

# Umwelt und organische Form: Technowissenschaftlicher Zugang zur Historizität der Evolution

## Abstract

Diese Studie geht davon aus, dass die technische Beschreibung von Lebewesen — etwa im Sinne der Funktionalität von selektierten Merkmalen — zu einem technischen Prozess der Formbildung oder Morphogenese führt, was wiederum einen Begriff der Evolutionsbiologie als einer historischen Technowissenschaft impliziert. In diesem Zusammenhang nimmt auch die Idee der Steuerung des Formbildungsprozesses eine leicht zu übersehende Bedeutung an. Insofern diese zeitlich dimensionierten Steuerungsprozesse der Formgebung nur durch technische Mittel zugänglich und manipulativ verfügbar sind, soll ein erweiterter Begriff technowissenschaftlicher Praxis entwickelt werden – einer, der in der Lage ist, die Beziehung zwischen Wissen und Können auch bei den bio-historischen Disziplinen, wie der Evolutionstheorie, zu konzeptualisieren.

Point of departure of this essay is the technical description of living things in terms of the functional meaning of selected features. This leads to a technical characterization of biological morphogenesis as well as to the identification of evolutionary biology as historical technoscience. In this context, the idea of controlling and forming morphological features assumes a central importance. Since organismal forms are only accessible and manipulatively available only through technical means and result from broader phylogenetic and historical processes, an expanded concept of techno-scientific practice will be proposed. This concept will take into account the relationship between biological knowledge production and biologists' capability of control, produce, and technically manipulate bio-historical forms.

»There is a sentiment that a knowledge of development will give us greater insight into mechanisms of evolution and that a knowledge of evolution will give us insight into mechanisms of development.«<sup>1</sup> Mit diesen Worten äußert sich der Evolutionsbiologe John Tyler Bonner im Jahre 1981 auf dem Workshop »Development and Evolution«, der als Begründungstagung der evolutionären Entwicklungsbiologie, kurz Evo-Devo, gilt. Damit wollte Bonner wohl die Richtlinien eines neuen Forschungsprogramms in der Biologie skizzieren. Und in der Tat bahnte der angekündigte Fokus auf die Dynamiken der Entwicklung den Weg für neue Einsichten in die Erläuterung evolutionärer Mechanismen. Das Darwin'sche Erklärungsmodell von Variation und Selektion, das bis in die 80er Jahre hinein als Grundschema der Evolution und Entstehung neuer morphologischen Formen diente, wurde damit erweitert:

---

1 John T. Bonner: *Evolution and Development. Dahlem Konferenzen*, Berlin, 1982, S. 4.

»Two causal processes interact in the generation of organismal form: development and evolution«.<sup>2</sup>

Diese Erweiterung löste eine lebhafte Debatte bezüglich der steuernden Mechanismen morphologischer Formen aus, weil diese die zentrale Rolle der Umwelt, unter anderem chemische und physikalische Faktoren, wieder ins Spiel brachten – was manche Biologen und Philosophen sogar dazu veranlasste, die Strukturen der Modernen Synthese der Biologie, d.h. die während der 30er und 40er Jahre des 20. Jahrhunderts durchgeführte Erweiterung der Evolutionstheorie von Charles Darwin durch die Ergebnisse der Genetik,<sup>3</sup> radikal zu überdenken.<sup>4</sup> In der Tat griff diese Erweiterung einen tief verwurzelten historischen Prozess auf, der sich bis dahin in zwei verschiedenen Forschungsfeldern manifestierte: Die während der 80er Jahre initiierten Untersuchungen der Dynamiken von katastrophalen Ereignissen, wie dem Massenaussterben,<sup>5</sup> sowie die Aufdeckung der sogenannten epigenetischen Prozesse.<sup>6</sup> Der Erkenntnisgewinn aus diesen neuen Wissensbereichen lenkte die wissenschaftliche sowie allgemeingesellschaftliche Aufmerksamkeit auf die steuernde Rolle der Umwelt bei evolutionären Prozessen: Ökologische Faktoren können die Entwicklung von Bauplänen modifizieren oder diese sogar gänzlich ausrotten.

Dieser Sachverhalt machte zwei Dinge deutlich: Einerseits verdeutlichte er das Bedürfnis, sich mit der möglichen Wechselwirkung zwischen morphologischen Veränderungen und ökologischen Faktoren auseinanderzusetzen. Anderseits zeigte dieser Sachverhalt aber auch Konflikte und Brüche zwischen unterschiedlichen evolutionstheoretischen Ansätzen auf. So fragte vor Kurzem der Evolutionsbiologe Douglas Erwin: Ist die Entstehung morphologischer Merkmale und makroevolutionärer Prozesse von einem Entwicklungsdruck (*developmental push*) oder von ökologischen Einflüssen (*ecological pull*) verursacht? Die Rolle der Umwelt – oder besser gesagt, die seit der Begründung der Modernen Synthese vernachlässigte Rückkopplung zwischen Umwelt und Entstehung morphologischer Formen – wurde demnach erneut ins Zentrum der evolutionären Debatte gestellt.

---

2 Gerd B. Müller und Stuart A. Newman: *Origination of Organismal Form. Beyond the Gene in Developmental and Evolutionary Biology*, Cambridge 2003, S. 6.

3 Stephen J. Gould: »The hardening of the modern synthesis«, in: Marjorie Green (Hg.): *Dimensions of Darwinism*, Cambridge 1983, S. 71–93; Ernst Mayr und William B. Provine: *The Evolutionary Synthesis. Perspectives on the Unification of Biology*, Cambridge 1980; Julian Huxley: *Evolution. The Modern Synthesis*, London 1942.

4 Massimo Pigliucci und Gerhard Müller: *Evolution. The Extended Synthesis*, Cambridge 2010.

5 David Sepkoski: *Rereading the Fossil Record. The Growth of Paleobiology as an Evolutionary Discipline*, Chicago 2012.

6 Ron Amundson: *The Changing Role of the Embryo in Evolutionary Thought Roots of Evo-Devo*, Cambridge 2005. »Epigenetik bedeutet so viel wie ›oberhalb der Genetik‹ mit dem Unterton ›zusätzlich zum Genom‹. Sie beschreibt Mechanismen, die zu veränderten, vererbaren Struktur- und Aktivitätszuständen des Chromatins führen, ohne die primäre Nukleotidsequenz zu verändern.« Jörn Walter und Anja Hümpel: »Einführung in die Epigenetik«, in: Reinhard Heil, u.a. (Hg.): *Epigenetik. Ethische, rechtliche und soziale Aspekte*, Wiesbaden 2015, S. 15–33.

Dieser Beitrag zielt darauf ab, einige bisher wenig beachtete Mechanismen in der Umwelt-Form-Beziehung zu untersuchen, um eine breitere Reflexion über die Grenzen und Möglichkeiten der Übertragung evolutionärer Dynamiken auf ingenieurwissenschaftlich geprägte Gestaltungsprozesse zu veranlassen: Hinter der strukturellen Ähnlichkeit zwischen Engineering und Evolution verbirgt sich das sogenannte »reverse Modellieren«. Dieser hauptsächlich von Biologen und Philosophen vertretene Technomorphismus<sup>7</sup> geht von der Lösung eines adaptiven Problems aus und »leitet aus dieser Kenntnis den Charakter des Problems ab«.<sup>8</sup> Diese Schlussfolgerung basiert auf der Annahme, dass Organismen eigentümliche morphologische Merkmale entwickelt haben, um bestimmte Aufgaben zu erfüllen: Kurz, aufgrund der natürlichen Selektion ist der Organismus an die Umwelt stets gut angepasst. Organismen seien demnach »well-designed artefacts«.<sup>9</sup> Oder, mit den Worten des Hauptvertreters der Modernen Synthese, dem Evolutionsbiologen Ernst Mayr:

»Ever since then [die Veröffentlichung Charles Darwins *Origin of Species*] it has been considered one of the major tasks of the evolutionist to demonstrate that organisms are indeed reasonably well adapted, and that this adaptation could be caused by no other agency than natural selection«.<sup>10</sup>

Der oben erwähnte Technomorphismus geht davon aus, dass Evolution mit einem technischen Problemlösungsprozess gleichzusetzen ist. Bei diesem Prozess werden Organismen durch den Mechanismus der natürlichen Selektion stets an die Umwelt angepasst sein. Auf den nächsten Seiten wird deshalb prinzipiell die Rede von einer Archäologie der neo-Darwinistischen Mechanismen sein, die während der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts theoretisiert wurden, um die Rückkoppelung zwischen genetischer Ebene, natürlicher Selektion und Umwelt zu erklären. Wie konnte man Darwinist sein und trotzdem die steuernde Rolle der Umwelt thematisieren? So lau-

7 Vgl. Christoph Hubig: *Die Kunst des Möglichen. Grundlinien einer dialektischen Philosophie der Technik*, Bd. 1: *Technikphilosophie als Reflexion der Medialität*, Bielefeld 2006, S. 98 für eine kritische Aufstellung verschiedener Technomorphismen. Siehe dazu auch Mathias Gutmann und Julia Knifka: »Biomorphic and technomorphic metaphors. Some arguments why robots don't evolve, why computing is not organic and why adaptive technologies are not intelligent«, in: Michael Decker, u.a. (Hg.): *Evolutionary Robotics, Organic Computing and Adaptive Ambience. Epistemological and Ethical Implications of Technomorphic Descriptions of Technologies*, Zürich 2015, S. 53–80.

