Entwicklung als »Epigenetische Landschaft«

Eine biophilosophische Analyse der Metaphern und Quasiteleologie in der Entwicklungsbiologie

Hans Werner Ingensiep

Einführung

Die Vorstellung von einer »Natur pur« wurde seit der Antike mit einer immanenten Entwicklungsrichtung verbunden, also einem Ziel, einem Zweck oder einem Sinn assoziiert, kurz, einem Telos der Natur. Für Aristoteles gab dieses Telos in der Natur ihren organischen Entwicklungsprozessen eine Richtung vor, z.B. wurde im Ei aus dem Embryo nach und nach ein adulter Vogel und verwirklichte in diesem natürlichen Gestaltungsprozess immanente entelechiale Seelenzwecke. Diese Art von Telos in der Natur des Organischen gilt spätestens seit Darwin in der Biologie als entzaubert. Seither wehren sich Evolutionsbiologen dagegen, in der Evolution der Arten eine Richtung zu unterstellen oder eine »Höherentwicklung« von der Amöbe bis zum Menschen qua *Homo sapiens sapiens* zu behaupten. Evolution durch natürliche Selektion führe zwar zu einer Weiterentwicklung je nach Umwelt, aber nicht zu einer Höherentwicklung, das Wort »höher« sei einer Stufensicht der Natur geschuldet, so sagte es z.B. Richard Dawkins. Wer dennoch »teleologisch« argumentiert, würde immanente Richtungen, Ziele oder Hierarchien in die Natur hineinprojizieren. Nach Darwin aber hätte je nach kontingenten Umweltbedingungen alles ganz anders kommen können, denn letztlich ist die gesamte Phylogenese dem Motor der »individual variation« und »natural selection« unterworfen.

Die letzte Bastion einer offenkundig immanent auf Ziele ausgerichteten Entwicklung blieb jedoch die Ontogenese, die individuelle Entwicklung eines jeden Organismus von der Eizelle bis zum adulten Organismus mit all seinen artspezifischen Organen. Bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts haben sich in der Biologie Neovitalisten wie Hans Driesch und Mechanisten bzw. »Entwicklungsmechaniker« wie Wilhelm Roux über die gerichtete Ontogenese gestritten, z.B. ob es eine dafür relevante eigene Lebenskraft oder spezifische Ganzheitskausalität gibt. In der Folgezeit haben sich innerhalb der

Biowissenschaften die Theorien über individuelle Entwicklungsprozesse grundlegend verändert. Seit der Entdeckung der DNS als Träger der genetischen Information für spezifische Funktionen im Organismus – bestätigt im Modell von James Watson und Francis Crick im Jahr 1953 – ist infolge der anschließenden Fokussierung der Biowissenschaften auf Genetik und Molekularbiologie eine neue epigenetische Vorstellung von der Entwicklung als Differenzierung von Zellen aufgrund molekularer Regulationsprozesse entstanden. Der alte Streit zwischen teleologischen Vitalisten und antiteleologischen Mechanisten ist obsolet geworden. Dennoch galt die ontogenetische Entwicklung höherer Organismen aus befruchteten, totipotenten Eizellen hin zu adulten ausgewachsenen Individuen der jeweiligen Spezies – seien es Mäuse oder Menschen – immer noch als augenscheinliches Exempel für eine »natürliche« Entwicklungsrichtung. Daran hielt man nicht nur in Alltagsvorstellungen von der Individualentwicklung, sondern auch in der Biologie und Ethik fest. Man nahm Mass an dieser Vorstellung von natürlicher normaler Entwicklung von Organismen und knüpfte an das Vorverständnis eines »natürlichen« Entwicklungszieles an, wenn es um die normale individuelle Ontogenese ging. Solche quasiteleologischen, der »Natur« entnommenen Vorstellungen beeinflussten auch die Art der Verbildlichung, der Visualisierung bzw. Illustration dieser »natürlichen« Prozesse in der theoretischen Biologie, was sich in klassischen Modellen zeigen lässt. Im ersten Teil der Analyse wird skizziert, wie sich die Formen der Verbildlichung der Ontogenese seit Mitte des 20. Jahrhunderts in der Wissenschaft gewandelt haben. Kurz gesagt, das Modell wandelt sich von der »epigenetischen Landschaft« (Waddington) bis hin zum »Flipperautomaten« (Goldberg et al.). In der experimentellen Biotechnologie der Gegenwart werden zudem Vorstellungen von der individuellen Ontogenese durch eine Mischung von »natürlichen Funktionen« und »künstlichen Zwecken« gemäss Randbedingungen, die von Menschen gesetzt wurden, beschrieben. Allerdings sind »natürliche Funktionen« im Entwicklungsprozess und vom Menschen bestimmte »künstliche Zwecke« gerade in ethischer Hinsicht zu differenzieren. Aus aktueller Forschungsperspektive kann die Ontogenese in alle möglichen Richtungen verlaufen, wenn man sie auf zellulärer Ebene *in vitro* beobachtet. Denn aus hochdifferenzierten Hautzellen können *in vitro* wieder pluripotente oder totipotente Zellen werden, aus denen wiederum sogar Embryonen entstehen könnten. Auch eine direkte Reprogrammierung hoch spezialisierter Körperzellen in Embryonen ist möglich, wenn der richtige molekulare Cocktail vorliegt.

Vor diesem Hintergrund ist es, ähnlich wie nach Darwin, mit Bezug auf die Phylogenese aktuell durch die experimentelle Entwicklungsbiologie auch zu einer neuen Entteleologisierung der Ontogenese gekommen: Hergebrachte »Natur pur«-Vorstellungen, d.h. von einer »natürlichen« Entwicklungsrichtung oder einem »natürlichen« Entwicklungsziel individueller Organismen, sind ins Wanken geraten und führen zu Irritationen. Unterschiedliche Formen der Visualisierung entwicklungsbiologischer Modelle machen diesen Wandel deutlich.

Im zweiten Teil der Analyse werden moderne biophilosophische Ansätze skizziert. Es geht darum, wie in dieser Epoche der wissenschaftlichen Entteleologisierung der Natur mit dem Begriff der »Funktion« bzw. mit Funktionsbegriffen innerhalb der Biologie umgegangen wird. Ein moderner Vorschlag setzt statt auf einen einheitlichen Funktionsbegriff auf einen »Funktionspluralismus« (Mahner/Bunge). Im Anschluss daran wird ein eigener epistemologischer Ansatz skizziert, der im Kern Kants Teleologiekritik folgt und am Begriff des Organismus festhält, woran epistemologisch Mass genommen wird. »Organismus« als transzendentaler Reflexionsbegriff der Urteilskraft steht dabei im Mittelpunkt. Gezeigt wird zudem, wie vielfältige biologische Beziehungen begrifflich ausformuliert werden können, was bedeutet: Selbst wenn eine sukzessive kausalanalytische Entteleologisierung der »Natur pur« in Biotheorien der Ontogenese erfolgt, bedarf der Mensch im Alltag sowie der Wissenschaftler in den Biowissenschaften bestimmter teleologischer Begriffe, um sich und die Beziehung aller Lebewesen in und zur Welt verstehen zu können. Subjektphilosophisch betrachtet liegt daher im Organismusbegriff ein originäres hermeneutisches Potenzial, auch für den quasiteleologischen Begriff der »Funktion«. Zudem wird deutlich: ohne die Möglichkeit der Voraussetzung von Subjekten, d.h. von bewussten Wesen, sind gesetzte »Zwecke« nicht denkbar. Insofern ist auch die moderne Biotheorie und Biotechnologie der Ontogenese bei der Analyse ihrer Terme auf teleologische Grundbegriffe angewiesen.

