

Wachstum, Evolution und Entwicklung.

Rudolf Kötter, Erlangen

1 EINLEITUNG

„Mein Gott, der Junge ist ja schon wieder gewachsen!“ Mit einem solchen oder ähnlichen Satz wird der junge Mensch auf Wachstumsphänomene aufmerksam gemacht und die ständige Bekräftigung dieser subjektiv empfundenen Selbstverständlichkeit durch das familiäre Umfeld lässt bei ihm Unmut wachsen. Ein Unmut, der sich dann viele Jahre später wieder einstellt, wenn der Blick in den Spiegel oder auf den Kamm zeigt, dass so manches Wachstumsphänomen den Charakter des Selbstverständlichen endgültig zu verlieren droht. Wir erfahren es also täglich an uns selbst, dass das Leben in unauflöslicher Weise mit Wachstum verbunden ist, was nicht heißt, dass Wachstum selbst eine genuin organische Eigenschaft wäre. So können wir immer wieder das grandiose Schauspiel beobachten, wenn sich an einem schwülen Sommernachmittag gleichsam aus dem Nichts Gewitterwolken bilden und zu gewaltigen Formationen heranwachsen. Und obwohl sich ein solcher Vorgang nie in identischer Weise wiederholt ist der zugrunde liegende Bildungsprozess immer der gleiche. Nicht so spektakulär vollzieht sich das Wachstum von Schnee- oder Salzkristallen, allerdings ist hier der Bildungsprozess sinnfälliger, da das Wachstum eines Kristalls sich nicht nur als Zunahme einer Größe wie Länge oder Volumen über die Zeit beschreiben lässt, sondern auch als Hineinwachsen in eine bestimmte geometrische Form, wobei sich der Kristall in jeder Phase seines Wachstums formähnlich ist. Gerade Biologen hat dieser Aspekt des Kristallwachstums schon immer fasziniert, da sich in der Verknüpfung von Wachstum und Form eine starke Ähnlichkeit zu biologischen Vorgängen zeigt. Zugleich ist aber die Formidentität der Wachstumsphasen beim Kristall ein entscheidendes Merkmal, das offensichtlich organisches und anorganisches Wachstum unterscheidet, ist doch im Bereich des Lebendigen Wachstum immer begleitet von qualitativen Veränderungen, welche sich in einem Gestalt- oder Funktionswandel äußern. Dies gilt sowohl auf der Ebene der Populationen (Evolution) wie auf der Ebene der Individuen (Entwicklung). Aus dieser Verknüpfung von quantitativen mit qualitativen Veränderungen ergeben sich auch besondere Herausforderungen für die Beschreibungs- und Erklärungsformen in der Biologie. Ihnen möchte ich im Folgenden aus wissenschaftstheoretischer Sicht etwas näher nachgehen.

2 WACHSTUM, EVOLUTION UND ÖKONOMIE

Von „Wachstum“ in einem *absoluten* Sinn sprechen wir, wenn ein *Größe* im Zeitverlauf zunimmt, wobei dies auf recht unterschiedliche Weise geschehen kann. Wachstum kann in diskreten Schüben verlaufen oder kontinuierlich, wobei im letzteren Fall insbesondere lineare oder exponentielle Verläufe von Interesse sind; es können sich aber auch Phasen der Zunahme und der Abnahme abwechseln, so dass „Wachstum“ nur als längerfristiger Trend ausgemacht werden kann. Daneben spricht man von einem *relativen* Wachstum, wenn zwei oder mehrere Größen sich additiv verhalten und eine von ihnen auf Kosten der anderen zunimmt, so dass die Summe konstant bleibt (vgl. Meinardus 1993). Obwohl Wachstumsphänomenen in der Biologie seit der Antike größte Aufmerksamkeit gewidmet wird, wurden sie zuerst in einer ganz anderen Disziplin, nämlich in der Ökonomie, zu einem theoriefähigen Gegenstand. Nicht zuletzt, weil die Biologie viele Anleihen bei der Ökonomie gemacht hat, lohnt sich ein kurzer Blick auf die Vorgehensweise der Ökonomen.

Wenn man das Wachstum eines so komplexen Gebildes wie das einer Volkswirtschaft beschreiben und erklären möchte, ist zunächst zu klären, an welchen Größen es gemessen werden soll. Wachstum im ökonomischen Sinn hat immer zwei Gesichter: In materieller Hinsicht geht es um die Zunahme der Produktion von Gütern und Dienstleistungen, unter der Wertperspektive gesehen um die Zunahme des gesellschaftlichen Reichtums, wobei nur im Idealfall beide Pfade parallel laufen. Die Frage nach dem Zusammenhang zwischen diesen beiden Aspekten spielte für die Entwicklung der ökonomischen Wachstumstheorie immer eine wichtige Rolle. Zuerst wurde das ökonomische Wachstum von den so genannten Vertretern der „klassischen“ Ökonomie untersucht. Theoretiker wie Adam Smith, David Ricardo oder Thomas Malthus wollten wissen, von welchen Faktoren das ökonomische Wachstum einer Volkswirtschaft abhängt und ob es in irgendeiner Weise begrenzt ist. Bei ihren Überlegungen gingen sie