8 Ulrich Stegmann: »Die Adaptationismus-Debatte«, in: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie. Eine Einführung*, Frankfurt am Main 2005, S. 287–303, hier S. 297; Stephen J. Gould und Richard Lewontin: »The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm. A critique of the adaptationist program«, in: *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences* 205 (1979), S. 581–598.

9 Tim Lewens: »Adaptationism and Engineering«, in: *Biology and Philosophy* 17 (2002), S. 1–31.

10 Ernst Mayr: *Toward a New Philosophy of Biology. Observations of an Evolutionist*, Harvard 1988, S. 9.

tete die Frage, die sich einige Biologen am Anfang des 20. Jahrhunderts stellten. Ihre Lösung bestand in den stabilisierenden Mechanismen.

Es wurden damals jedoch auch noch andere Technomorphismen eingeführt, um unterschiedliche Mechanismen der Formproduktion darzustellen, die allerdings nicht auf die Wirkung der natürlichen Selektion reduzierbar sind. Laut eines dieser Technomorphismen, der in der evolutionären Entwicklungsbiologie des 20. Jahrhunderts eine wichtige Rolle spielt,<sup>11</sup> findet im Laufe der Entwicklungsgeschichte eine Art Kanalisierung der Embryoentwicklung statt: Das Auftreten morphologischer Merkmale wird von dieser Kanalisierung beschränkt und gesteuert.<sup>12</sup> Ein weiterer und umstrittener Technomorphismus, der von den Verfechtern der Frankfurter Schule der Evolutionstheorie als »Konstruktionsmorphologie« vertreten und popularisiert wurde, begründet die lebendige Organisation und Konstitution der Organismen auf »hydraulische Formbildung, energiewandelnde Strukturierung und Automobilität.«<sup>13</sup> Philosoph Michael Weingarten schrieb dazu,

»mit der Konstruktionsmorphologie stimmen die modernen Systemtheorien (einschließlich der Kybernetik) darin überein, daß die Organismen in ihrer Organisation und Struktur autonom sind, also die Umwelt nicht in deterministischer Weise auf Organismen und deren Wandel wirkt. Veränderung und Entwicklung von Organismen sind – in systemtheoretischer Terminologie – strukturdeterminiert«.<sup>14</sup>

Die steuernde Rolle der Umwelt und der natürlichen Selektion soll in meinem Beitrag allerdings noch durch einen weiteren und kaum thematisierten Aspekt der Evolution erweitert werden: ihre Historizität. Diese wird uns zeigen, dass die Mechanismen der Steuerung, die den obengenannten Technomorphismen zugrunde liegen, mit der *Zeitlichkeit* von evolutionären Prozessen gekoppelt sind. Diese Verbindung bringt den Diskurs über das Steuern und Regeln in der Entfaltung morphologischer Formen auf eine andere und vielschichtigere Ebene: Auf dieser Ebene geht es um die philosophische Begründung dieser Koppelung, also sowohl um die Historizität evolutionärer Prozesse als auch um ihre technische Manipulierbarkeit. Diese historische Ebene soll analysiert und mitgedacht werden, um die »underlying principles that are universal to both biological organisms and sophisticated engineering sys-

11 Greg Gibson und Gunter Wagner: »Canalization in evolutionary genetics. A stabilizing theory?«, in: *BioEssays* 22 (2000) Heft 4, S. 372–380.

12 »In other words, for the evolutionary biologist, canalization is genetic buffering that has evolved under natural selection in order to stabilize the phenotype.« Gibson und Wagner: »Canalization in evolutionary genetics«, in: *BioEssays* 22, S. 372.

13 Wolfgang F. Gutmann: »Evolution von lebendigen Konstruktionen. Warum Erkenntnis unerträglich sein kann«, in: *Ethik und Sozialwissenschaften. Streitforum für Erwägungskultur* 6 (1995), Heft 3, S. 303–316.

14 Michael Weingarten: »Konstruktion und Verhalten von Maschinen. Zur Modellgrundlage von Morphologie und Evolutionstheorie«, in: Wolfgang Maier und Thomas Zoglauer (Hg.): *Technomorphe Organismuskonzepte: Modellübertragungen zwischen Biologie und Technik*. Stuttgart-Bad Cannstatt 1994, S. 162–173, hier S. 162.

tems« zu erfassen,<sup>15</sup> worauf beispielweise das reverse Modellieren und andere Technomorphismen abzielen.

Der Ansatz dieses Beitrags besteht darin, die obengenannten Technomorphismen mit den Merkmalen der zeitlichen Dimension der Evolution in Verbindung zu bringen und sie schließlich zu erweitern. Aufgrund der sogenannten taphonomicischen Prozesse, die die Daten der Vergangenheit zerstören und verändern, ist die Zeitlichkeit immer nur mittels technowissenschaftlicher Ansätze gegeben: Durch technische Eingriffe und Manipulationen, sei es in Form von computer-basierten Simulationen oder von Daten, die mit Hilfe von Papiertechnologien in Tabellen, Zeichnungen oder Diagrammen dargestellt sind,<sup>16</sup> ergeben sich mögliche Arbeitshypothesen für Evolutionsbiologen über den zeitlichen Ablauf der Evolution.

Ergänzend zu den Technomorphismen, die bestimmte epistemische Zugänge zur Formproduktion kennzeichnen, bedarf es daher der Untersuchung der Beziehung zwischen den erstellten Arbeitshypothesen und dem technowissenschaftlichen »Herstellen und Erkennen«<sup>17</sup> von bio-historischen Prozessen. In diesem Fall könnte dafür die von ingenieurwissenschaftlichen Methoden und Ansichten stark geprägte Evolutionstheorie mit den Überlegungen der Geschichtstheorie und -philosophie erweitert werden, um das Wechselspiel zwischen *technological Settings* und historischen Verläufen genauer zu thematisieren. Ein erweiterter Begriff von technowissenschaftlichen Praktiken und Modellen wäre für diesen Zweck noch zu konzipieren.

Zunächst werde ich kurz das Problem der Beziehung zwischen Umwelt und genotypischen Merkmalen schildern, um das klassische genzentrierte Modell der Evolutionstheorie darzustellen. Dann werde ich mich auf die erste Theoretisierung der Beziehung zwischen Umwelt und genotypischen Charakter konzentrieren. Dafür werde ich die von den Biologen Ivan Ivanovich Schmalhausen (1884–1963) und Conrad Hal Waddington (1905–1975) vorgeschlagenen Mechanismen thematisieren. Anschließend werde ich die Rolle der Kontingenz bei der Entstehung komplexer Baupläne einführen. Diese kann allerdings nur mittels einer technischen Beschreibung

---

15 Hiroaki Kitano: »Biological robustness«, in: *Nature Reviews Genetics* 5 (2004), Heft 11, S. 826–837, hier S. 828.

16 Marco Tamborini: »Dati, epistemologia storica e spazi di conoscenza paleontologica«, in: *Iride* 35 (2018), Heft 83, S. 49–65; Ursula Klein: »Technoscience avant la lettre«, in: *Perspectives on Science* 13 (2005), Heft 2, S. 226–266; Marco Tamborini: *Technoscientific approaches to deep time*, eingereicht und in Begutachtung.