1. Die »epigenetische Landschaft« zwischen Funktionen und Zwecken

Der britische Genetiker und Embryologe Conrad Hal Waddington (1905–1975) prägte vor mehr als fünfzig Jahren ein anschauliches Bild für die organische Individualentwicklung, welches bis heute

in der Entwicklungsbiologie und Embryologie innovativ ist – nun im Zeichen der Stammzellforschung und Reprogrammierung. Waddingtons Hintergrund war die klassische Vorstellung, dass Gene bestimmte Proteine und diese Proteine in der natürlichen Entwicklung des Organismus nach und nach die Zelldifferenzierung bestimmen. Diese Zellen schlagen bestimmte Entwicklungswege ein, die Waddington »Creoden« nennt. Gene legen interaktiv solche »Creoden«, d.h. notwendige Entwicklungswege, für spezielle Zellen fest.¹ Waddington wurde durch die Vorstellung des Embryologen Paul Weiss aus den 1930er Jahren inspiriert, es gebe nur relativ wenige Differenzierungsalternativen für die Zellen, und erklärte deren Dynamik durch Genwechselwirkungen.² Dies führte Waddington schliesslich zu seiner Vorstellung einer »Strategy of Genes«. Dieser Ansatz war der Ausgangspunkt für spätere Transformationen des Modells.³ Die genauere Analyse und der Vorstellungswandel im Bild der »epigenetischen Landschaft« liefert wichtige Einblicke in den wissenschaftlichen Umgang mit Metaphern und teleologischen Konzepten, speziell mit diversen Funktions- und Zweckbegriffen, bei der biowissenschaftlichen Modellierung des Entwicklungsgeschehens.

Waddington prägte die Landschaftsmetapher bereits um 1940 und illustrierte im Jahr 1957 die Entwicklung von der Zygote bis zum adulten Organismus anhand des Bildes einer Hügellandschaft mit einer talabwärts rollenden Kugel, die je nach äusseren Einflüssen – quasi je nach Schwung – verschiedene Entwicklungsrichtungen ein-

¹ Conrad Hal Waddington, *Die biologischen Grundlagen des Lebens*, Braunschweig 1966, 49.

² Ebd., 108, Anm. 10.

³ Conrad Hal Waddington, *The Strategy of the Genes; a Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology*, London 1957; Waddington, *Die biologischen Grundlagen*; Lewis Wolpert, *Regisseure des Lebens. Das Drehbuch der Embryonalentwicklung*, Heidelberg 1993; Aaron D. Goldberg/C. David Allis/Emily Bernstein, *Epigenetics – A Landscape Takes Shape. Essay*, in: *Cell* 128 (2007), 635–638; Johannes Huber, *Topotenz – überfordertes Kriterium der Schutzwürdigkeit? Eine naturphilosophische Untersuchung zu den biologischen Grundlagen eines normativ gewordenen Begriffs*, Berlin 2009; Shiniya Yamanaka/Helen M. Blau, *Nuclear reprogramming to a pluripotent state by three approaches*, in: *Nature* 465 (2010), 704–712; Julia Ladewig/Philipp Koch/Oliver Brüstle, *Leveling Waddington: The Emergency of Direct Programming and the Loss of Cell Fate Hierarchies*, in: *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 14 (2013), 225–236; Bernhard Horsthemke, *Weichenstellungen im Genom. Die Epigenetik erklärt, wie uns frühe Entwicklungsereignisse dauerhaft prägen*, in: *Unikate*, 44 (2013), 12–21.

schlagen konnte (vgl. Fig. 1 in Goldberg et al. 2007).⁴ Damit wird in moderner Deutung einerseits eine »Kanalisierung« der Entwicklung in eine bestimmte Richtung, andererseits aber auch eine bestimmte epigenetische »Plastizität« im Verlaufe der Entwicklung bis hin zum adulten Phänotyp veranschaulicht.⁵ Kleinere Abweichungen der Kugel auf ihrer Bahn werden talwärts gerade noch kompensiert, doch grössere Abweichungen können die Kugel aus der ursprünglichen Bahn werfen und über Weggabelungen auf neue Wege führen. Bei geringen Störungen wird die Kugel wenig abgelenkt und rollt im üblichen Tal weiter. Eine solche Kanalisierung der Entwicklung erfolgt beispielsweise, indem die Kugel das linke Tal (aus der Perspektive des Bildbetrachters) hinunterrollt. Eine grössere Störung durch einen Schwung könnte aber dazu führen, dass diese Kugel das rechte Tal hinabrollt, wodurch anschliessend andere epigenetische Vorgänge eingeleitet werden.⁶ In der modernen epigenetischen Deutung des Entwicklungsverlaufs geht es um erbliche Einflüsse auf Genfunktionen, die nicht von DNS-Sequenzveränderungen begleitet sind.⁷ Die Kugel wird also – je nach anfänglichem Schwung oder Drall bzw. nach gegebenen Bahnunebenheiten – eine andere Entwicklungsbahn einschlagen, womit auch der interaktive Einfluss der Umwelt auf die Plastizität des Entwicklungsgeschehens deutlich wird. Diese sogenannte »epigenetische Landschaft« illustrierte im ursprünglichen Bild also mehr oder weniger natürliche Vorgänge im normalen ontogenetischen Entwicklungsgeschehen, wobei sowohl innere Faktoren wie Gene als auch äussere Faktoren in der Umwelt unterschiedliche Einflüsse haben konnten. Was der Biologe Waddington einst als anschauliches Bild für eine systemtheoretische und kybernetische Betrachtung der Entwicklung in der theoretischen Biologie anbot, lässt sich aus moderner biotheoretischer Perspektive auch als dynamischer Vorgang der Selbstorganisation interpretieren. Dabei bewegt sich das sich selbst organisierende System im Laufe der Zeit jeweils auf besondere Zustände hin, die sogenannten »Attraktoren«.⁸

Für Waddington waren es in der Entstehungsperiode – in der Zeit der 1950er Jahre der klassischen Molekulargenetik – vor allem die damals bekannten »Gene« und »Proteine«, welche die »epigeneti-

⁴ Vgl. die Originalabbildung Waddingtons: Fig. 1, in: Goldberg et al., Epigenetics, siehe unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867407001869>.

⁵ Vgl. Horsthemke, Weichenstellungen im Genom.

⁶ Vgl. dazu die Abbildung 2 in ebd., 15.

⁷ Vgl. Huber, Totipotenz, 70.

⁸ Horsthemke, Weichenstellungen im Genom, 14.

sche Landschaft« des Phänotyps molekular bestimmten. Eine weitere Intention Waddingtons war offenbar, auch quasilamarckistische Elemente in das Naturbild des orthodoxen Darwinismus zu integrieren, was sich wohl auch im offenen Bild der »epigenetischen Landschaft« niederschlägt; denn es lässt Spielraum für Einflüsse durch Umweltfaktoren auf die Entwicklung der Zygote zu. Waddingtons Bild visualisiert zudem indirekt Momente der aufkeimenden molekularen Feldtheorie der Entwicklung, insbesondere das Konzept der »morphogenetischen Felder« und »Positionsinformation«. Diese Terme werden später von dem Entwicklungsbiologen Lewis Wolpert und von Francis Crick genutzt, der diese molekularen Entwicklungsfaktoren als »Morphogene« bezeichnete. Der Entwicklungsbiologe Lewis Wolpert verstand Waddingtons Vergleich der ontogenetischen Differenzierung mit einer »epigenetischen Landschaft« allerdings vor allem als Bild für ein mehr oder weniger genetisch bestimmtes, natürliches Bergabrollen einer Kugel, für deren Bergabweg diverse Verzweigungen bestehen: »Bei dieser Analogie entsprechen die Wege den Genaktivitätsmustern und die Kugel der heranreifenden Zelle.«⁹ Nach Wolpert folgen daher die Zellwege normalerweise einem festgelegten »eigenen inneren Programm«. Die Zellen werden an den möglichen Verzweigungsstellen von »äusseren Signalen« beeinflusst, letztlich aber vermittelt differentieller Genaktivitätsmuster in die Richtung einer programmierten, ontogenetischen Differenzierung geleitet. »Nur selten kann eine Zelle unterwegs umkehren, aber durch bestimmte Eingriffe kann eine Zelle dazu veranlasst werden, von einer Spur in eine benachbarte zu wechseln.«¹⁰ Der Embryologe Wolpert hatte also auch anormale äussere, experimentelle Eingriffe in die normale Entwicklung im Auge. Im Prinzip aber wurde Waddingtons klassisches Bild von Wolpert als plausible visuelle Metapher für mögliche natürliche Entwicklungsrichtungen der Körperzellen von der Zygote bis hin zu den etwa 350 verschiedenen Zelltypen eines adulten Organismus angesehen, was er quasi essenzialistisch so formuliert: Das »Wesen des Differenzierungsvorganges während der Entwicklung« bestehe darin, bergab immer spezifischere Zellen in immer tiefer gelegenen Landschaftsbereichen hervorzubringen, wobei im Verlaufe der Entwicklung nach und nach andere Richtungen »verschlossen« seien. Ein Beispiel dafür sind nach Wolpert die hochdifferenzierten roten Blutzellen, die infolge des Ausstossens ihrer Zellkerne am Ende ihre gesamte genetische Information verlieren. Hier wird klar: Wolperfs Interpretation der ontogenetischen Zell-

⁹ Wolpert, *Regisseure des Lebens*, 94.

