegenden Beiträgen eine Koinzidenz zwischen den von uns gestellten Fragen und den von den Autoren ohnedies bearbeiteten Problemen vorliegt. Die ersten vier Aufsätze des Bandes widmen sich dem Komplex ‘Irreversibilität und Zeit’, die folgenden dem Thema ‘Evolution und Fortschritt’. Als Edition erscheint die Autobiographie eines Pioniers der Selbstorganisationsforschung, Raphael Eduard Liesegang (1869-1947) aus dem Jahre 1945, die uns anhand des Lebens dieses Forschers einen Einblick in die Wissenschaftsgeschichte des bald hinter uns liegenden Doppeljahrhunderts gewährt.

Hans-Jürgen Krug und Ludwig Pohlmann.

Fußnoten

-
1. *Ludwig Boltzmann*, Weitere Untersuchungen über das thermische Gleichgewicht zwischen Gasmolekülen, in: *Sitzungsber. Math.-Naturwiss. Kl. Kaiserl. Akad. Wiss. Wien*, 66 (1872), S. 275.
 2. *Wilhelm Ostwald*, Das Problem der Zeit (1898), in : Abhandlungen und Vorträge allgemeinen Inhalts, Leipzig 1904, S. 241-257.
 3. *Ilya Prigogine*, Vom Sein zum Werden, München 1979, Kap. VIII, S. 186 ff. Zur aktuellen Diskussion dieses Konzeptes vgl. *J. Bricmont*, Science of Chaos of Chaos of Science? In: P.R. Gross, N. Levitt, and M.W. Lewis (Eds.), *The Flight from Science and Reason*, (Ann. New York Acad. Sci.), New York 1996, p. 131-175.
 4. *Paul Glansdorff / Ilya Prigogine*, Thermodynamic Theory of Structure, Stability, and Fluctuations, London 1971.
 5. Vgl. *M. Mitchell Waldrop*, *Inseln im Chaos. Die Erforschung komplexer Systeme*, Reinbek 1993; *Roger Lewin*, Die Komplexitätstheorie. Wissenschaft nach der Chaosforschung, Hamburg 1993.
 6. *Nils Eldredge / Stephen J. Gould*, Punctuated Equilibria: An Alternative to Phyletic Gradualism. in: T.J.M. Schopf (Ed.), *Models in Paleobiology*, San Francisco 1972, p. 82-115; *Stephen J. Gould / Nils Eldredge*, in: *Paleobiology*, 3 (1977), p. 115-151.
 7. *I. Schmalhausen*: Factors of Evolution. The Theory of Stabilizing Selection, Philadelphia 1949.
 8. *Mikhail V. Volkenstein*, Physical Approaches to Biological Evolution, Berlin u. a. 1994.
 9. *Isaac Newton*, *Philosophiae naturalis principia mathematica*, Ed. III, London 1726.
 10. Vgl. *J. Bricmont* (FN 3).
 11. *Pierre Teilhard de Chardin*, Der Mensch im Kosmos, Berlin 1966, S. 15 ff.
 12. Vgl. *Michael C. Mackey*, *Time's Arrow: The Origins of Thermodynamic Behavior*, New York 1992.