17 Vgl. Alfred Nordmann: »Im Blickwinkel der Technik. Neue Verhältnisse von Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte«, in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 35 (2012), S. 200–216. Über die Strukturen und epistemischen Ansprüche der Technowissenschaften siehe Alfred Nordmann: »Was ist TechnoWissenschaft? Zum Wandel der Wissenschaftskultur am Beispiel von Nanoforschung und Bionik«, in: Torsten Rossmann und Cameron Tropea (Hg.): *Bionik. Aktuelle Forschungsergebnisse in Natur-, Ingenieur- und Geisteswissenschaft*, Heidelberg 2005 und Bernadette Bensaude-Vincent, u.a. (Hg.): »Matters of interest: the objects of research in science and technoscience«, in: *Journal for general philosophy of science* 42 (2011), Heft 2, S. 365–383.

von Organismen thematisiert werden. Zum Schluss werde ich die Historizität der evolutionären Prozesse mit der steuernden Rolle der Umwelt bzw. mit der natürlichen Selektion in Verbindung bringen um die Erweiterung des Fokus der technowissenschaftlichen Analyse auf die Evolutionstheorie zu begründen.

### *Umwelt und nicht-neo-Lamarckische Mechanismen: Der Baldwin-Effekt*

Die Beziehung zwischen Umwelt und Entstehung möglicher organischer Formen war immer umstritten. Obwohl Charles Darwin einen einfachen Mechanismus (Variation und Selektion) vorschlägt, der die Entstehung und Umwandlung von organischen Formen erklärbar macht, zeigte er selbst auf, dass dieser Mechanismus nicht immer in der Lage ist, die Entwicklung von morphologischen Merkmalen zu erklären. So schrieb er in seinem *Origin of Species* (1859), dass manche morphologischen Merkmale »originated from quite secondary causes, independently from natural selection«.<sup>18</sup> Diese Feststellung bahnte den Weg zu der sogenannten Eklipse des Darwinismus: Zwischen Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts wurden verschiedene neo-Lamarckische Theorien aufgestellt, um die Anpassung des Organismus an die Umwelt sowie die Entstehung dementsprechender neuer morphologischer Merkmale zu erklären. Diese Theorien stellten die Fähigkeit des Organismus, sich an die Umwelt aktiv anzupassen, in den Fokus und schoben dabei die Rolle der natürlichen Selektion zur Seite.<sup>19</sup> Eine innere Kraft innerhalb des Organismus sollte der Entfaltung organischer Formen zugrunde liegen.<sup>20</sup>

Während der 1930er und 1940er Jahre wurde der Darwinismus mit den Ergebnissen der Genetik synthetisiert. Mit dem Ziel, eine zweite Eklipse des Darwinismus abzuwenden, wurde während der sogenannten Modernen Synthese der Biologie ein starker Fokus auf die natürliche Selektion sowie auf die genetischen Faktoren der Morphogenese und der Entwicklung der Arten gelegt. In der Tat behaupteten die selbsternannten »Architekten« der Modernen Synthese, dass »all the processes and phenomena of macroevolution and the origin of the higher [Linnaean] categories can be traced back to intraspecific variation«<sup>21</sup> und der Genetiker Theodor Dobzhansky (1900–1975) schrieb,

---

18 Charles Darwin: *On the Origin of Species*, Cambridge 1964.

19 Vgl. Peter J. Bowler: *The Eclipse of Darwinism: Anti-Darwinian Evolutionary Theories in the Decades around 1900*, Baltimore, London 1983.

20 Edgar Dacqu : *Organische Morphologie und Paléontologie*, Berlin 1935; William Bateson: *Mendel's Principles of Heredity*, Cambridge 1909; Hans Driesch: *Der Begriff der organischen Form*, Berlin 1919.

21 Mayr, Ernst: *Systematics and the origin of species*, New York 1942, S. 298.

»there is no way toward an understanding of the mechanisms of macroevolutionary changes, which require time on a geological scale, other than through a full comprehension of the microevolutionary processes [...] we are compelled [...] to put a sign of equality between the mechanisms of macro- and micro-evolution«.<sup>22</sup>

Der Fokus der Modernen Synthese lag demnach darauf, die möglichen Anpassungen des Organismus an die Umwelt auf selektierte Veränderungen in der genetischen Basis desselben zurückzubringen: Die Historizität bei der Entstehung der Formen spielte bei dieser Konzeptualisierung keine Rolle. Oder wie Stotz es zusammenfasste:

»Evolutionäre Veränderungen werden durch Selektion erklärt, indem extreme Lebensbedingungen unter verschiedenen Individuen die am besten angepassten auswählen. Zufällige Mutationen und Rekombinationen von Genen verursachen Variationen phänomenologischer Eigenschaften, die ein von der Umwelt gestelltes Problem mehr oder weniger gut meistern und damit die Fitness ihres Trägers beeinflussen«.<sup>23</sup>

In der Mitte der ersten Eklipse des Darwinismus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts lassen sich jedoch einige Beispiele finden, die die Entstehung neuer von der Umwelt geprägter morphologischer Merkmale allein durch die natürliche Selektion begründen, ohne allerdings die steuernde Rolle der Umwelt beiseite zu lassen. Das berühmteste Beispiel dafür ist der US-amerikanische, aber beim deutschen Psychologen W. Wundt ausgebildete, Wissenschaftler James Mark Baldwin (1861–1934).

Im Jahr 1896 publizierte Baldwin einen wichtigen Aufsatz, in dem er seine mögliche Lösung für das Hauptproblem der damaligen Biologie formulierte: Da Organismen und Umwelt fest gekoppelt sind, welche Beziehung und Wechselspiel gibt es zwischen diesen Polen? Kann die Umwelt allein phänotypische Veränderungen steuern und regeln, wie die Neo-Lamarckisten behaupteten, oder spielt die natürliche Selektion die Hauptrolle? Und wie werden die von der Umwelt geprägten Merkmale vererbt?

Baldwins Lösung plädierte für die zentrale Rolle der natürlichen Selektion bei der Sicherung und Weiterführung solcher morphologischen Änderungen. Er theoretisierte eine »organische Selektion«, die in der Lage sein sollte, die erworbenen und nicht unmittelbar vererbaren Merkmale in genetische und deshalb vererbare Merkmale umzuwandeln. Organische Selektion findet bei den Organismen statt, die an die Veränderungen der Umwelt am besten angepasst sind.

Wie der Evolutionsbiologe und Hauptvertreter der Modernen Synthese George Gaylord Simpson (1902–1984) in einem im Jahr 1953 publizierten Artikel zusammenfasste, geht es bei dem sogenannten Baldwin Effekt darum: »Characters individu-

22 Theodor Dobzhansky: *Genetics and the Origin of Species*, New York 1951, S. 16–17.

23 Karola Stotz: »Geschichte und Positionen der evolutionären Entwicklungsbiologie, in: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie. Eine Einführung*, Frankfurt am Main 2005, S. 125–143.

dually acquired by members of a group of organisms may eventually, under the influence of selection, be reenforced or replaced by similar hereditary characters«.<sup>24</sup>

In denselben Jahren prägte der Deutsche Biologe Richard Woltereck (1877–1944) in seinem *Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphniden* (1909) den Begriff der Reaktionsnorm. In seinen Experimenten über *Daphniden*, eine Gattung von Crustacea, bemerkte er, dass

»wenn wir exakt feststellen wollen, ob eine Eigenschaft sich durch kontinuierliche oder durch Sprungvariation verändert bzw. verändert hat, benutzen wir am besten quantitativ bestimmte Merkmale (z.B. Längenmaße), deren Variation zahlenmäßig festgelegt werden können«.<sup>25</sup>

Er entschied sich infolgedessen, die mögliche Variation des Merkmals ›Kopfhöhe‹ der Organismen der Gattung *Daphnien* zu messen. Bei der Berechnung des Mittelwerts der Phänotypusvariation in einer natürlichen Population stellte er fest, dass in verschiedenen Jahreszeiten »bei vielen Daphnien ganz andere Kopfhöhen im Frühjahr, in Hochsommer und im Herbst-Winter« zu finden sind.<sup>26</sup> Darüber hinaus bemerkte er, dass diese Phänotypreaktion auf demselben Genotyp bei unterschiedlichen Umweltfaktoren oder Ernährungslagen unterschiedlich sei. Er stellte diese Änderungen graphisch dar und benannte die Plastizität des phänotypischen Ausdruckes in Bezug auf unterschiedliche Umweltfaktoren »Reaktionsnorm«.<sup>27</sup>

### *Stabilisierende Selektion*

Wie der Wissenschaftsphilosoph Sahotra Sarkar korrekterweise bemerkte, »in sharp contrast to the West, the NoR [Reaktionsnorm] emerged as a potent conceptual tool in Soviet genetics in the 1920s«.<sup>28</sup> In der Tat wurden die grundlegenden Implikationen der Reaktionsnorm von russischen Biologen verstanden und weiter untersucht. Der russische Evolutionsbiologe Ivan Ivanovich Schmalhausen (1884–1963) leistete den entscheidenden Beitrag zu dieser Forschung. In seinem Buch *Die Evolutionsfaktoren [Faktory Evoliutzii]* (1946) war sein Ausgangspunkt wie folgt: »The depen-

24 George G. Simpson: »The Baldwin Effect«, in: *Evolution* 7 (1953), S. 110–117, hier S. 110.

25 Richard Woltereck: »Weitere experimentelle Untersuchungen über Artveränderung, speziell über das Wesen quantitativer Artunterschiede bei Daphniden«, in: *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft* 19 (1909), S. 110–172, hier S. 113.