¹⁰ Ebd.

entwicklungswege in der »epigenetischen Landschaft« folgt noch einer quasi teleologischen und quasiessenzialistischen Programmvorstellung. Im Zeichen eines einseitigen, hierarchisch gesteuerten Informationsflusses gemäss dem klassischen Dogma der Molekulargenetik der 1960er Jahre (DNA → RNA → Protein) steuert demnach ein »Programm« die Entwicklung, wobei im Verlaufe der Zelldifferenzierung ein »Obergen« die Genaktivitäten koordiniere, beispielsweise im Fall der Muskelzellbildung.¹¹

In dieser späteren Veranschaulichung der Ontogenese und Differenzierung der Körperzellen ab der befruchteten Eizelle erscheint der »natürliche« Entwicklungsprozess zwar als flexibel, wird aber wesentlich durch innere Faktoren wie Gene und äussere Faktoren determiniert. Bei Waddington und Wolpert kann der Entwicklungsprozess regulär nur talabwärts auf unterschiedlichen Wegen in bestimmte Differenzierungsrichtungen von Zellen und Organen bis hin zum adulten Organismus erfolgen. Innere und äussere Faktoren haben daher in diesem Modell eine bestimmte »Funktion«. Bleibt die Entwicklung unter deren Einfluss ungestört, entsteht ein »normaler« adulter Organismus. Das Bild steht also primär für verschiedene Entwicklungskanäle von Zellen unter dem Einfluss von diversen Faktoren im Verlaufe der Ontogenese, die im Normalfall zur »natürlichen« Entwicklung eines Organismus führen. Zwar bestehen verschiedene Möglichkeiten für die Entwicklungsbewegung der Zellkugel, doch talabwärts ist nicht alles in dieser »epigenetischen Landschaft« möglich. Eine Entwicklung rückwärts, also zurück zur Ausgangszygote, ist dann, wenn der Zellentwicklungsweg einmal eine bestimmte Richtung eingeschlagen hat und eine organspezifische Zelldifferenzierung erfolgt ist, in diesem Bild nicht mehr vorgesehen. In der ursprünglichen Visualisierung von Waddington war eine solche Rückwärtsentwicklung jedenfalls nicht vorgesehen, sie wird aber von Wolpert indirekt bereits einbezogen.

In Waddingtons ursprünglicher Landschaftsmetapher sind die damals bekannten theoretischen Terme zur Beschreibung des Entwicklungspotenzials einer Zygote bzw. der Zellen früher Entwicklungsstadien des Embryos allerdings bereits vorauszusetzen. Schon in der klassischen Phase der experimentellen Entwicklungsbiologie nach 1900, vertreten durch Hans Driesch, Wilhelm Roux oder Hans Spemann, bezeichnen biologische Terme wie »Totipotenz«, »Omnipotenz« oder »Organisator« ein bestimmtes Entwicklungspoten-

¹¹ Ebd., 95.

zial von Zellen oder Zellverbänden.¹² Doch gehen die mit diesen Termen verbundenen Entwicklungsmöglichkeiten nicht explizit in die visuelle Metapher der epigenetischen Landschaft ein. Implizit ist aber ein »natürlicher« Spielraum von inneren und äusseren Faktoren mitbedacht, deren Zusammenspiel sich in der Realisation der »Strategie der Gene« (Waddington) fügt und letztlich die diversen Funktionen eines adulten Organismus hervorbringt. Der Gedanke der »Totipotenz«, also des Vermögens einer Zelle, die gesamten Entwicklungsmöglichkeiten für den ganzen adulten Organismus zu enthalten, ist also im Prinzip bekannt. Diese Totipotenz wird aber im klassischen Bild der »epigenetischen Landschaft« primär anhand gerichteter Entwicklungswege einer »normalen« Zygote illustriert, die sich sukzessiv hin zu für einen adulten Organismus erforderlichen Zellfunktionen ausdifferenziert. Kurz gesagt und im Vorgriff auf die weitere Analyse: Die »natürlichen Funktionen« im Verlaufe der »normalen« Entwicklung eines Organismus, nicht aber die »künstlichen Zwecke« bei Operationen von Akteuren standen im Mittelpunkt dieser klassischen Illustrationen. Dies wird im Vergleich zu aktuellen Vorstellungen zur »epigenetischen Landschaft« im folgenden Abschnitt noch deutlicher.

Ein halbes Jahrhundert nach Waddingtons inspirierender Landschaftsmetapher wählten versierte Experimentalforscher und Entwicklungsbiologen in bewusster Erinnerung an Waddingtons Idee ein neues, aber modifiziertes Bild für die molekularen Mechanismen, die im Entwicklungsverlauf nach seinerzeitigem Kenntnisstand eine wichtige Rolle spielen.¹³ Die »epigenetische Landschaft« wird nun als ein komplexes Geschehen im bzw. am Flipper-Spielautomaten visualisiert (vgl. Fig. 2 in Goldberg et al. 2007).¹⁴ In der einstigen »Landschaft« mit Bergen und Tälern interagieren jetzt diverse molekulare Entwicklungsfaktoren und ermöglichen sehr unterschiedliche molekularbiologische Funktionen, was durch die Mechanik des Spielautomaten eindringlich veranschaulicht wird. Exemplarisch werden derzeit bekannte heterogene Mechanismen bzw. unterschiedliche regulatorische Funktionen integriert, z.B. kleine RNA-Moleküle oder Effektor-Proteine zur Erkennung spezifischer Histon-Modifikationen an den Chromosomen, welche wiederum

¹² Wilhelm Roux, Terminologie der Entwicklungsmechanik der Tiere und Pflanzen, Leipzig 1912; Susann Sgodda, Das Kriterium der Totipotenz aus naturwissenschaftlicher Perspektive, in: Entwicklungsbiologische Totipotenz in Ethik und Recht, hg. v. Thomas Heinemann/Hans-Georg Dederer/Tobias Cantz, Göttingen 2015, 13–55.

¹³ Goldberg et al., Epigenetics.

¹⁴ Vgl. die Originalabbildung Fig. 2 zum epigenetischen Flipperautomaten in ebd., <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0092867407001869>.

die Repression oder Aktivierung der Transkription von Genen beeinflussen. Im komplexen Zusammenwirken steuern solche Faktoren ein molekulares Netzwerk, welches für die normale »natürliche« Differenzierung im Verlaufe der Ontogenese erforderlich ist – aber eben auch für die anormale »künstliche« Reprogrammierung von Zellen, die hier ausdrücklich in das Entwicklungsgeschehen einbezogen wird. In dieser neuen Konstellation kann die Entwicklung der Zellen und der Gewebe daher in alle möglichen, auch anormalen Richtungen verlaufen, also auch rückwärts.