davon aus, dass die Menge an Produkten und Dienstleistungen in einer Volkswirtschaft, die wertmäßig im Sozialprodukt zusammengefasst wird, mit einer bestimmten *Produktionstechnologie* hergestellt wird. Letztere wird charakterisiert durch das Verhältnis der aggregierten Wertgrößen Kapital, Arbeit und natürliche Ressourcen. Zu Zeiten der klassischen Ökonomen wurde der Faktor „Arbeit“ als unbeschränkt verfügbar angenommen, als Motor für das Wachstum galt die *Akkumulation des Kapitals*, die sich in Investitionstätigkeit konkretisiert. Die Investitionen hängen nach der klassischen Theorie ab von der Höhe der Gewinne, die ihrerseits bei gegebenen Preisen von den Lohnkosten abhängen. Der am Arbeitsmarkt durchsetzbare Lohn ergibt sich aus den Preisen für Nahrungsmittel welche wiederum abhängen von der Verfügbarkeit und Produktivität von *Grund und Boden*.

Wachstum im Rahmen der klassischen Theorie (insbesondere bei D. Ricardo) bedeutet zunächst, dass die Produktion in einem durch die Technik bestimmten Verhältnis von Kapital und Arbeit zunimmt, wobei sich der Reallohn der Arbeit auf Dauer *nicht* erhöht.¹ Wenn nun der vorhandene Boden erschöpft ist oder sich die Einbeziehung weiterer Böden zur landwirtschaftlichen Nutzung wegen ihrer schlechten Qualität nicht lohnt, dann lassen sich auch nicht mehr Arbeitskräfte in den Produktionsprozess einfügen, d.h. wenn dieser Zustand erreicht ist, schwenkt die Volkswirtschaft von einem Wachstumspfad auf einen *stationären Pfad* ein: Wachstum ist dann nur noch möglich, wenn durch technischen Fortschritt die Arbeitsproduktivität erhöht wird; dies hat aber zur Folge, dass langfristig der Marktpreis der Industrieprodukte relativ zu den Preisen der Agrarprodukte fällt, bei gleichzeitig steigenden Arbeitskosten (Agrarprodukte werden teurer, da im Agrarsektor der Grenzertrag sinkt) und das bedeutet wiederum, dass die Gewinne und damit auch die Investitionen zurück gehen, die Wirtschaft also stagniert. Da sich die klassischen Ökonomen technischen Fortschritt nur im industriellen Sektor, nicht aber in der Landwirtschaft vorstellen konnten, hatte wirtschaftliches Wachstum bei ihnen eine gleichsam *natürliche Grenze* und es war nur eine Frage der Zeit, bis diese erreicht war.

Darwin kannte die klassische Ökonomie recht gut und er entnahm ihr entscheidende heuristische Anregungen. Zunächst war da die Einsicht, dass die Knappheit der Ressourcen ein ungezügelttes Wachstum *nicht* zulässt: das Wachstum der Nahrungsmittelproduktion determiniert das Wachstum der davon abhängigen Population; dies hat insbesondere Thomas Malthus plausibel dargelegt. Knappe Ressourcen rufen aber auch einen Konkurrenzkampf um ihren Besitz hervor. Im ökonomischen Konkurrenzkampf hat derjenige einen Vorteil auf Zeit, der in der Lage ist, die Ressourcen in der Produktion effizienter einzusetzen als seine Konkurrenten, was durch eine Rationalisierung der Produktionstechnik erreicht werden kann. Deshalb ist technischer Fortschritt ein Charakteristikum kapitalistischer Produktionsweise.

Auch in der Darwinschen Evolutionstheorie unterliegt das natürliche Wachstum einer Population den Beschränkungen durch die verfügbaren Ressourcen. Im Kampf um eine möglichst uneingeschränkte Fortpflanzung hat derjenige einen Vorteil, der mit den Knappheitsbedingungen besser zurecht kommt als seine Konkurrenten. Die Rolle des technischen Fortschritts in den Modellen der klassischen Ökonomen übernehmen bei Darwin *positive Mutationen*. Eine solche positive Mutation kann z.B. dazu führen, dass ihre Träger ein gegebenes Futterangebot energetisch besser nützen, sich gegen Konkurrenten besser behaupten oder ihr angestammtes Gebiet verlassen und neue Lebensbereiche erobern können.