26 Ebd., S. 121.

27 Ebd., S. 135.

28 Sahotra Sarkar: »From the *Reaktionsnorm* to the Adaptive Norm: The Norm of Reaction, 1909–1960«, in: *Biology and Philosophy* 14 (1999), S. 235–252, hier S. 243.

dence of individual development upon certain environmental factors is a truism».<sup>29</sup> Aber – wie Schmalhausen weiter zu bedenken gab – obwohl diese Abhängigkeit irgendwie eine Binsenweisheit ist, wären die Mechanismen dieser Beziehung noch im Einzelnen zu untersuchen. Schmalhausen konzipierte daher eine Erweiterung des Begriffs der natürlichen Selektion. Dieser sollte nicht mehr als ein Mechanismus gedacht werden, der nur in der Lage war, einzelne Merkmale auszusieben. Er stellte dagegen fest, dass die natürliche Selektion eine »integrierende Bedeutung« habe. Diese operiere mit »komplexen individuellen Variationen« und ergebe »eine beständige Ganzheitsform der Organisation«.<sup>30</sup>

Darüber hinaus unterschied er zwischen dynamischen und konservierenden Aspekten der natürlichen Selektion. Während die dynamischen Aspekte den Organismus nach den von der Umwelt geprägten neuen Aspekten umgestalten, sind die stabilisierenden Aspekte der natürlichen Selektion, »die zur Herstellung neuer Typen der Ontogenese führt«, in der Lage, »die Formbildung [...] als geschützter vor störenden Einwirkungen« herauszustellen. Dies impliziert, dass »die Organisation unter den gegebenen Umweltbedingungen beständiger wird«.<sup>31</sup> Nach Schmalhausen sei dieser zweite Mechanismus der wichtigste, jedoch ein noch kaum untersuchter Faktor der Formumwandlung, weil dieser die Entwicklung des Organismus und seine dementsprechende Reaktionsnorm ändert, um die Umwelt zu bewältigen sowie ihre zukünftigen Stimuli vorherzusehen.

Wie aber findet dieser Prozess tatsächlich statt? Schmalhausens Ausgangspunkt war die von Baldwin untersuchte Reaktionsnorm. Er schrieb, dass diese »eine große Bedeutung für das allgemeinen Problem der Biologie«<sup>32</sup> habe und definierte diese als »umweltabhängige individuelle Veränderungen, d.h. Modifikationen, in streng bestimmter Ausprägung, die charakteristisch für die entsprechende Art der Organismen« sind.<sup>33</sup> Er schrieb weiter dazu, »eine beliebige Modifikation bedeutet eine bestimmte Form des individuellen Reagierens, die in die Reaktionsnorm des gegebenen Organismus eingeht und als einer ihrer charakteristischen Züge erscheint«.<sup>34</sup> Nun definierte Schmalhausen diese Prozesse als selbstregulierend (»Autoregulation«):<sup>35</sup>

29 Ivan I. Schmalhausen: *Factors of Evolution. The Theory of Stabilizing Selection*, Chicago 1986 (1946), S. 6. Je nach Zusammenhang werde ich Schmalhausen teils aus der deutschen, teils aus der englischen Übersetzung zitieren.

30 Ivan I. Schmalhausen: *Die Evolutionsfaktoren. Eine Theorie der stabilisierenden Auslese*, in: Uwe Hoßfeld, u.a. (Hg.): *Wissenschaftskultur um 1900*, Bd. 7, Stuttgart 2010 (1946), S. 6.

31 Ebd., S. 6.

32 Ebd., S. 25.

33 Ebd., S. 22.

34 Ebd., S. 25.

35 Über die Beziehung zwischen Schmalhausen und Kybernetik siehe Georgy S. Levit, u.a.: »From the ›Modern Synthesis‹ to cybernetics. Ivan Ivanovich Schmalhausen (1884–1963) and his research program for a synthesis of evolutionary and developmental biology«, in: *Journal*

»Obgleich die Prozesse der individuellen Entwicklung auch von bestimmten äußeren Faktoren abhängen, so entscheidet sich doch bei diesen gegenseitigen Einwirkungen zwischen dem sich entwickelnden Organismus und der Umwelt nur die Frage nach der Einbeziehung bestimmter, für den Organismus (unter gegebenen Bedingungen) typischer formbildender Reaktionen. [...] Eine solche Entwicklung kann man als »autoregulierte« bezeichnen. Die größere oder geringere Stufe der »Autoregulation« ist charakteristisch für alle adaptiven Modifikationen und noch mehr für alle in allgemeinen »normalen« formbildenden Prozesse«.<sup>36</sup>

Diese auf die *Reaktionsnorm* selbst regulierend einwirkenden Prozesse begründen die Erscheinungen morphologischer Merkmale, die von ökologischen Faktoren geprägt sind. Z. B. zeigten verschiedene Rassen von Himalaya-Kaninchen eine unterschiedliche Reaktion auf Temperaturveränderungen (siehe Abbildung 1). Es zeigte sich eine Art von Flexibilität der Reaktion des Entwicklungssystems gemäß den Einflüssen der Umwelt: Unterschiedliche Temperaturschwellen führten bei dieser Rasse zu unterschiedlicher Pigmentation.

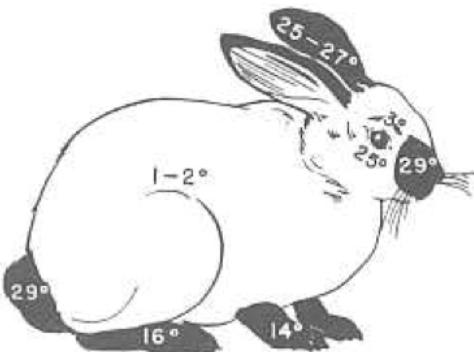


Abbildung 1: Das Bild zeigt die unterschiedlichen Temperaturschwellen der Pigmentation von Himalaya-Kaninchen (Schmalhausen, Ivan Ivanovich: *Factors of Evolution: The Theory of Stabilizing Selection*, Chicago 1986 (1946), S. 58.)

Schmalhausens brisante Schlussfolgerung war, dass

»dies alles auf die Möglichkeiten von Veränderungen der Schwellenhöhe der Reaktivität wie auch auf die individuellen Abweichungen (Mutationen) und ihre Kombinationen [hinweist], sowie auch auf das Ergebnis der natürlichen Auslese, die zur Bildung ver-

---

of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution 306 (2006), Heft 2, S. 89–106.