Die genauere Bildanalyse liefert weitere Einsichten zum Wandel der Vorstellung von einem quasiteleologischen Landschaftsbild bei Waddington hin zu einem ateleologischen, mechanistischen Automatenbild der organismischen Entwicklung nach Goldberg et al. Einige Bemerkungen zur Rolle des Beobachters bzw. Akteurs seien vorangestellt. Im klassischen Entwicklungsbild von Waddington waren wir Bildbetrachter unbeteiligte Beobachter einer »Landschaft«, d.h. mehr passive Beobachter eines flexiblen »natürlichen« Entwicklungsgeschehens, das sich »epigenetisch« nach und nach entfaltet –, als Beobachter haben wir keinen direkten Einfluss auf dieses Geschehen. Wie steht es in diesem Punkt aber im neuen Bild des Flipperautomaten? Wer ist nicht im Bild des Geschehens enthalten, bestimmt es aber dennoch ganz wesentlich? Nicht der passive Beobachter, aber doch der eingreifende Experimentator und biotechnische Akteur. Denn: Wodurch werden nun die Rahmenbedingungen für die entwicklungsdeterminierenden Faktoren festgelegt? Der forschende Experimentator ist am Flipperautomaten offensichtlich der bestimmende Akteur, der »Spieler«, der durch sein Schalten und Walten das molekulare Entwicklungsspiel skizziert bzw. in Bewegung hält. Er interagiert, damit die Kugel rollt. In Kenntnis der einsetzbaren möglichen Faktoren kann er über die spezifische Art und Richtung des Entwicklungsgeschehens entscheiden, sei es normal »vorwärts« oder durch Reprogrammierung »rückwärts« in der zellulären Entwicklungsrichtung. Dieser spielende und forschende Akteur setzt letztlich seine »Zwecke« selbst fest. Er kann die entdeckten speziellen biologischen »Funktionen« im Cocktail molekularer Entwicklungsfaktoren zu einem epigenetischen Netzwerk nutzen, um die Entwicklung in bestimmte Richtungen zu steuern. Im Flipperbild scheint auf den ersten Blick eine spezifische Abfolge von Vorgängen und eine klare Entwicklungsrichtung nicht erkennbar. Im Prinzip ist aber gemäss dieser Illustration eine »normale« Entwicklung ebenso möglich wie eine »Reprogrammierung«, also die Umkehrung der »natürlichen« Entwicklungsrichtung.

Die Metapher des Spielautomaten visualisiert noch einen weiteren Aspekt der Entwicklung, der in Waddingtons ursprünglichem Bild nur eine untergeordnete, aber zu berücksichtigende Rolle spielte: den Zufall. Trotz und gerade im Bild des Spielautomaten, der auf den ersten Blick dem Bild einer Maschine, die mechanistischen Gesetzen zu folgen scheint, verbleibt im Flipperbild ein grosser »Spielraum«; und zwar nicht nur für Operationen des Akteurs, sondern auch für »natürliche« Wahrscheinlichkeiten und Zufälle unter den gegebenen und technisch induzierten Randbedingungen. Anders formuliert: Kein individueller Zellweg kann in diesem Bild streng deterministisch vorhergesagt werden, sondern unbestimmbare, technische Faktoren und natürliche, zufällige Randbedingungen können die Richtungen der Zellentwicklung beeinflussen. Im alten Landschaftsbild nach Waddington waren die Entwicklungsrichtungen mehr oder weniger kanalisiert und insofern durchaus deterministisch eingeschränkt. Ein blinder und strenger Determinismus durch Gene, Proteine oder durch die Umwelt wird jedenfalls in der neuen Metapher des Spielautomaten nicht visualisiert. Dafür aber kommt ein gewisses Risiko in den Blick, das neben Unwägbarkeiten auf Seiten des Akteurs auch Unwägbarkeiten auf Seiten der konstruierten Maschine beinhaltet. Denn kleinste Veränderungen in der Mechanik des Spielautomaten oder in den Manipulationen des experimentellen Akteurs können die Richtung der Entwicklung nachhaltig beeinflussen.

Weitere Aspekte geben abschliessend Aufschluss über die neuere biotechnologische Entwicklungsagenda. Nach experimentellen Forschungen des Entwicklungsbiologen Shin'ya Yamanaka ist die im Flipperautomaten Goldbergs et al. visualisierte Möglichkeit, die molekulare Reprogrammierung von Zellen, praktisch real geworden.¹⁵ Nicht nur bei Mäusen, sondern auch beim Menschen gelang eine Reprogrammierung adulter Hautzellen hin bzw. »zurück« bis hin zu Zellen, die embryonalen Stammzellen (ES) ähneln, und zwar durch den Einsatz eines essenziellen Cocktails aus bekannten Entwicklungsfaktoren mit spezifischen, die Entwicklung regulierenden »Funktionen«. Die Experimentalforscher waren nun in der Lage, eine hoch differenzierte somatische Zelle in eine unspezifische, pluripotente, embryonale Stammzelle »zurück« zu verwandeln. Experimentell bewiesen wurde damit, was seit der Entdeckung der »Totipotenz« nur als theoretisch denkmöglich galt. Real wurde somit, was bei den frühen experimentellen Entwicklungsmechanikern vor über einem Jahrhundert im Prinzip schon in der Luft lag: Nicht nur

¹⁵ Yamanaka, Nuclear reprogramming.

eine Zygote oder eine ihrer Teilzellen in frühen Entwicklungsstadien hat das biologische Potenzial, die somatischen Zellen für adulte Organismen hervorzubringen, auch umgekehrt besitzt eine somatische Zelle das Potenzial, in andere spezifische und unspezifische bzw. wenig differenzierte Zellen bis hin zu pluripotenten embryonalen Stammzellen verwandelt zu werden. Die Wissenschaftsgeschichte bestätigt daher im Nachhinein die Theorie der »Totipotenz« und fordert dazu auf, über deren Bedeutung und Referenzpunkte zu reflektieren. Was durch die Seeigelexperimente von Hans Driesch und Wilhelm Roux vor über einem Jahrhundert angestoßen und durch John Gurdots Experimente mit transplantierten Zellkernen vor einem halben Jahrhundert schon offensichtlich wurde, ist nun im Klonzeitalter mit Yamanakas Cocktail-Methode der Reprogrammierung von Zellen real geworden: Organismische Entwicklung ist nicht nur in alle Richtungen möglich, sondern operational real und in Grenzen lenkbar.¹⁶

Das neue Retro-Paradigma der Entwicklungsbiologie kann im Rückgriff auf das alte Bild der »epigenetischen Landschaft« Waddingtons auch so beschrieben werden: Einst folgte die Entwicklung von der befruchteten Eizelle bis zum adulten Organismus der essentialistischen und teleologischen Vorstellung einer »natürlichen«, vermeintlich unumkehrbaren Richtung auf ein vermeintlich internes ›Ziel‹ hin, nämlich den adulten Organismus hervorzubringen. Ontogenese verläuft durch eine richtungsorientierte sukzessive Steuerung der Differenzierung aller spezifischen somatischen ›Zellfunktionen‹, vom Embryo hin zum fertigen adulten Organismus. Bereits im alten Bild konnte seit Waddington und kann bis heute eine gewisse Kanalisierung und Plastizität der Entwicklung mitbedacht werden.¹⁷ Der Vorgang erschien zudem energetisch betrachtet in Waddingtons Zeiten mehr als eine in einer kanalisierten Richtung verlaufende, »natürliche« Bergab-Differenzierung aller Zellformen. Aktuell aber ist der scheinbar Richtung gebende, unüberwindbare Energieberg in der epigenetischen Landschaft in umgekehrter Richtung, also bergauf, erklimmbar geworden. Denn die »natürliche«, vermeintlich energetisch günstige Entwicklungsrichtung in der Ontogenese kann nun durch den manipulierenden Einsatz weniger molekularer Faktoren »künstlich« umgekehrt werden. Hochdifferenzierte Zellen können zu undifferenzierten Zellen verwandelt werden und besitzen das Potenzial, ganze Eizellen, Zygoten, Gewebe, Organe bzw. Organismen hervorbringen zu können.

¹⁶ Vgl. Sgodda, Das Kriterium der Totipotenz.

¹⁷ Vgl. Horsthemke, Weichenstellungen im Genom.

Biologiehistorisch und biophilosophisch betrachtet ist demnach eine Umkehrung der Entwicklungsrichtung entgegen der einstigen Vorstellung von einer entelechialen, inneren, essenziellen Teleologie nicht nur möglich, sondern wirklich und durchführbar geworden. Physikalisch und naturphilosophisch betrachtet folgt diese neue Entwicklungsmöglichkeit nicht mehr der Vorstellung einer »natürlichen« Richtung eines leichten, ökonomischen Bergab-Energieflusses, sondern erscheint dem wissenschaftlichen Beobachter vielmehr als ein schwieriger und unwahrscheinlicher Bergaufstieg, entgegen einem »normalen« Bergab-Energiefluss bei der Ausdifferenzierung von Körperzellen zu Hautzellen, Nervenzellen etc. Also: Ganz offensichtlich stehen die diversen, bis dahin in der Forschung explorierten »Funktionen« von Faktoren etc. jetzt gänzlich unter der Herrschaft der bewusst gesetzten »Zwecke« des handelnden Akteurs, der in der Lage ist, die bisherige für »normal« gehaltene Entwicklungsrichtung umzukehren. Der Akteur setzt die Faktoren als praktische Mittel um des Zweckes der Auffindung grundlegender Mechanismen der Entwicklung willen letztlich um der Entwicklung neuer therapeutischer Möglichkeiten willen ein.