Kann man eine Population über längere Zeit hinweg beobachten, so wird man feststellen können, dass ihre Größe im Durchschnitt *konstant* bleibt. Es mag durch Umwelteinflüsse Einbrüche geben, aber diese werden, wenn sie nicht gerade katastrophale Ausmaße annehmen, wieder ausgeglichen. Bei näherem Hinsehen wird man allerdings häufig feststellen, dass sich in der Verteilung der Merkmalsausprägungen Verschiebungen ergeben: Der Anteil von Trägern bestimmter Merkmalsausprägungen kann sich auf Kosten anderer im Laufe der Zeit relativ zur Größe der Gesamtpopulation vergrößert haben. Wir haben es hier also mit einem Phänomen des *relativen Wachstums* zu tun (s.a. Karafyllis 2002, S. 583f.).

Vergleichen wir nun die Skizze der klassischen Wachstumstheorie mit der der Darwinschen Evolutions-

¹Würde der Reallohn über das Existenzminimum steigen, so würde als Reaktion darauf die Bevölkerung zunehmen, was mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung zu einer Erhöhung des Arbeitsangebots und damit zu einem Fallen des Arbeitslohns führen würde.

theorie, so lässt sich schon auf diesem Niveau eine gewisse formale Ähnlichkeit feststellen. In beiden Fällen wird ein Wachstumspfad beschrieben, der langfristig in einen stationären Verlauf einmündet, da die Menge der Ressourcen, aus denen sich das Wachstum speist, beschränkt ist. Allerdings erschöpfen sich beide Theorien nicht darin, in formaler Hinsicht ähnliche Wachstumsprozesse (-prozestypen) zu beschreiben.

Empirisch werden die Vorgänge in einer Volkswirtschaft mit den Mitteln der Wirtschaftsstatistik beschrieben. D.h. der Wachstumspfad einer Volkswirtschaft lässt sich im einfachsten Fall aus einer Tabelle ablesen, in der über die Zeit die Erhebungsergebnisse für die entsprechenden Größen eingetragen sind. Hinter dieser deskriptiven Darstellung der Ökonomie stehen aber gelegentlich ganz handfeste Probleme des Wirtschaftslebens: Die wirtschaftlichen Akteure (und nicht nur diese) wünschen sich eine wachsende Volkswirtschaft, müssen aber immer wieder feststellen, dass sie trotz aller Anstrengungen die deskriptiv erfasste Stagnationsphase nicht vermeiden können. Die Wachstumstheorie versucht nun, eine *Erklärung* für die Diskrepanz von Erwartung und faktischem Geschehen zu geben. Sie tut dies, indem sie zeigt, wie das zielgerichtete Handeln der wirtschaftlichen Akteure unter bestimmten externen Bedingungen einen gesamtwirtschaftlichen Zustand erzeugt, der als solcher gar nicht angestrebt war. Die Reaktion der Produzenten auf diese Erfahrung äußert sich dann in vermehrten Anstrengungen auf dem Gebiet der technischen Entwicklung, wodurch der einzelne hofft, der Stagnationsfalle wenigstens kurzfristig zu entkommen. Dies wird dann in der Theorie unter dem Begriff „technischer Fortschritt“ berücksichtigt.

Ähnlich wie die Wachstumstheorie kann man auch die Evolutionstheorie als Reaktion auf empirische Befunde verstehen, die einen *Erklärungsbedarf* wecken: Man wusste schon zu Darwins Zeiten, dass Tiere und Pflanzen über ein zum Teil enormes Vermehrungspotential verfügen; man wusste aber auch, dass Populationen in der Regel über die Zeit von stabiler Größe sind und man wusste schließlich, dass sich in manchen Populationen über längere Zeiten hinweg eine Verschiebung in der statistischen Verteilung der Merkmalsausprägungen ergeben kann. Dies sind zunächst rein deskriptive Sachverhalte, die allerdings nicht als selbstverständlich hingenommen wurden und für die die Evolutionstheorie eine Erklärung geben sollte: Ausgehend von dem *Faktum*, dass die natürlichen Ressourcen und sonstigen Umweltbedingungen einen limitierenden Faktor für das Fortkommen und die Vermehrung der Mitglieder einer Population darstellen und der *Annahme*, dass sich das Verhalten der Mitglieder einer Population so interpretieren lässt, als ob sie an einer maximalen Vermehrung interessiert seien, ergeben sich die oben genannten Sachverhalte als gleichsam „natürliche“ Folgen.

So gibt es auf den ersten Blick eine gewisse Ähnlichkeit zwischen der ökonomischen Wachstumstheorie und der Evolutionstheorie in methodologischer Hinsicht, wenn auch nur auf einer sehr allgemeinen Ebene: Beide „erklären“ bestimmte Phänomene des Wachstums und der qualitativen Veränderung, die nur auf der Ebene eines *Kollektivs* (Volkswirtschaft bzw. Population) erfasst werden können, dadurch, dass sie diese mit Handlungen bzw. Verhaltensweisen von *Individuen* und deren Eigenschaften verknüpfen. Diese Art der Verknüpfung soll es dann auch rechtfertigen, von einer besonderen Form der Erklärung, eben einer evolutiven oder Entwicklungserklärung zu sprechen. Dies wollen wir nun näher untersuchen.