36 Schmalhausen: *Die Evolutionsfaktoren*, S. 20.

schiedener erblicher Form führt. Daher führen ähnliche Reaktionen auf diesem eingeschränkten Wege zu bestimmteren »Normen«, die angepasst sind an bestimmte äußere Umweltbedingungen (beispielsweise an bestimmte Temperaturgrenzen)«.<sup>37</sup>

### *Kanalisierung als nicht-Darwinistischer steuernder Mechanismus*

Schmalhausen war allerdings nicht der einzige Wissenschaftler, der bei Entstehung und Konservierung neuer Formen die Aufmerksamkeit auf die Rolle der selbstregulierenden Mechanismen lenkte. In Großbritannien vertrat der britische Entwicklungsbiologe Conrad Waddington (1905–1975) einen ähnlichen Ansatz, der allerdings nicht auf der natürlichen Selektion basierte. So bemerkte Schmalhausen selbst, dass

»Only after the re-evacuation to Moscow [...] did I have the opportunity to read the article of C. H. Waddington published in Nature in 1942. Waddington's solution is very close to ideas I had previously evolved in a series of books and articles beginning in 1938. The difference between Waddington and myself amounts to a somewhat different terminology. I employ the terms »autoregulation« and auto-regulating mechanism in approximately the same sense as Waddington uses the term canalization of development«.<sup>38</sup>

Die Fragegestellung, die Waddington in dem oben erwähnten Aufsatz aufwarf, ist typisch für die Biologie der 1940er Jahre: Inwiefern sind die Genotypen in der Lage, auf die Stimuli der Umwelt zu reagieren und sie zu streuen? Laut Waddington behaupten die Verfechter der Selektionstheorie, sprich, der Modernen Synthese, dass das Auftreten eines neuen Merkmals mit einer bestimmten Funktion eines Genes gekoppelt sei. Waddington schlägt allerdings eine weitere Lösung vor: Er schrieb,

»developmental reactions as they occur in organisms submitted to natural selection, are in general canalized. That is to say, they are adjusted so as to bring about one definite end-result regardless of minor variations in conditions during the course of the reaction«.<sup>39</sup>

Was Waddington mit Kanalisierung meinte, kann am besten mit einem Bild veranschaulicht werden.

---

37 Ebd., S. 275.

38 Schmalhausen: *Factors of Evolution*, S. xxii.

39 Conrad Waddington: »Canalization of development and the inheritance of acquired characters«, in: *Nature* 150 (1942), S. 563–565, hier S. 563.

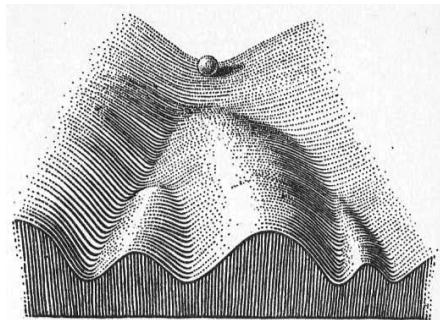


Abbildung 2: Eine der ersten Abbildungen von Waddingtons epigenetischer Landschaft (Conrad Waddington: *The Strategy of the Genes*, London 1957, S. 29).

Dieses Bild stellt eine epigenetische Landschaft dar, die die möglichen Wege beschreibt, die ein Embryo im Laufe seiner Entwicklungsgeschichte beschreiten kann. Der Ball, d. h. die Entwicklung des Embryos, sieht sich vielen Abzweigungen gegenüber. Dieser Weg ist nach Waddington kanalisiert, das besagt, dass der Phänotyp in der Lage sei, trotz der unterschiedlichen Umweltfaktoren relativ stabil zu bleiben. Oder, wie Waddington selber schrieb, Kanalisierung impliziert,

»firstly, that the convergence takes place to end states which are sharply distinct from one another; and secondly, that if while the system is moving along a certain trajectory it is pushed slightly out of its course it will tend to compensate for this disturbance and to reach eventually the same state as it would normally have done«.<sup>40</sup>

#### *Zeitlichkeit im Evolutionsprozess: Technische Manipulierbarkeit von kontingenten Mechanismen*

Allerdings, wie bereits Schmalhausen<sup>41</sup> bemerkte,

»der Organismus [hat] im Ganzen (zusammen mit seinen Funktionen) die Fähigkeit, sich in bestimmter Weise anzupassen, denn er ist das Produkt einer langen geschichtlichen Entwicklung und der mannigfaltigen, aber dennoch bestimmten Bedingungen der äußeren Umwelt«.<sup>42</sup>

40 Conrad Waddington: *The strategy of genes*, London 1957, S. 30.

41 Auch Waddington deutete auf dieselben Aspekte hin: »In the study of development we are interested not only in the final state to which the system arrives, but also in *the course by which it gets there*«. Waddington: *The strategy of the genes*, S. 26 (Hervorhebung des Verfassers).

42 Schmalhausen: *Die Evolutionsfaktoren*, S. 14.

Was jedoch ist mit »einer langen geschichtlichen Entwicklung« gemeint und wie beeinflusst diese die oben erwähnten stabilisierenden Mechanismen? Hiermit möchte ich einen weiteren Aspekt hervorbringen, der tatsächlich die mögliche Rückkopplung zwischen Umwelt, Form und selbstregulierenden Prozessen problematisiert: Die Rolle der Historizität bei den biologischen Bildungs- und Umbildungsprozessen. Wie ich zeigen werde, deutet der Fokus auf die Historizität der Evolution darauf hin, dass die Untersuchung der steuernden Mechanismen der Formproduktion gleichzeitig mit Versuchen seiner technischen Beherrschung gekoppelt ist.

Einer der ersten Biologen, der diese Ebene betonte<sup>43</sup>, war der Evolutionsbiologe Stephen J. Gould (1941–2002). In seiner Untersuchung der kambrischen Explosion des Lebens, in der fast alle der heutigen Tierstämme in einem relativ »kurzen Zeitraum« vorkamen, stellte Gould den Begriff von Kontingenz der evolutionären Prozesse ins Zentrum seiner Forschung.<sup>44</sup> Um die Rolle dieser Ebene zu veranschaulichen, schlägt er ein hypothetisches, da nicht durchführbares Experiment vor: Das Band des Lebens nochmals abzuspielen. Gould schrieb,

»Sie sorgen dafür, daß alles, was wirklich geschehen ist, gründlich gelöscht wird, drücken dann auf die Rückspultaste und gehen zu irgendeinem Zeitpunkt und zu irgendeinem Ort in der Vergangenheit zurück – sagen wir, zu den Meeren des Burgess Shale. Nun lassen Sie das Band noch einmal ablaufen und prüfen, ob die Wiederholung überhaupt etwas mit dem Original zu tun hat. Wenn die Wiederholung in allen Fällen eine starke Ähnlichkeit mit dem tatsächlichen Gang des Lebens aufweist, kommen wir nicht an dem Schluss vorbei, dass das was tatsächlich geschehen ist, auch in etwa so eintreten musste. Doch angenommen, die einzelnen Versuche erbrächten allesamt vernünftige Resultate, die sich von der tatsächlichen Geschichte des Lebens deutlich abheben. Wie stünde es dann um die Vorhersagbarkeit von selbstbewusster Intelligenz oder von Säugetieren oder Wirbeltieren, von Landtieren oder auch nur von vielzelligem Leben, das 600 Millionen schwierige Jahre durchgehalten wird?«<sup>45</sup>

Wenn die produzierten Ergebnisse aus der Wiederholung des Bandes des Lebens eine starke Ähnlichkeit mit den in Fossilien gefundenen Spuren haben, dann können wir davon ausgehen, dass es mit einer bestimmten Notwendigkeit den Prozess der

43 Für eine Historisierung dieser Aussage siehe Wolf Lepenies: *Das Ende der Naturgeschichte. Wandel kultureller Selbstverständlichkeiten in den Wissenschaften des 18. und 19. Jahrhunderts*, München 1976; Marco Tamborini: »Expanding the history of natural history«, in: *Historical Studies in the Natural Sciences* 48 (2018), Heft 3, S. 390–401.

44 Obwohl die folgende Gouldsche-Theorie auf einer zu wesentlichen Teilen unrichtigen Interpretation der Burgess-Shale Fossilien basiert ist, wird dadurch nicht ihre epistemische Macht geschwächt: Wie ich zeigen werde, deutet Gould darauf hin, dass die steuernden Mechanismen der Evolution mit dem breiteren epistemischen und technischen Problem der möglichen Rekonstruktion evolutionärer Prozesse gekoppelt ist. Siehe dazu Mathias Gutmann: *Die Evolutionstheorie und ihr Gegenstand-Beitrag der Methodischen Philosophie zu einer konstruktiven Theorie der Evolution*, Berlin 1996; Simon C. Morris: *Life's solution. Inevitable humans in a lonely universe*, Cambridge 2003.