Noch ein letzter spezieller, nun physikalischer Aspekt ist bei der Verwendung der Landschafts-Metapher noch aufschlussreich. Die »natürliche« Richtung einer ontogenetischen Entwicklung wurde bislang meist als zeitliche Richtung einer organischen, immer komplexer werdenden Gestaltentfaltung verstanden; anders formuliert, als Epigenese entlang einem physikalischen Zeitpfeil von einer Anfangssituation hin zum Telos des adulten fertigen Organismus. In klassischen biologischen (!) Theorien der Phylo- und Ontogenese wird der physikalische Zeitpfeil im Allgemeinen als nicht umkehrbar mit ins Geschehen hineingedacht. Dies gilt auch für klassische physikalische Theorien zum Wärmetod, nicht aber beispielsweise für Hawkings moderne kosmologische Konzepte bzw. Spekulationen über eine »Kurze Geschichte der Zeit«.¹⁸ Aber in den bisher üblichen, »normalen« biologischen Kontexten laufen Zeit und Entwicklung quasi parallel in eine Richtung. Die zeitliche Ontogenese eines Organismus – von der Befruchtung über die Geburt bis zum Tod eines Menschen – gilt als »normal«. Dass diese »normale« Entwicklungsrichtung entlang der lebensweltlichen Zeitachse ohne Eingriff des Menschen erfolgt, lässt sie aus theoretischer Perspektive als »natürlich« erscheinen, quasi als ob ein früheres Funktionsgeschehen, wie in der Zygote, von selbst auf ein bestimmtes späteres Telos ausgerichtet wäre, d.h. auf die Hervorbringung eines hoch

¹⁸ Stephen Hawking, Eine kurze Geschichte der Zeit, Reinbek 1991.

differenzierten adulten Organismus. Die neuere experimentelle Stammzellforschung der Re- und Umprogrammierung demonstriert aber offenkundig, dass diese Entwicklungsrichtung nichts mit einem »natürlichen« Zeitpfeil zu tun hat, sondern allein der Zwecksetzung seitens der Akteure unterworfen ist. Denn der forschende oder therapierende Akteur setzt den »Zweck«, er will bestimmte molekulare Faktoren »funktional« so einsetzen, dass aus einer (»normalerweise späteren«) adulten somatischen Zelle oder einem organischen Gebilde wieder eine (»normalerweise früher«) ausgebildete, z.B. pluripotente Stammzelle oder auch Zygote hervorgehen kann. Diese »künstlichen« praktischen »Zwecke« zur Rück- und Umentwicklung überformen die »natürlichen« theoretischen Funktionen der eingesetzten molekularen Steuermechanismen und leiten einen scheinbar beliebigen Retro-Gestaltwandel ein, also unabhängig von der »normalen« epigenetischen Entwicklungsrichtung entlang dem »natürlichen« Zeitpfeil. Kurzum: Nicht die bislang entlang der lebensweltlichen Zeitachse empirisch bzw. theoretisch als »normal« betrachtete und beobachtete »natürliche« Ontogenese wird in diesem Fall »normativ«, also handlungsleitend für den spezielle Zwecke setzenden und eingreifenden Akteur, sondern gerade die Umkehr der »natürlichen« Entwicklungsrichtung. Als Experimentalembryologe setzt der Akteur beispielsweise bei der Erzeugung induzierter pluripotenter Stammzellen aus adulten somatischen Zellen selbst den generellen »Zweck« einer Retro-Ontogenese. Wissenschaftshistorisch betrachtet erfolgt dies entgegen den bisher beobachteten Erwartungen und Vorstellungen zu einem »natürlichen« zeitlichen Verlauf einer eingriffsfreien Epigenese.

Wissenschaftsphilosophisch und historisch-hermeneutisch betrachtet ist noch ein weiterer Punkt interessant. Forscher und Denker folgen in ihrer Zeit nicht selten innovativen, heuristischen – wenngleich häufig auch unaufgeklärten – Intuitionen, wenn sie mit Metaphern und Visualisierungen operieren, um sich selbst und dem Alltagsverstand schwer verständliche oder verborgene komplexe Vorgänge in den Grundzügen zu illustrieren – so im vorliegenden Fall der Epigenese bzw. Ontogenese. Die Metapher der »natürlichen« »epigenetischen Landschaft«, die Waddington einst primär zur theoretischen Veranschaulichung »natürlicher« oder »normaler« Entwicklungsvorgänge in der Ontogenese einführte, ist ein halbes Jahrhundert später angesichts der neuen Erkenntnisse und Möglichkeiten in der Stammzellenforschung und molekularen Entwicklungsbiologie zu Recht durch die Metapher eines »künstlichen« Spielautomaten ersetzt bzw. in eine reduktionistische, mechanisti-

sche Metapher transformiert worden. Aus begrenzten organischen, »natürlichen« Entwicklungsoptionen, welche Gestaltentfaltung mittels Kanalisierung und Plastizität ermöglichen sollten und einst die Metapher einer »epigenetischen Landschaft« evozierten, ist aktuell eine komplexe molekulare Maschinerie geworden, in der »natürliche Funktionen« und »künstliche Zwecke« sowie Zufälle unübersichtlich ineinander greifen. Fakt ist: Molekulare »Funktionen« werden letztlich diversen instrumentellen »Zwecken« unterworfen. Die einst mehr ein passives Potenzial begrenzenden, formierenden Randbedingungen in einer »epigenetischen Landschaft«, deren Täler und Hügel, sind für das aktive Handlungsgeschehen der Akteure kein Hindernis mehr; sie sind vielmehr dem offenen Geschehen am »Spielautomaten« gewichen. Das »Spiel« mit »natürlichen« und »künstlichen« molekularen Teilfunktionen am Flipperautomaten verbindet der externe, forschende Akteur mit den von ihm bewusst gesetzten Zwecken und besonderen Interessen, sei es in der Grundlagenforschung, in therapeutischen Anwendungsfeldern oder in der Reproduktionsmedizin. Das epigenetische Leben wurde dagegen in der klassischen Entwicklungsbiologie noch als ein passives Bündel zu untersuchender »natürlicher Funktionen« verstanden. Nun eröffnet sich ganz offensichtlich ein weiter, aktiver »Spielraum« für diverse »künstliche« menschliche Zwecksetzungen, wobei am Rand auch diese der Regie des Zufalls unterworfen sind. So kann die Möglichkeit aktiver induzierter Reprogrammierung von adulten Zellen hin zu embryonalen Stammzellen dem Zweck der Auffindung grundlegender Entwicklungsmechanismen oder der therapeutischen Anwendung dienen. Die direkte Umprogrammierung von adulten, hochdifferenzierten körpereigenen Zellen eines Menschen in andere gewünschte, spezifisch differenzierte Zellen, in spezifisches Gewebe oder Organe, wird zukünftig neue Metaphern und Formen der Visualisierung des Entwicklungsgeschehens hervorbringen – vermutlich jenseits der Bilder einer »epigenetischen Landschaft« oder eines »Flipperautomaten«.

Bei aller Vorsicht, die Beispiele und Metaphern zeigen, man sollte die Rolle solcher Bilder nicht abschwächen und unterschätzen, denn sie normieren im Vorfeld theoretische und praktische Handlungsräume, sie wirken im forschenden und öffentlichen Umgang mit den betroffenen biologischen Objekten, sie können zudem jenseits ethischer Akzeptabilität die reale Akzeptanz dieser Forschungen verstärken oder vermindern. Das Spiel mit Metaphern und Visualisierungsformen in der Entwicklungsbiologie sollte andererseits auch nicht übertrieben werden. Im vorliegenden Fall diene es der

Analyse der Veranschaulichung eines historischen Paradigmenwechsels und komplexer Interaktionen zwischen Theorie und Praxis in der aktuellen Entwicklungsbiologie.

Wie kann aber im Kontext der aktuellen Biophilosophie der philosophische Hintergrund der Entteleologisierung der Ontogenese bzw. das epistemologische Problemfeld kritisch erhellt werden? Dies erfordert weitere Einblicke in die moderne Biophilosophie der Funktionsbegriffe und einige kurze Überlegungen zur Rolle des Schlüsselbegriffes »Organismus«.