3 ERKLÄRUNG UND BESCHREIBUNG

Erklärungen sind immer Antworten auf Fragen, die sich in ganz bestimmten Problemlagen stellen: man verbindet mit der Frage nach Erklärung die Erwartung, dass durch die Antwort ein bislang unbegriffener Sachverhalt in einen vorhandenen Wissensbestand eingebettet oder geläufigen Beurteilungen zugänglich gemacht wird. Ob ein Satz als „Erklärung“ angesehen werden kann, hängt also nicht nur davon ab, dass er korrekt aus anderen abgeleitet und als wahr ausgewiesen ist, sondern darüber hinaus auch davon, dass er in den *Kontext der Fragestellung* passt. Diesem pragmatischen Aspekt wird in der neueren wissenschaftstheoretischen Literatur vermehrte Aufmerksamkeit gewidmet.² Er lässt sich am besten durch die

²Vgl. z.B. Friedman 1974; van Fraassen 1977; Kitcher 1981; Schurz 1988; Pitt 1988; Kitcher/ Salmon 1989.

Forderungen nach Einsichtigkeit, Angemessenheit und Richtigkeit zum Ausdruck bringen (Passmore 1962).

Mit der Forderung nach *Einsichtigkeit* soll hier gemeint sein, dass Erklärungen sich immer auf einen bereits vorhandenen Fundus an Wissen beziehen müssen, d.h. Erklärungen *erweitern* unser Wissen oder *korrigieren* es, greifen dabei aber immer auch auf schon bekannte und vertraute Elemente zurück. Diese Form des Vertrautseins muss sich nicht unbedingt in einer lebensweltlich eingespielten Praxis herausgebildet haben, es genügt ein Vertrauen zu Verfahren und Erkenntnissen, deren Verlässlichkeit man im Rahmen einer wissenschaftlichen Praxis und ihrer Tradition erfährt. In diesem Sinne sind Sachverhalte bekannt und vertraut, die im Rahmen einer Theorie oder eines Theorieverbundes als bislang zweifelsfrei erklärt gelten bzw. in diesem Kontext gar nicht als erklärungsbedürftig erscheinen. *Angemessen* sollte eine Erklärung in dem Sinne sein, dass sie in Umfang und Tiefe genau auf die Frage *passt*, durch die sie angefordert wurde. Das heißt insbesondere, dass die relativ zum Stand des Wissens *umfassendste* Erklärung nicht in jedem Falle auch die in pragmatischer Hinsicht *beste* Erklärung sein muss.³ Schließlich bedeutet die Forderung nach *Richtigkeit*, dass sich in den Wissenschaften Erklärungen in bestimmte *Forschungsprogramme einfügen* müssen (so insbesondere Lambert 1988). Im Rahmen eines solchen Forschungsprogramms werden die spezifischen *Erklärungsschemata*⁴ einer Disziplin oder Theorie festgelegt und darüber hinaus auch die *prinzipiellen Grenzen* für die Reichweite der möglichen Erklärung angegeben.

Mit den Forderungen nach Einsichtigkeit, Angemessenheit und Richtigkeit wird deutlich gemacht, dass es in den Wissenschaften weder *voraussetzungsfree* Erklärungen noch *Letztbegründungen* geben kann: Damit manches als *erklärungs-fähig* problematisiert werden kann, muss anderes als unproblematisch vorausgesetzt werden können. Für unser Thema bedeutet dies insbesondere, dass die Frage, warum Lebewesen „überhaupt“ wachsen und warum sie sich vermehren, keine ist, die einer wissenschaftlichen Beantwortung zugänglich wäre. Nur wenn wir z.B. als unproblematisch unterstellen, dass Lebewesen zumindest in bestimmten Phasen ihres Lebens wachsen, lassen sich Fragen nach den besonderen Formen dieses Wachstums, nach steuernden Elementen oder Störungen stellen und u.U. auch beantworten. Was die dabei eingesetzten *Erklärungsschemata* selbst betrifft, so spielen neben den kausalen Erklärungen vor allem funktionale Erklärungen eine besondere Rolle.

3.1 KAUSALE ERKLÄRUNGEN

Zunächst einige Bemerkungen zur Kausalerklärung, die in den Naturwissenschaften und damit auch in der Biologie als wichtigste, gelegentlich sogar als *die* Erklärungsform schlechthin gilt. Kausalerklärungen geben Antworten auf „Warum-Fragen“. Einen Grund für eine (beantwortungsfähige) Warum-Frage können wir insbesondere in der Differenz von Erwartungen und Erfahrungen ausmachen. Wenn man nach den Erfahrungen der Vergangenheit meint, mit B rechnen zu können, tatsächlich aber C eintritt, dann gibt es einen Erklärungsbedarf. Als Grund für eine ernst zu nehmende Warum-Frage und damit für eine Kausalerklärung dient also zunächst ein *konkreter Anlass*: eine Situation, in der Erwartungen enttäuscht worden sind bzw. in der man sich noch gar keine rechten Erwartungen hat bilden können und ein Ereignis scheinbar „einfach so“ eingetreten ist.