45 Stephen J. Gould: *Zufall Mensch. Das Wunder des Lebens als Spiel der Natur*, München 1991, S. 47.

natürlichen Selektion gibt. Wenn sich allerdings ein anderes Bild der Lebensentwicklung ergibt, dann müssen wir der Kontingenz der Entwicklungsprozesse eine entscheidende Rolle zuschreiben. Gould schrieb weiter:

»Angenommen, zehn von 100 Entwürfen überleben und diversifizieren sich. Falls man die zehn Überlebenden vorhersagen kann, weil sie eine überlegene Anatomie aufweisen (Interpretation I), dann werden sie jedes Mal gewinnen – und die Burgess-Ausmerzung stellt unsere tröstliche Auffassung vom Leben nicht in Frage. Falls aber die zehn Überlebenden Günstlinge der Fortuna oder glückliche Nutznießer von sonderbaren historischen Kontingenzen sind (Interpretation II), werden bei jedem erneuten Abspiele des Bandes andere Überlebende und eine radikal andere Geschichte herauskommen«.<sup>46</sup>

Bei dieser zweiten Alternative wären die evolutionären Prozesse *in toto* auf der Fortuna basiert: Sie wären komplett willkürliche Prozesse und die Suche nach Regularitäten wäre sinnlos. Gould schlägt deshalb eine dritte Alternative vor:

»Die Vielfalt der möglichen Abläufe [beweist], dass man zu Beginn nicht vorhersagen kann, was schließlich daraus entsteht. Obwohl jeder einzelne Schritt begründet ist, lässt sich doch zu Beginn kein Ende angeben, und kein Schritt wird ein zweites Mal genauso erfolgen, weil jeder Pfad Tausende von unwahrscheinlichen Etappen durchläuft. Es genügt, dass irgendein Vorgang zu Beginn ganz geringfügig verändert wird, ohne dass das zu diesem Zeitpunkt bedeutsam erschiene, und schon schlägt die Evolution einen völlig anderen Weg ein«.<sup>47</sup>

Goulds brisante Schlussfolgerung lautete: »Diese dritte Alternative stellt nicht mehr und nicht weniger als das Wesen der Geschichte dar. Ihr Name ist Kontingenz, und Kontingenz ist eine Sache für sich und nicht etwa eine Mischung von Determinismus und Zufall«.<sup>48</sup> Anders als Dobzhansky betonte Gould, dass eine lange zeitliche Dimension, mit allen Merkmalen, die dazu gehören, zentral sei, um die Veränderung und Enfaltung von Bauplänen zu untersuchen: Die ausschließliche Betrachtung der Anpassung als optimierendes Produkt der natürlichen Selektion, wie die Verfechter des adaptiven Denkens behaupten, ist nicht ausreichend. Nach Gould prägen ahistorische sowie historische Aspekte die Entfaltung von organischen Formen: Sogar die autoregulativen Mechanismen, à la Waddington und Schmalhausen, haben sich im Laufe der (geologischen) Zeit modifiziert.<sup>49</sup>

Überleben und Diversifizierung bestimmter Baupläne (wie z.B. nach der kambriischen Explosion des Lebens oder nach einem Massenaussterben) sind demnach die Ergebnisse eines Wechselspiels zwischen einfach modellierbaren Diversifizierungsprozessen und kontingent-historischen Ereignissen. Beide Ebenen prägen die Ent-

---

46 Ebd., S. 49.

47 Ebd., S. 50.

48 Ebd., S. 50.

49 Siehe z.B. Goulds Betrachtung der Beziehung zwischen Phylogenetese und Ontogenese: Stephen J. Gould: *Ontogeny and Phylogeny*, Cambridge 1977.

wicklung von Bauplänen und beide können laut Gould modelliert und simuliert werden, was er mit seinen Kollegen während der 70er Jahre erprobt.<sup>50</sup> Was Gould damit meinte, war, die Notwendigkeit, die steuernden Mechanismen der Evolution auch als ein epistemologisches und technisch geprägtes Problem zu betrachten: Es geht letztendlich darum, die Bedingungen für die Analyse von historischen Phänomenen festzustellen. Wie sind nämlich die Biologen in der Lage, trotz des laut Gould hochkontingenten Status der Evolution mögliche Mechanismen hervorzubringen? Die Historizität der Evolution kann nur durch ein technisches Verfahren eingeschränkt werden.

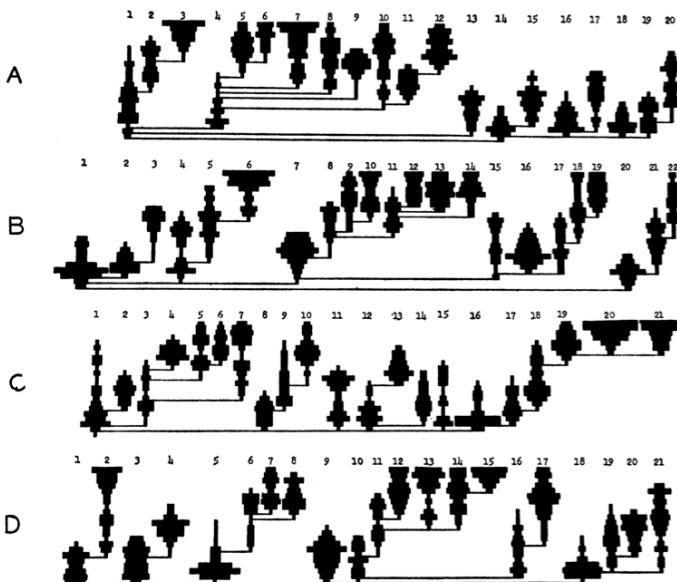


Abbildung 3: Das Bild stellt die simulierte Diversitätsvariation und Phylogenie von verschiedenen Gruppen dar (Raup, David, u.a. (Hg.): »Stochastic models of phylogeny and the evolution of diversity«, in: *Journal of Geology* 81 (1973), S. 525–542, hier S. 533).

Dieses Bild zeigt beispielweise das Ergebnis einer computer-basierten Simulation eines phylogenetischen Prozesses. Das Computerprogramm simuliert das mögliche Schicksal einer Abstammung. Sie kann entweder aussterben oder sich weitentwi-

50 David M. Raup, u.a. (Hg.): »Stochastic models of phylogeny and the evolution of diversity«, in: *Journal of Geology* 81 (1973), S. 525–542; Sepkoski: *Rereading the Fossil Record*.

ckeln – mit oder ohne Speziation.<sup>51</sup> Wie Biologiehistoriker David Sepkoski dazu kommentierte, dieses Modell

»was an application of a randomization process known as a Monte Carlo simulation. The computer was used to randomly draw numbers to determine outcomes with prespecified possibilities, much as a dealer might randomly draw cards from a deck and arrange the outcomes into hands. At the end of the run, the program output the results graphically in the form of a branching phylogenetic tree«.<sup>52</sup>

Computer-basierte Simulationen<sup>53</sup> legen daher mögliche und hoch-kontingente historische Szenerien vor, die als technogenerierte Arbeitshypothesen bezüglich evolutionärer Prozesse gelten. Sie bieten Eingriffsmöglichkeiten in eine tiefere zeitliche Dimension, die ansonsten unzugänglich geblieben wäre – und damit ist es den EvolutionsbiologInnen möglich, mit der Vergangenheit zu experimentieren. Dies betrifft nicht nur mögliche Szenarien, die von Computern simuliert sind, sondern auch Zeichen, Grafiken und Tabellen, die aus den sogenannten Papiertechnologien resultieren: Die morphologischen Zeichen von Georges Cuvier, dessen Katastrophismus auch von Gould vertreten wurde,<sup>54</sup> bieten genau denselben Technik-geprägten Zugang zur Historizität der Evolution. Nach Cuvier sei der Biologe nur mit dem, was heute als Papiertechnologie bezeichnet wird, in der Lage, das mögliche Wechselspiel und die Rückkoppelung zwischen den Veränderungen der versteinerten organischen Formen und der Umwelt zu untersuchen.<sup>55</sup> Diese Technologien machten die Beziehung zwischen Umwelt und Veränderbarkeit der Form sichtbar und sie ermöglichen dem Biologen festzustellen, dass die Form ausgestorbener Tieren von abiotischen und historischen Elementen, wie Katastrophen, gesteuert ist.

51 David Sepkoski: »Simulations, Metaphors, and Historicity in Stephen Jay Gould's ›View of Life‹«, in: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 58 (2016), S. 73–81.