2. Zur Biophilosophie der Funktionen und des Organismus

Um die Besonderheit des Organismus im Unterschied zu anorganischen Gebilden herauszustellen, wurde von modernen Molekular- oder Evolutionsbiologen insbesondere die Programmmetapher bevorzugt. An eine solche teleologische Terminologie knüpfte beispielsweise der Evolutionstheoretiker Ernst Mayr an und differenzierte aber zwischen Teleologie, Teleonomie und Teleomatie. Eigentliche teleologische Vorgänge folgen demnach bewusst gesetzten Zwecken, während sogenannte teleonomische Vorgänge alle Organismen auszeichnen, da ihre Prozesse zielgerecht genetischen Programmen folgen.¹⁹ Statt einer solchen quasiteleologischen Programmmetapher bevorzugten kritische Biophilosophen den Begriff der »Funktion« und stellen ihn in den Mittelpunkt der Analyse organischer Phänomene.²⁰ Bereits der Wissenschaftstheoretiker Wolfgang Stegmüller fokussierte in seinen Analysen²¹ auf einen einheitlichen allgemeinen Funktionsbegriff, um wissenschaftliche Erklärungen für Biophänomene zu ermöglichen, z.B. für Entwicklungs- oder Regulationsvorgänge. Demgegenüber reklamieren moderne Biophilosophen wie Mahner und Bunge fünf verschiedene, abgrenzbare Funktionsbegriffe für je besondere biologische Phänomene; sie

¹⁹ Ernst Mayr, Teleologisch und teleonomisch – eine neue Analyse, in: Ders., *Evolution und die Vielfalt des Lebens*, Berlin 1979, 198–229.

²⁰ Martin Mahner/Mario Bunge, *Philosophische Grundlagen der Biologie*, Berlin 2000.

²¹ Wolfgang Stegmüller, Einige Beiträge zum Problem der Teleologie und der Analyse von Systemen mit zielgerichteter Organisation, in: Ders., *Aufsätze zur Wissenschaftstheorie*, Darmstadt 1974, 21–56.

beschreiten also den Weg eines »Funktionspluralismus«.²² Diese fünf Funktionsbegriffe unterscheiden sich nicht nur durch je spezifische Bedeutungsfelder, sie bauen nach Mahner und Bunge zudem logisch aufeinander auf bzw. sind kombinierbar. Folgende fünf biologische Bedeutungskontexte von F1 bis F5 werden unterschieden:

Funktion 1: interne Aktivität (Funktionieren, z.B. Enzyme im Stoffwechsel)

Funktion 2: externe Aktivität (Fungieren, z.B. Organe zur Fortbewegung)

Funktion 3: interne und externe Aktivität (Gesamtaktivität: Funktionieren und Fungieren, z.B. physiologische Herstellung von ATP oder die neuronale Koordination der aktiven Muskelbewegung zwecks Fortbewegung eines vierbeinigen Organismus)

Funktion 4: F1 und F2 mit Passungscharakter (z.B. die Nase als Brillenträger)

Funktion 5: F4 mit Anpassungscharakter (selektionsbedingte Passung, z.B. eine Nase mit Geruchsrezeptoren, um Nahrung aufzuspüren)

Die Beispiele veranschaulichen die Verwendung dieser fünf unterschiedlichen Funktionsbegriffe in vielfältigen biologischen Kontexten. Wer von »Funktionen« spricht, stösst notgedrungen auch auf die Rede von einer »Dysfunktion«. Wann sollte man von einer »Dysfunktion« sprechen? Nach Mahner und Bunge im Fall der Funktionen F1 bis F4, nicht aber bei F5! Sie verdeutlichen das mit folgendem Beispiel: »Ein Herz, das aufgrund eines Defektes nicht effektiv oder gar kein Blut pumpen kann, ist ganz klar dysfunktional F4 (Passung). Aber ist es auch dysfunktional F5? (Anpassung) Ist es dysfunktional, weil das Blutpumpen der evolutionäre ›Zweck‹ des Herzens ist, weil es das ist, ›wozu‹ das Herz evolviert wurde [...]«²³ Eine solche teleologische Aussage bzw. Frage ist nach Mahner und Bunge sinnlos, da man dann entgegen der rationalen Teleologiekritik die Evolution zu einem Subjekt der Verfolgung unbewusster ›Ziele‹ oder bewusster ›Zwecke‹ erhebt bzw. solche realen Ziele oder Zwecke biologischen Prozessen unterlegt.

Dieser Funktionspluralismus nach Mahner und Bunge erscheint biologisch betrachtet pragmatisch und angemessen, nicht zuletzt, weil er von einer teleoterminologischen Akrobatik zu befreien

²² Mahner/Bunge, Philosophische Grundlagen, vgl. Abschnitt 4.5 »Funktion und Anpassung« bzw. Kap. 10 »Teleologie«.

²³ Ebd., 160f.

scheint, z.B. der Rede von einer »Teleonomie« im Organischen. Doch ist eine vertiefende Klärung von Ähnlichkeiten und Unterschieden im Gebrauch der fünf verschiedenen Funktionsbegriffe erforderlich. Unklar bleibt, welcher der fünf Funktionsbegriffe auf welchen biologischen Phänomenbereich anzuwenden ist, wie z.B. im obigen Bereich verschiedener Funktionen von Faktoren bei Entwicklungsvorgängen in der »epigenetischen Landschaft«. Ferner zeigt sich in den meisten Anwendungskontexten des biologischen Funktionspluralismus, insbesondere im Fall möglicher »Dysteleologien«, dass – im Anschluss an Kant betrachtet – 1.) die epistemologisch-kritische »regulative« Bedeutungsrestriktion, 2.) die partiell »heuristische« Rolle in der Forschung und 3.) die apriorische Organismusdefinition noch immer unverzichtbare Elemente biologischer Funktionskontexte sind. Diese organismischen Kernkonnotationen können vom Begriff der biologischen Funktion nicht ohne Weiteres abgelöst werden, was weiter unten noch deutlicher wird.

Über die von Mahner und Bunge aufgeführten fünf theoretischen Funktionsbegriffe hinaus wäre noch ein normativer Funktionsbegriff anzuführen, eben genau dann, wenn »normale« phylogenetische oder ontogenetische Prozesse in Bewertungen als »normativ« hingestellt werden, z.B. wenn von einer »normalen« Entwicklung gesprochen wird. Zudem bleibt offen, woran eigentlich Mass genommen werden muss, wenn von einer »Dysfunktion« die Rede ist – wohl keinesfalls am Verlauf einer zufälligen, ergebnisoffenen Evolution bzw. einer »Anpassung« (F5). Denn es soll sicherlich kein teleologischer Essenzialismus in der Entwicklungsrichtung zu »höheren« Arten bzw. ein Anthropozentrismus unterstellt werden, noch eine zielgerichtete »Anpassung« an eine Umwelt. Nach Mahner und Bunge kann zwar bei »Dysfunktionen« auf den F1-F4-Komplex nicht-evolutionärer Funktionsbegriffe rekuriert werden. Dies macht biologisch jedoch kaum Sinn, wenn nicht auf die übergeordneten Lebensfunktionen eines *Organismus* Bezug genommen wird; dieser dient also als Massstab, der die Beurteilung der Erreichung einer funktionalen »Norm« ermöglicht. Wie können z.B. eine »normale«, natürliche Entwicklung, ein »normaler« Wachstumsprozess, eine »normale« Ernährung, eine »normale« Reproduktion, verstanden werden, wenn nicht ein Organismusbegriff als normativer Referenzpunkt vorausgesetzt wird? Was aber ist ein »normaler« Organismus oder eine »normale« Organogenese? Die obige Illustration biotechnischer Möglichkeiten von »Funktionen« und »Zwecken« in der Entwicklung anhand eines Flipperautomaten deutete die Probleme an. Solange wir auf Durchschnittswerte von beobachtbaren »normalen Prozessen« oder

auf Durchschnittswerte in Populationen rekurren, die bei der Beurteilung zugrunde gelegt werden, befinden wir uns vielleicht noch in einer beschreibenden oder erklärenden Beobachterperspektive. Wenn aber eine bestimmte »Normalität« aus einem Spektrum verwirklichter Zustände durch ein Funktionsurteil bzw. bei Anwendung des Begriffs der »Dysfunktion« zur »Norm« erhoben wird, zeichnen wir diese als »normativ« im Sinne einer bewertenden Antizipation aus und verlassen den theoretischen, heuristischen, biophilosophischen Diskurs zugunsten praktischer, biotechnisch und bioethisch relevanter Funktionsurteile. Wäre z.B. eine Reprogrammierung von Hautzellen zu pluripotenten Zellen in der Entwicklung eine »Funktion« oder eine »Dysfunktion« zu nennen?