Von einer *befriedigende* Antwort auf eine Warum-Frage erwartet man, dass sie die pragmatische Einbettungs-Funktion von Erklärungen erfüllt. Insbesondere muss der Forderung nach Einsichtigkeit

³Den Forderungen nach Einsichtigkeit und Angemessenheit trägt B. van Fraassen z.B. mit seinen Konzepten der Kontrast-Klassen und der Relevanz-Relation Rechnung, vgl. van Fraassen 1977.

⁴Ein *Erklärungsschema* legt den formalen Aufbau einer Erklärung fest. Es enthält unbestimmte (eben „*schematische*“) Begriffe wie „Gegenstand“, „System“, „Zielfunktion“, „Entwicklung“, „Sachverhaltsänderung“ u.ä., sowie Relationen zwischen diesen Begriffen, die alle erst in einer disziplinspezifischen Weise konkretisiert werden müssen, damit man mit ihnen eine bestimmte forschungsleitende Aufgabe verbinden kann (man spricht davon, dass man „*das Schema interpretieren*“ muss). Auch nach Ph. Kitcher muss eine richtige Erklärung umfassend in dem Sinne sein, dass sie ein allgemeines Erklärungsschema belegt, welches auf viele ähnliche Fälle angewandt werden kann, vgl. Kitcher 1981.

gemäß das zur Erklärung benutzte Argument so allgemein sein, dass es auf unbestimmt viele Fälle zutrifft, auf Bekanntes wie auf Neues und Erklärungsbedürftiges. D.h. auch wenn im Einzelfall auf konkrete Ereignisse als Ursachen Bezug genommen wird, so müssen sich diese als Konkretisierungen allgemeiner Strukturen bzw. Gesetzmäßigkeiten ausweisen lassen. Die Frage, worin sich denn diese „Allgemeinheit“ zeigen soll, ist allerdings nicht ganz leicht zu beantworten. Als notwendige Bedingung für Kausalerklärungen gilt zunächst, dass Ursache und Wirkung immer in einer strikten zeitlichen Ordnung stehen müssen (also: immer wenn zur Zeit t das Ereignis A , dann zur Zeit $t + \tau$ das Ereignis B). Allerdings garantieren strenge zeitliche Korrelationen allein noch lange keine Kausalbeziehungen, wie man in jedem Statistik-Kurs lernt. Man braucht wenigstens noch *ein zusätzliches Argument*, das über die Feststellung der empirischen Regelmäßigkeit hinaus die eigentliche Erklärungsleistung tragen könnte. Ein solches Argument sieht man in der prognostischen Relevanz, wie sie insbesondere den so genannten „Verlaufsgesetzen“ zukommt. Ein Verlaufsgesetz erhebt den *Anspruch*, dass der gesetzmäßige Zusammenhang nicht nur für die empirisch erfassten und korrelative verknüpften Fälle Gültigkeit besitzt, sondern eben auch für alle in Zukunft zu erwartenden Fälle. D.h. eine Kausalerklärung wird durch die Angabe eines Verlaufsgesetzes geliefert, wonach jeder Zustand Folge eines Anfangszustandes unter bestimmten Randbedingungen ist (so das alte deduktiv-nomologische Erklärungsmodell, Hempel/Oppenheim 1945). Dabei kann dieses Verfahren iteriert werden, d.h. ein Zustand wird aus einem Verlaufsgesetz, dieses selbst u.U. aus einem allgemeineren Gesetz abgeleitet; in beiden Fällen soll von einer kausalen Erklärung gesprochen werden dürfen.

Nun ist aber ein Verlaufsgesetz nichts anderes als die *Beschreibung* der zeitlichen Veränderung bestimmter Größen bei Spezifikation von Parametern, die für die Randbedingungen stehen. Nach dem „standard view“ leistet eine „Kausalerklärung“ damit im Grunde genommen nichts anderes als die Bekräftigung einer so gegebenen Beschreibung - und „erklärt“ eigentlich gar nichts: Auf die Frage: „Warum befindet sich der Körper K zur Zeit t am Ort x ?“ erhält man die Antwort: „Weil er sich zur Zeit t' ($t' < t$) am Ort y befunden hat und das Fallgesetz gilt, welches besagt, dass ein Körper unter den gegebenen Umständen sich zur Zeit t am Ort x befinden muss, wenn er zur Zeit t' am Ort y war“. Nach dem pragmatischen Ansatz wäre ein *Grund*, um nach einer Kausalerklärung zu fragen überhaupt nur gegeben, wenn man nach dem Fallgesetz einen bestimmten Verlauf v erwarten würde, die Beobachtungen aber ein anderes Bild v' lieferten. Die Erklärung für diese Abweichung kann nun nicht einfach in der Beschreibung des neuen Verlaufs v' bestehen, welcher durch die Beobachtungsdaten gedeckt ist, sondern in dem Aufweis, dass durch bestimmte Umstände eben nicht v sondern v' erzeugt wird.