52 Sepkoski: *Rereading the Fossil Record*, S. 228.

53 Wie Gabriele Gramelsberger bemerkte, sind »Simulationsmodelle nicht mehr Rechenmodelle für einige wenige Berechnungen, sondern »in-silico« Experimentsysteme«. Gabriele Gramelsberger: »Simulationsmodelle«, in: *Forum Interdisziplinäre Begriffsgeschichte* 51 (2017), Heft 1, S. 71–77, hier S. 74.

54 Michael Weingarten und Peter Janich: *Wissenschaftstheorie der Biologie. Methodische Wissenschaftstheorie und die Begründung der Wissenschaften*, München 1999.

55 Martin J. S. Rudwick: *Scenes From Deep Time. Early Pictorial Representations of the Prehistoric World*, Chicago 1985; Ursula Klein: »Technoscience avant la lettre«, in: *Perspectives on Science* 13 (2005), Heft 2, S. 226–266; Marco Tamborini: »From the Known to the Unknown or Backwards. Visualization and Conceptualization of Paleontological Time in Nineteenth Century Paleontology«, in: Sibylle Baumbach, u.a. (Hg.): *The Fascination with Unknown Time*, London 2017, S. 115–140.

## *Schlussfolgerung: Von der Umwelt-Form-Beziehung zu einem erweiterten Begriff von technowissenschaftlicher Praxis*

Was sagt nun die Einführung der von Gould herausgearbeiteten Historizität<sup>56</sup> über die Beziehung zwischen, einerseits, Umwelt und Form und, andererseits, der Grenze und Potenzialität der Übertragungsmöglichkeit evolutionärer Dynamiken auf Gestaltungsprozesse, sprich, das adaptive Denken, aus? Sie veranlasst uns, ein erweitertes Bild der steuernden Mechanismen der organischen Formproduktion in den Blick zu nehmen. Ein Bild, bei dem i) die natürliche Selektion nicht der hauptsächlich steuernde Faktor ist und ii) die Untersuchung der Formproduktion stets mit bestimmten Technomorphismen gekoppelt ist.

Dieses Bild wurde von dem Britischen Mathematiker und Biologen D'Arcy Wentworth Thompson wieder ins Zentrum der biologischen Debatte gestellt.<sup>57</sup> Thompson betonte die notwendige Technizität der Beschreibung von Lebewesen, um die Mechanismen des biologischen Wachstums hervorzu bringen. Gould griff denselben Punkt auf, um einen technowissenschaftlichen Zugang zu den historischen Prozessen der Formbildung zu begründen.<sup>58</sup> Meine Untersuchung machte deutlich, dass diese Technomorphismen mit den Strukturen der Zeitlichkeit der Evolutionstheorie und mit einer entsprechenden Geschichtsphilosophie, die die implizierte historische Ebene der steuernden Mechanismen der Evolution theoretisiert, verknüpft werden sollten. Es muss, mit andern Worten, eine Historisierung der Umwelt-Form-Beziehung erfolgen sowie eine Untersuchung der Mechanismen ange strebt werden, welche nicht nur auf ökologischer, sondern auch auf einer tieferen zeitlichen Skala stattfinden, wie beispielweise die Mechanismen des Massenaussterbens. Um etwa die Kenntnisse eines vorgängigen ›Problems‹ aus einer *prima facie* adaptiven Lösung abzuleiten, muss demnach mit historischen Szenarien experimentiert werden, aus denen sich die morphologische Lösung ergeben haben könnte:<sup>59</sup> Kurz, das Tonband des Lebens soll immer wieder abgespielt werden, wie Gould es vorschlug.

---

56 Über die Einführung der Historizität in die Naturgeschichte siehe Martin J. S. Rudwick: *Earth's Deep History. How It Was Discovered and Why It Matters*, Chicago 2016; Tamborini: »Expanding the history of natural history«, in: *Historical Studies in the Natural Sciences* 48.

57 D'Arcy W. Thompson: *On Growth and Form*, Cambridge 1942.

58 Stephen J. Gould: »D'Arcy Thompson and the science of form«, in: *New Literary History* 2 (1971), Heft 2, S. 229–258.

59 Dadurch wurde auch der Status der biologischen Gesetze als hoch-Kontingenz interpretiert. John Beatty: »The evolutionary contingency thesis«, in: Gereon Wolters und James G. Lennox (Hg.): *Concepts, theories, and rationality in the biological sciences*, Konstanz 1995, S. 45–81.

Bei diesem Verfahren spielen computer-basierte Simulationen eine entscheidende Rolle.<sup>60</sup> Sie bieten sozusagen einen technowissenschaftlichen Zugang zum Abspielen des Bandes und sie sind damit in der Lage, neue Facetten des adaptiven Denkens hervorzubringen: Simulationen machen den historischen Status der Evolution sichtbar und manipulierbar.<sup>61</sup> Aufgrund von Simulationen und dem Modellieren von historischen Daten war beispielweise Evolutionsbiologe Andrew Knoll mit Hilfe seiner Kollegen in der Lage, die Hyperkapnie, ein erhöhter Kohlenstoffdioxidgehalt in der Atmosphäre, als hauptsteuernden Mechanismus des Perm-Trias-Massenaussterben festzustellen. Mit verschiedenen Simulationen und Modellen zeigte er auf, dass trotz des hoch kontingenenten Status seines Explanandums – ein von vor 252 Millionen Jahren stattgefundenes Ereignis bei dem circa 95 % der marinen Invertebraten ausstarben – die Logik der Manipulierbarkeit der Tiefenzeit in der Lage sei, weitere steuernde Mechanismen der Evolution, die sich nicht auf die natürliche Selektion reduzieren lassen, hervorzubringen. Oder, mit den Worten von Knoll:

»The pattern of selectivity associated with P-Tr extinction is unique, but the logic developed here can be applied more broadly to investigations of Earth and life through time, including both other major extinctions and long-term changes in the state of Earth's atmosphere and oceans. The important point is that physiology offers a critically important paleobiological way of knowing in the age of Earth system science«.<sup>62</sup>

Dieser technowissenschaftliche Ansatz, bei dem das Wissen abhängig vom Können ist, oder – anders formuliert – bei dem technische Repräsentationen einen ontologischen Status bekommen, war genau das, was Gould seinen Kollegen gegenüber vertrat.<sup>63</sup> So versuchte er, den Biologen Brian Goodwin (1931–2009) beim Meeting in Dahlem im Jahre 1981 von seiner Ansicht zu überzeugen, dass die zeitliche Dimension bei jeder Formalisierung der Umwelt-Form-Beziehung zentral sei. Sein Beitrag in der Sektion »The role of development in Macroevolutionary change« zielte nämlich darauf ab, die Rolle der Historizität und der daraus resultierenden Simulationen aufzuzeigen. Bei diesem Treffen standen sich daher zwei unterschiedliche Auffassungen und Zugänge zu biologischen Phänomenen gegenüber: Der Biologe Goodwin hatte vor, »to transform biology from a purely historical science to one with a

- 
- 60 Für eine Historisierung dieser Praktiken siehe David Sepkoski und Marco Tamborini: »An Image of Science. Cameralism, Statistics, and the Visual Language of Natural History in the Nineteenth Century«, in: *Historical Studies in the Natural Sciences* 48 (2018), Heft 1, S. 56–109.
- 61 Lorraine Daston und Peter Galison: *Objectivity*, New York 2007; Johannes Lenhard, u.a.: *Simulation: Pragmatic Constructions of Reality*, Heidelberg 2007.
- 62 Andrew H. Knoll, u.a.: »Paleophysiology and end-Permian mass extinction«, in: *Earth and Planetary Science Letters* 256 (2007), Heft 3–4, S. 295–313, hier S. 309.
- 63 Lorraine Daston: »Beyond Representation«, in: Catrijne Coopmans, u.a. (Hg.): *Representation in Scientific Practice Revisited*, Cambridge 2014, S. 319–322; Tamborini: »From the Known to the Unknown or Backwards«, in: Baumbach (Hg.): *The Fascination with Unknown Time*.

logical, dynamic foundation by constructing a theory of biological forms whose equivalent in physics is the periodic table of elements«.<sup>64</sup> Umgekehrt stand auf Goulds Agenda, die Rolle der Historizität evolutionärer Prozesse und deren Simulationen zu verbreiten: Ohne einen starken Historizismus bekämen wir kein komplettes Bild von biologischen Ereignissen.