Spätestens im ethischen Kontext bedarf es einer organismuszentrierten Rechtfertigung solcher vermeintlich rein theoretischen Funktionsurteile über »Gesundheit«, »Krankheit« bzw. »Störungen« von »normalen« Entwicklungen eines Organismus. Gefordert sind dann überzeugende praktische Gründe für das, was – unter Berücksichtigung technisch-pragmatischer Realisierbarkeit – moralisch als »normativ« gelten soll. Dies gilt im weiteren Sinn auch für die normative Inanspruchnahme eines biologisch und naturphilosophisch fundierten, aber ethisch und rechtlich überforderten Totipotenzbegriffes.²⁴ Der Geltungsanspruch von normativen Standards – von Sollzuständen im Organischen – ist immer zu rechtfertigen, pragmatisch und ethisch. Damit ist der Übergang von der Biophilosophie zur Bioethik gemacht und zu beachten: Theoretisch beobachtbare Normalität ist nicht per se normativ für menschliches Handeln, sondern nur dann, wenn das »Normale« auch als praktische Richtschnur für menschliches Handeln, z.B. bei der reproduktionsmedizinischen Herstellung »normaler« Organismen, moralisch-praktisch gerechtfertigt werden kann.²⁵

Rückblickend ist festzuhalten: Der oben skizzierte Funktionspluralismus nach Mahner und Bunge ist für biowissenschaftliche Erkenntnisinteressen bedingt realistisch und wird dem Gebrauch vielfältiger Bedeutungen theoretisch-biologischer Funktionsbegriffe gerecht. Die Autoren bemühen sich zudem um eine wissenschaftsphilosophische Systematik bei der Bedeutungszuweisung von »Funktionen« und bieten einen formalen Aufbau für unterschiedliche Bedeutungsinhalte. Ihr Funktionspluralismus stellt somit ein hilfreiches Instrumentarium für Biowissenschaftler bereit, um theoretisch-biologische Funktionsurteile über biologische Entitäten

²⁴ Huber, Totipotenz.

²⁵ Zur ethischen Problematik vgl. den Beitrag von Heike Baranzke in diesem Band.

zu fällen. Doch bleibt dem Organismusbegriff als dem fundamentalen, inhaltlich bestimmenden Reflexionsbegriff in der Biologie zu wenig Raum.

3. Ein epistemologischer Ansatz beim »Organismus«

Der Organismusbegriff steht im Mittelpunkt biophilosophischer Analysen und ist, je nach biologischem Kontext, ein Schlüsselbegriff bei der Erklärung der Lebendigkeit.²⁶ Bereits in Kants Philosophie der Natur lassen sich unterschiedliche Bedeutungsebenen ausmachen, woran nachfolgend aus teleologiekritischer Perspektive angeknüpft wird.²⁷

Begriffe, die es ermöglichen, auf andere Begriffe zu reflektieren bzw. deren besonderes Verhältnis zu anderen Begriffen zu bedenken, können mit Kant Reflexionsbegriffe genannt werden. Sie gelten als »transzendental«, wenn sie allgemeine und notwendige Bedingungen der Möglichkeit für die Erkenntnis bzw. Konstruktion von Sachverhalten sind. »Zweckmässigkeit« ist ein solcher besondere Erkenntnisse ermöglichender Relationsbegriff in der Biologie und wird letztlich auch der Vorstellung einer »biologischen Funktion« zugrunde gelegt. Der zentrale Referenzpunkt aber ist der Organismusbegriff, wenn man darunter eine Einheit zur Verwirklichung bzw. zur Aufrechterhaltung diverser »funktionaler« Zweck-Mittel-Relationen versteht. Ich möchte folgende elementare, biologische Erkenntnis ermöglichende Funktionalrelationen (FR) unterscheiden und ausgehend vom Organismusbegriff einige Beziehungen systematisch vorstellen:

1. Intraorganismische Funktionalrelationen (FR1)
2. Interorganismische Funktionalrelationen (FR2)
3. Funktionale Organismus-Umwelt-Relationen (O-U-FR3)
4. Extraorganismische Funktionalrelationen (FR4)

Ich vermute, dass mit diesen grundlegenden Funktionalrelationen alle biologischen Phänomene bzw. Erkenntnisse formal integriert

²⁶ Georg Toepfer/Francesca Micheli (Hg.), *Organismus. Die Erklärung der Lebendigkeit*, Freiburg 2016.

²⁷ Hans Werner Ingensiep, *Probleme in Kants Biophilosophie. Zum Verhältnis von Transzendentalphilosophie, Teleologiemetaphysik und empirischer Bioontologie bei Kant*, in: *Kants Philosophie der Natur*, hg. v. Ernst-Otto Onnasch, Berlin 2009, 79–114.

werden können. Dies möchte ich anhand einer Übersichtsdarstellung mit Beispielen aus der Biologie illustrieren.

Abb. 1: Biologische Erkenntnisse ermöglichende Funktionalrelationen

Die weit über dreihundert Zellformen im Gewebe von Organismen sowie deren grössere komplexe Organe wie Herz, Lunge, Gehirn stehen offenkundig in intraorganismischen Funktionalrelationen zueinander. Sie bringen durch ihr »zweckmässiges« Zusammenwirken den Organismus als Zweck-Mittel-Einheit erst hervor (FR1). Parasitismus, z.B. von Bandwürmern in Organismen, oder Symbiosen von Bakterien in Organismen, ferner Beziehungen zwischen Insekten und Blütenpflanzen sind exemplarische Formen interorganismischer Funktionalrelationen (FR2). Die Sauerstoffproduktion durch höhere Pflanzen oder die Kohlendioxidproduktion durch höhere Tiere betreffen funktionale Organismus-Umwelt-Relationen, wenn die dabei produzierten Stoffe für die Organismen energetisch betrachtet »zweckmässig« sind (O-U-FR3). Zu Organismus-Umwelt-Funktionalrelationen gehören aber auch alle Formen der Fortbewegung, wie im Wasser durch Flossen, auf dem Land durch Beine oder in der Luft durch Flügel. Sind sie durch natürliche Selektion entstanden, kann man sie als »zweckmässige Anpassung« an die jeweiligen Umweltverhältnisse bezeichnen.

Schliesslich gibt es noch extraorganismische Funktionalrelationen, die nicht unmittelbar von und durch Organismen hergestellt worden sein können. So können die Elemente Wasser, Erde und

Luft oder geologisch geprägte Landschaften zufällig entstehen, aber als ›zweckmässige‹ Lebensräume für Organismen dienen (FR4). Wind und Landschaft stehen in einer besonderen Beziehung, die für Organismen »zweckmässig« erscheinen, z.B. bei der pflanzlichen Fortpflanzung durch Pollen oder Bienen. Ferner kann man von kontingenten Funktionalrelationen sprechen, wenn z.B. starke Winde eine Landschaft formen, dabei Pflanzensamen verbreiten, wonach irgendwo Buschwerk wächst, das wiederum mögliche Schutzzräume für Tiere bietet, also kleine »Ökosysteme« formieren. Zu FR4 gehören aber formal auch solche Beziehungen, die überhaupt aktuell weder eine direkte noch eine indirekte Funktion für Organismen haben, die also im eigentlichen Sinne der Wortbedeutung ›extraorganismisch‹ sind.