In der Physik wird ein solcher Aufweis durch die Benutzung entsprechender Kraftgesetze⁵ geführt. So werden in der Newtonschen Mechanik Beschleunigungen von Körpern erklärt, indem man den *Term für ein Kraftgesetz* in das 2. Newtonsche Gesetz einsetzt; als Lösung der dadurch gewonnenen Differentialgleichung erhält man dann eine Bahngleichung, die dann auch „Verlaufsgesetz“ genannt werden kann. Beobachtet man nun Störungen von einem derartigen Verlauf (also eine unerwartete Beschleunigung), dann muss man den Kraftterm modifizieren (d.h. einen weiteren Kraftterm additiv hinzufügen) und diese Modifikation gibt den Grund an für die Störung. Kraftgesetze generieren also Verlaufsgesetze und sie verknüpfen die durch physikalische Größen repräsentierten Entitäten so, dass sie als in Kausalbeziehung stehend interpretiert werden können.⁶ Dieser Blick auf die Mechanik, die ja als Musterbeispiel für eine kausal erklärende Theorie schlechthin gilt, zeigt uns, dass mit „Kraft“ kein neuer Gegenstand eingeführt und durch eine eigene Grundgröße (wie Weg, Zeit, Masse oder Ladung) repräsentiert wird, welcher die Eigenschaft besäße „Ursache“ für „Wirkungen zu sein. Die Rede von „Kräften“ taucht nur im Zusammenhang mit *Kraftgesetzen* auf, durch die Bahnverläufe generiert werden können und die es insbesondere erlauben, Störungen einer gegebenen Bahnform z.B. auf weitere, bislang unbeachtet

⁵oder entsprechender Strukturen des Lagrange-Hamilton-Formalismus, vgl. z.B. Kamlah 1979.

⁶In diesem Zusammenhang muss darauf hingewiesen werden, dass die weitverbreitete Meinung, *alle* physikalischen Gesetze seien als Verlaufsgesetze aus einem kausalen Erklärungsschema gewonnen worden, irrig ist. Die klassische Thermodynamik kennt z.B. keine kausalen Erklärungen.

gebliebene Masseträger oder auf besondere Zwangsbedingungen zurückzuführen. Neben den durch die Grundgrößen repräsentierten Gegenständen und ihren raum-zeitlichen Relationen gibt es also keine besondere Kausalrelation als *empirisches* Merkmal, d.h. wenn man von „Kausalität“ spricht, dann meint man genau genommen den pragmatischen Status von Sätzen als Träger einer bestimmten Erklärungsform. Wenn wir den klassischen Hempel-Oppenheim-Ansatz jetzt im Lichte unserer kleinen Analyse noch einmal betrachten, dann kann man feststellen, dass der Gedanke, Erklärungen müssen von allgemeiner, gesetzmäßiger Art sein, durchaus seine Berechtigung hat. Die Schwäche dieses Ansatzes liegt in seinem diffusen Gesetzesbegriff: Nicht schon die Verlaufsgesetze, sondern *allein* die sie generierenden Kraftgesetze tragen die Last der Kausalerklärung.⁷

In der Biologie (wie in der Medizin) trifft man häufig auf Aussagen von der Art: "Eine fehlerhafte Hormonproduktion ist die Ursache dafür, dass Person p von der Krankheit k befallen wird", d.h. hier wird offensichtlich ein *Defekt* als Ursache für bestimmte Sachverhalte angenommen. Diese Redeweise gibt es in Physik oder Chemie nicht, was daran liegt, dass diese Wissenschaften keine funktionalen Erklärungen kennen. Einen „Defekt“ kann man nämlich nur erkennen, wenn man eine Vorstellung über die „normale“ (im Sinne von „funktionsgerechte“) Funktionsweise gewonnen hat. Womit wir denn auch schon bei der Funktional-Erklärung angelangt sind.