Dies impliziert allerdings nicht, dass die mögliche Entfaltung von anderen Technomorphismen ausgeschlossen ist. Man könnte beispielweise der Konstruktionsmorphologie der Frankfurter Schule der Evolutionstheorie oder der von Adolf Seilacher begründeten Konstruktionsmorphologie folgen, um andere Merkmale der Formproduktion offenzulegen.<sup>65</sup> Diese Technomorphismen stammen auch aus D'Arcy Thompsons Bild der Evolution – bzw. aus den darauf beruhenden Überlegungen des Britischen Biologen Carl Pantin (1899–1967). Pantin schrieb, dass der Organismus »is meant more like model made by engineering constructional set: a set consisting of standard parts with unique proprieties, of strips, plates and wheels which can be utilised, for instance, for various functional objectives«.<sup>66</sup> Bei der biologischen und evolutionsbiologischen Methode wird sowohl von Seilacher als auch von W. Gutmann der Begriff von ›Konstruktion‹ als Einheit von Bau- und Leistungsprinzipien konzipiert:<sup>67</sup> »Insofern bedeutet Konstruktionsmorphologie zu betreiben, auch eine Art Ganzheitsbetrachtung«.<sup>68</sup>

Allerdings – und das ist der entscheidende Punkt – setzen Seilacher und Gutmann sich auch mit der Macht der Historizität der Evolution auseinander. Mit seinem berühmten Dreieck deutet Seilacher darauf hin, dass die Formproduktion stets eine Interaktion von historisch-phylogenetischen, ökologischen-adaptiven und bautechnischen Aspekten ist; W. Gutmann und Kollegen beschäftigen sich mit der Identifizierung eines »Lesrichtungskriteriums« phylogenetischer Reihen.<sup>69</sup> Sie schreiben explizit dazu: »Das Wesentliche bei der Behauptung einer Abstammungsbeziehung ist die Angabe, was wovon abstammt, die Bestimmung der Lesrichtung einer Verwandtschaftsreihe also«.<sup>70</sup> Ein wichtiger Teil des Arbeitsprogramms der Frankfurter Evo-

64 Alfred Nordmann: »The Demise of Systems Thinking. A Tale of Two Sciences and One Technoscience of Complexity«, in: Wolfgang Pietsch, u.a. (Hg.): *Berechenbarkeit der Welt?* Heidelberg 2017, S. 435–451, hier S. 448.

65 Adolf Seilacher: »Arbeitskonzept zur Konstruktions-Morphologie«, in: *Lethaia* 3 (1970), S. 393–396.

66 Carl F. A. Pantin: »Organic design«, in: *Advancement of Science* 30 (1951), S. 138–150.

67 Siehe dazu Hermann Weber: »Konstruktionsmorphologie«, in: *Zoologischen Jahrbücher* 68 (1958), S. 1–112; Hermann Weber: *Skriptum zur Vorlesung »Einführung in die Terminologie und Methode der Konstruktionsmorphologie« 1950/1951*, Tübingen 1950/1951.

68 Klaus Teichmann und Joachim Wilke: *Prozeß und Form »Natürlicher Konstruktionen«. Der Sonderforschungsbereich 230*, Berlin 1996, S. 38.

69 Seilacher: »Arbeitskonzept zur Konstruktions-Morphologie«, in: *Lethaia* 3; Derek Briggs: »Seilacher, Konstruktions-Morphologie, Morphodynamics, and the Evolution of form«, in: *Journal of Experimental Biology Part B* 328 (2017), Heft 3, S. 197–206.

70 Jens L. Franzen, u.a: »Was ist Phylogenetik?«, in: *Natur und Museum* 103 (1973), Heft 7, S. 238–242.

lutionstheorie kann deshalb als Rekonstruktionstheorie verstanden werden: Dies »ist eine Rekonstruktionstheorie, die es gestattet, unter Angabe von Lesrichtungskriterien evolutive Zwischenstadien zu rekonstruieren und Konstruktionsmodelle unter Beibehaltung ihrer funktionellen Kohärenz und Bionomie zu transformieren«.<sup>71</sup> So-wohl Seilacher als auch W. Gutmann und Kollegen versuchten demnach, das Wechselspiel zwischen der notwendigen technischen Beschreibung von Lebewesen und den historischen Prozessen, dem diese unterworfen sind, zu thematisieren und damit weiterzuarbeiten.

Mein philosophisches Fazit lautet daher, dass eine gründliche Untersuchung der Beziehung und des Wechselspiels zwischen dem in diesem Aufsatz beschriebenen technomorphisch geprägten ›Herstellen und Erkennen‹ von bio-historischen Prozessen und der historischen Struktur der Formbildung weitergeführt werden soll: Die Ergebnisse dieser Untersuchung können weitere Merkmale von Wissensproduktion in einem technologischen Setting beleuchten: Wie ist der Biologe in der Lage, mittels technologischer Verfahren – seien es computer-basierte Simulationen, von Papiertechnologien produzierte Zeichen oder konstruktionsmorphologisch geprägte Ansätze – einen epistemischen Zugang zu einem komplexen und historisch geprägten Verhältnis, wie der Umwelt-Form-Beziehung, zu bekommen? Wie ist die Beziehung zwischen der notwendigen Technizität der Beschreibung von Lebewesen und den historischen Prozessen, die ihre Morphogenese steuern? Eine historische und theoretische Untersuchung der möglichen technowissenschaftlichen Zugänge zu historischen Prozessen, wie der Umwelt-organischen-Form-Beziehung, soll daher angestrebt werden, um das »Verhältnis von Wissen und Können in den vielfältigen Fertigkeiten des Manipulierens und Modellierens«<sup>72</sup> zu problematisieren und weiterzuentwickeln. Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden daher einen erweiterten Begriff von technowissenschaftlicher Praxis liefern: Einen, der in der Lage ist, »die

71 Michael Gudo, u.a.: »Organismustheoretische Grundlagen von Morphogenese und Evolution. Eine historisch-systematische Untersuchung«, in: *Jahrbuch für Europäische Wissenschaftskultur* 2 (2006), S. 63–106, hier S. 93. Siehe dazu Wolfgang F. Gutmann, u.a.: *Morphologie & Evolution. Symposien zum 175jährigen Jubiläum der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft. Evolutionssymposion*, in: *Senckenberg-Buch*, Bd. 70, Frankfurt am Main 1994; Michael Gudo, u.a.: »Concepts of functional, engineering and constructional morphology. Introductory remarks«, in: *Senckenbergiana lethaea* 82 (2002), Heft 1, S. 7–10; Wolfgang F. Gutmann: »Das Dermalskelett der fossilen ›Panzerfische‹ funktionell und phylogenetisch interpretiert«, in: *Senckenbergiana lethaea* 48 (1967), Heft 3–4, S. 277–283.

72 Nordmann: »Im Blickwinkel der Technik«, in: *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 35, S. 201.

Topologie, Zeitlichkeit und Materialität«<sup>73</sup> der technowissenschaftlichen Praktiken<sup>74</sup> auch in Bezug auf die historischen Disziplinen<sup>75</sup> genauer zu definieren.<sup>76</sup>

- 
- 73 Andrew Pickering: »Beyond Constraint. The Temporality of Practice and the Historicity of Knowledge«, in: Jed Z. Buchwald (Hg.): *Scientific practice. Theories and stories of doing physics*, Chicago 1995, S. 42–55, hier S. 55.
- 74 Oder mit den Worten von John Zammito: »we need a theory that registers the *entrenchment* of practices, both as apparatus and as concepts, generating (path-dependent) structures that are heterogeneous and patchy, but nonetheless real and binding—hence a theory of *constraints*«. John H. Zammito: »History/Philosophy/Science. Some Lessons for Philosophy of History«. A Review Article of Hans-Jörg Rheinberger, On Historicizing Epistemology«, in: *History and Theory* 50 (2011), S. 390–413.
- 75 Spannend wäre es zudem, die bereits erwähnten Ebenen mit den Anmerkungen von Gramelsberger bezüglich der Zeitlichkeit der Simulationsmodelle – »dass Simulationsmodelle die einzigen Modelle sind, die nicht nur Zeitlichkeit beschreiben, sondern in der Zeit ausgeführt werden« (Gramelsberger: »Simulationsmodelle«, in: *Forum Interdisziplinäre Begriffsgeschichte* 51, S. 77) – zusammenzubringen.
- 76 Ich möchte mich bei Alexander Friedrich, Christoph Hubig, Alfred Nordmann, Mathias Gutmann und den Jahrbuchsbegutachtern für die hilfreiche Rückmeldung bedanken.