Man verwendet alle hier aufgeführten Funktionalrelationen im deskriptiven Erzählkontext evolutionärer Anpassungsgeschichten zu Organismen, Populationen oder Arten, deren Merkmale und Eigenschaften dann aber kausal zu *erklären* sind, beispielsweise bei der kausalgenetischen Erklärung der Entstehung der bunten Musterung von Schmetterlingsflügeln durch eine Theorie der modernen evolutionären Entwicklungsbiologie nach Carroll.²⁸ Man kann und muss in solchen Fällen den Begriff ›Organismus‹ verwenden und mittels des Zweckbegriffs als diejenige Einheit, deren Teile zur Hervorbringung eines Ganzen dienen, definieren. Das ›Ganze‹ zeigt sich dann in den beobachtbaren Merkmalen eines Phänotyps. Man kann diesen Begriff von Organismus auch in anderen Kontexten methodisch fruchtbar machen, beispielsweise im Kontext der Relation der ›Anpassung‹ als besondere Beziehung zwischen einem Organismus und seiner Umwelt reflektieren – als ›zweckmässige‹ Relation (FR3). Solche Zweckrelationen lassen sich ebenfalls zwischen verschiedenen Organismen (FR2) reflektieren, beispielsweise wenn es um Farbmuster geht, die eine Signalwirkung im Kontext sexueller Selektion haben. Soweit erläutern einige Beispiele die hier vorgestellten möglichen organismischen Funktionalrelationen.

In allen diesen Fällen ist es also erforderlich zu reflektieren, was es heisst, einen ›Zweck‹ in die Deutung des biologischen Geschehens einzubringen. Die ursprünglich ›intuitive‹ Zweckbedeutung erschliesst sich dabei nur einem selbst als einem bewusst Zwecke setzenden, ›erstpersonalen‹ Akteur. In weiteren Denkschritten und Kontexten vermag dieser Akteur von seiner intuitiven Akteurperspektive zu abstrahieren und den Zweckbegriff von seiner praktischen Quelle – einem Handlungskontext – losgelöst zu verwenden,

²⁸ Sean B. Carroll, Evo Devo. Das neue Bild der Evolution, Berlin 2008.

beispielsweise im Begriff einer »zweckmässigen« biologischen Anpassung zwischen einem Organismus und seiner Umwelt bzw. in der »Funktion« einer bestimmten Art in einem Ökosystem. Diese Bedeutung von »Zweckmässigkeit« steht nicht mehr notwendigerweise in Beziehung zu vorausgesetzten Vorstellungen einer »Zwecktätigkeit«. Letztere steht vielmehr im evolutionären Kontext grundsätzlich in Frage. Denn eine originäre »Zwecktätigkeit« würde nur dann zu vermuten sein, wenn der Evolution der Organismen insgesamt unterstellt würde, ein intentionales Subjekt von Entwicklung zu sein oder bewusst reproduktionsfähige Entitäten hervorbringen zu wollen. Ob nun die Evolution selbst dabei als Akteur gedacht wird, wie im Falle einer »Selbstorganisation«, oder in ihr ein lenkender externer Gott wirkt, sei dahingestellt. Immer ist Folgendes zu differenzieren: Der Terminus »Zweck« kann in solchen biologischen Kontexten durchaus bloss beschreibend – deskriptiv – eingesetzt werden, aber eben nicht als ein proximaler oder ultimer *kausal* erklärender Term. Hermeneutisch plausibel ist er nur dann, wenn für bestimmte Zwecke oder Ziele explanativ auf seine praktische Bedeutung Bezug genommen wird. Losgelöst vom praktischen Handlungskontext handelt es sich um einen diesem entlehnten, biologisch potenziell fruchtbaren Reflexionsbegriff. Nochmals anders formuliert: Der Zweckterminus kann eine beschreibende oder heuristische Bedeutung haben, was bedeutet, man kann ihn in Beobachtungs- und Forschungskontexte einführen. Ferner kann der Zweckbegriff möglicherweise weitere Beziehungen zwischen »biologischen Fakten« erschliessen, ohne diese aber *kausal* erklären zu können. Beispielsweise ist die Sauerstoffproduktion durch Pflanzen den atmenden Tieren dienlich und umgekehrt der Verbrauch von Sauerstoff durch höhere Tiere sowie die Produktion von Kohlendioxid für Pflanzen zweckmässig. Doch diese besondere »zweckmässige« Beziehung zwischen Pflanzen und Tieren würde kein moderner Biologe nach Darwin mehr als Ergebnis der Zwecktätigkeit eines intentionalen Akteurs auffassen wollen. Ferner kann nur deskriptiv und heuristisch von einer »Zweckmässigkeit« in der Beziehung zwischen Pflanzen und Tieren etc. gesprochen werden. Darüber hinaus kann vermutet werden, dass Pflanzen und Tiere auf einem anderen Planeten in einer analogen Interaktionsbeziehung zueinander stehen könnten. Vermutungen und Analogien sind aber keine kausalen Erklärungen. Anders gesagt: Heuristische Teleoprojektionen dieser Art mit Bezug auf biologische Naturvorgänge sind dem herrschenden Wissenschaftsparadigma gemäss ateleologisch kausal zu *erklären* – in der Diktion von Mayr physikochemisch »teleomatisch« –, aber

eben nicht »teleonomisch« – als Realisationen von genetischen »Programmen«.

Rückblick

Diese elementaren biophilosophischen Überlegungen sind nicht nur im Vorfeld bioethischer Aussagen über Normen und Werte zu beachten, sondern auch, wenn abstrakte Verhältnisse in konkreten Bereichen der Biologie und Medizin, z.B. in der menschlichen Entwicklungsbiologie, durch Metaphern und Bilder illustriert oder medial heruntergebrochen werden sollen. Wie sich diesbezügliche Vorstellungen gewandelt haben und welche Arten der Vermischung von biologischen »Funktionen« und menschlichen »Zwecken« im theoretischen Kontext der Entwicklungsbiologie begegnen können, verdeutlichte die zuvor skizzierte Transformationsanalyse der klassischen Metapher der »epigenetischen Landschaft«. Es zeigte sich aber in der Analyse der aktuellen Interpretation bzw. Visualisierung der »epigenetischen Landschaft« als Flipperautomat, dass dabei praktische Zweckbegriffe und biotheoretische Funktionsbegriffe zu einer heterogenen biophilosophischen und quasiteleologischen Matrix verwoben werden, in der einerseits diverse Funktionsbegriffe sowie der biotheoretische Organismusbegriff, andererseits der Begriff eines Zwecke setzenden biotechnischen Akteurs schon in den Beschreibungen vorausgesetzt werden.

Ein ähnliches Ergebnis dürfte die genauere Analyse von überorganismischen Systemen ergeben, die einst als »Ökosysteme« beschrieben zwar dem biotheoretischen Funktionsbegriff folgen, andererseits aber gegenwärtig im sogenannten »ecosystem service management« praktischen Zweckbegriffen eines Akteurs unterworfen werden und somit längst eine normative Bedeutung angenommen haben.²⁹ Auch in solchen ökologischen Wissenskonzepten ist aufgrund der Mischung von »natürlichen Funktionen« (z.B. zur Herstellung eines funktionalen »Gleichgewichts« zwischen bestimmten Räuber-Beute-Arten) und praktischen Zwecken eines beschreibenden Akteurs keine »Natur pur« mehr zu ermitteln, es sei denn mit Hilfe einer quasiteleologischen Matrix von Begriffen. Solche Begriffsmischungen kennzeichnen ebenfalls das moderne Forschungsfeld und »service management« auf dem Gebiet der Embryologie bzw. einer manipulativen und reproduktiven Gen- und Biotechnologie.

²⁹ Vgl. Kurt Jax (Hg.), Funktionsbegriff und Unsicherheit in der Ökologie, Frankfurt a.M. 2000.

»Natur pur« ist angesichts der in der obigen Analyse dargestellten epistemologischen Komplexität der involvierten Zweck-, Funktions- bzw. Organismusbegriffe in einer »epigenetischen Landschaft« (ebensowenig wie im »Ökosystem«) zu haben – also nicht einmal in der vermeintlich so »natürlichen« Ontogenese, geschweige denn in der Phylogenese der Organismen.

– Prof. Dr. Hans Werner Ingensiep ist Biologe und Professor für Philosophie und Wissenschaftsgeschichte und lehrt in den Biowissenschaften sowie am Institut für Philosophie der Universität Duisburg-Essen. Publikationen: Fachartikel und Bücher zu Themen der Biophilosophie, Bioethik und Wissenschaftsgeschichte, z.B. Der kultivierte Affe. Philosophie, Geschichte, Gegenwart (Hirzel, Stuttgart 2013).