3.2 FUNKTIONALE ERKLÄRUNGEN

Funktionalerklärungen antworten auf Fragen, wie ein „Objekt“ funktioniere bzw. welche Aufgabe es in einem größeren Zusammenhang zu erfüllen habe, z.B.: Welche Rolle spielt im menschlichen Organismus die Bauchspeicheldrüse? Gibt es in dieser Hinsicht Unterschiede zwischen der Bauchspeicheldrüse des Menschen und der des Hundes? Welche Aufgaben kommen den von der Bauchspeicheldrüse produzierten Sekreten bei der Verdauung zu? Aber auch: wozu dient ein Merkmal und welchen Vorteil gegenüber anderen kommt seinen Trägern zu? Mit der Angabe einer Funktion wird also eine Relation hergestellt zwischen einem Objekt (dem Funktionsträger) und einem beschriebenen Zustand oder Vorgang. In der Biologie können solche „Objekte“ z.B. Organe, Zellen, Zellverbände oder auch chemische Verbindungen sein und die Aufgaben oder Funktionen, deren Angabe als erklärend angesehen werden, müssen eine „Bedeutung“ für das Individuum oder System haben, dem sie zugeschrieben werden, d.h. sie müssen sich als *Bedingungen* für den Ablauf weiterer Lebensprozesse bestimmen lassen. E. Nagel war deshalb der Meinung, Aussagen der Art „x hat die Funktion, y zu tun“ könnten auf Aussagen von der Art „x ist eine relativ notwendige Bedingung für y“ reduziert werden (Nagel 1961, S. 400ff). Damit wurden zwar Worte ausgewechselt, nicht aber der funktionale Gehalt der Aussage berührt, denn die Rede von „relativ notwendigen Bedingungen“ klingt nur auf den ersten Blick so, als sei damit eine rein logische Beziehung gemeint. Wie spätere Erörterungen zeigten (Nagel 1977), mussten zur Erläuterung dessen, was als „relativ notwendigen Bedingungen“ angesehen werden kann, genau die Argumente angeführt werden, die auch sonst zur Sicherung einer Funktionalerklärung gebraucht werden. „Bedingungen“ in dem hier gemeinten Sinne sind keine Ursachen, sondern *materiellen Voraussetzungen*, die gegeben sein müssen, damit bestimmte, kausal erklärbare Prozesse, welche wiederum zu funktional charakterisierten Zuständen führen, überhaupt so ablaufen können (damit bestimmte chemische Prozesse in einer Zelle ablaufen können, müssen zur rechten Zeit und am rechten Ort die Reaktionspartner bereitgestellt werden, müssen bestimmte thermische Bedingungen gegeben sein, müssen die Reaktionen selbst vor Störungen geschützt werden und ihre Ergebnisse an ihren Wirkort transportiert werden usw.). In abstrakten Beschreibungen werden solche Voraussetzungen als „Randbedingungen“ oder „Parameter“ repräsentiert, wobei es hier nicht nur um die Einstellung bestimmter Wertgrößen geht, sondern eben auch um die Art und Weise ihrer Realisation.

Dass Funktionalerklärungen immer im Rahmen übergeordneter, ebenfalls funktional bestimmter Systeme erfolgen müssen, macht keine prinzipiellen Schwierigkeiten. Man wird dadurch nicht gezwungen,

⁷Wenn man dies berücksichtigt, dann verschwinden übrigens manche Probleme, die sich in Bereichen ergeben, in denen man von Ursache und Wirkung spricht, ohne dass es Verlaufsgesetze im strengen Sinn gibt, wohl aber Begriffe, die eine ähnliche Funktion erfüllen, wie der Kraftbegriff in der Physik.

„letzte“ Ziele in der Natur anzugeben, um von dort aus in absteigender Folge Funktionsweisen von Organismen, Organen, Zellen usw. zu bestimmen. Es genügt, auf einer konkreten Ebene (z.B. der des Organismus) mit postulierten Funktionen zu beginnen und dann nach „oben“ (also z.B. in Richtung Ökologie) oder nach „unten“ (also z.B. in Richtung Molekularbiologie) fortzuschreiten. Dabei kann es natürlich vorkommen, dass sich die ursprünglichen Funktionsannahmen als nicht mehr einsichtig oder unrichtig erweisen. Dieser Fall ist in der Geschichte der Biologie oft genug eingetreten und muss für jede empirische Wissenschaft als normal gelten, markiert er doch ein wesentliches Element des wissenschaftlichen Fortschritts.

Ihren ursprünglichen Ort haben funktionale Erklärungen in den Bereichen des technischen und strategischen Handelns, also insbesondere in den Ingenieurwissenschaften und in der Ökonomie. Jedes technische Gerät ist durch bestimmte *Funktionsnormen* gekennzeichnet, durch die seine Eignung für bestimmte Zwecke näher angegeben wird; die Aufgabe von Ingenieuren ist es, Geräte zu entwickeln, die solche Zwecke optimal (also unter Berücksichtigung von technischen und ökonomischen Nebenbedingungen) erreichen lassen, was bedeutet, dass sie physikalische und chemische Prozesse zielgerichtet organisieren müssen.⁸ Im einzelnen bedeutet dies, dass man zunächst aus der Beschreibung technischer Geräte oder technischer Signal- und Zeichenkonstrukte *per Abstraktion* technische *Schemata* gewinnt, die dann zum Gegenstand von Theorien in den einzelnen ingenieurwissenschaftlichen Fachgebieten werden. In den einschlägigen Lehrbüchern finden dann die Schemata von Schaltkreisen, Regelkreisen, von Wärmepumpen, Datenbanken usw. als *schematische Zeichnungen* oder in Form von *mathematischen Strukturgleichungen* ihren Ausdruck. Bei diesen schematischen Darstellungen wird von den Realisierungen der einzelnen Funktionsleistungen abgesehen, was umgekehrt bedeutet, dass ein bestimmtes Funktionsschema immer durch unterschiedliche, aber *funktionsgleiche* Modelle repräsentiert werden kann. Dies ermöglicht denn auch die Übertragung auf nicht-technische Bereiche wie solche der Biologie: man erklärt (und versteht damit) bestimmte Vorgänge im Körper oder in der Zelle, indem man sie *wie ein technisches System* deutet; so verwendet z.B. die Genetik ausgiebig die Sprache der Informationstechnologie, die Physiologie die Sprache der Kybernetik und Verfahrenstechnik. Etwas überspitzt kann man sagen, dass die funktionalen Erklärungen in der Biologie so weit reichen, wie es der Stand der Ingenieurwissenschaften zulässt.

In der Ökonomie werden Entscheidungsträger (sog. ökonomische Subjekte oder Agenten) durch abstrakte Schemata repräsentiert, so z.B. die Konsumenten durch die Nutzenfunktion oder die Produzenten durch die Produktions- bzw. Absatzfunktion, wobei mit diesen Funktionen bestimmte Optimierungsprobleme verbunden sind, die die Entscheidungsaufgaben der ökonomischen Agenten repräsentieren. Die genannten Funktionen werden in der ökonomischen Theorie als Strukturgleichungen dargestellt und haben damit einen ähnlich abstrakten Charakter wie etwa die Strukturgleichungen aus der technischen Systemtheorie. So stellt eine Produktionsfunktion nur eine Beziehung zwischen Inputfaktoren und Output dar, die technische Realisierung dieser Relation bleibt völlig unberücksichtigt, was wiederum die Übertragung auf die Biologie ermöglicht: Ein Lebewesen ist mit Merkmalen ausgestattet, die in ihrer Bedeutung für den Organismus in einem technisch-ökonomischen Sinne erklärt werden; nach außen verhält es sich als Mitglied einer Population wie ein ökonomischer Agent, der mit seiner internen Ausstattung (Produktionsfunktion) unter Konkurrenzbedingungen Umsatz, sprich: Nachkommenschaft maximieren möchte. Etwas vereinfacht kann man also sagen, dass die internen Funktionen von biologischen Merkmalen eines Lebewesens nach technischen, die externen Funktionen nach ökonomischen Mustern erklärt werden.

Obwohl es ganz unbestritten ist, dass die Biologie solche funktionalen Erklärungen überall und ständig verwendet, werden sie doch immer wieder als problematisch empfunden. Dieses Unbehagen nährt sich aus einigen Missverständnissen, von denen ich hier die wichtigsten kurz behandeln möchte.

(1) Bei einem technischen System gibt es die Funktionsnorm als eigenständige und „wirkliche“ Instanz,

⁸In der Ökonomie werden die Akteure am Markt durch Zielfunktionen (z.B. Nutzen- oder Produktionsfunktionen) repräsentiert, die unter bestimmten einschränkenden Bedingungen optimiert werden müssen.

d.h. es gibt einen *Konstruktionsplan*, der von einem Ingenieur entworfen worden ist und nach dem das System gebaut wurde; in der Testphase wird dann die tatsächlich erbrachte Leistung des Systems mit der geplanten verglichen; entsprechend gibt es Organisations- und Strategiepläne in der Welt der Ökonomie. Wer nun im Bereich der Biologie Funktionalerklärungen abgibt, möchte allerdings nicht verpflichtet sein, damit zugleich auch einen Plan und dessen Schöpfer in der Natur zu postulieren. Diese Befürchtungen sind aber unbegründet. Die Aussage einer Funktionalerklärung lautet nämlich *nicht*: „Organ x ist ein technisches System mit der Funktion y“, sondern „Organ x *verhält sich wie* ein technisches System mit der Funktion y“. Bei dieser als-ob-Redeweise ist klar, dass die eigene Existenz eines Funktionsplans nicht unterstellt werden muss, es genügt, dass die Subsumtion des biologischen Systems unter ein technisches Schema vollzogen werden kann.⁹ In diesem Zusammenhang muss auch deutlich gemacht werden, dass die Frage nach der *Funktion* eines Organs („wozu dient dieses Organ?“) nicht gleichbedeutend ist mit der Frage nach dem Grund für seine *Existenz* („warum hat man dieses Organ?“). Die letztere Frage kann man genau genommen im Rahmen der Biologie nicht beantworten, es sei denn man versteht sie als Kurzfassung für die Frage nach einem komplizierteren Zusammenhang: „wie hat sich im Laufe der Zeit Organ x aus einer Vorgängerform y entwickelt und welcher *Vorteil* war damit für die Träger von x verbunden?“, womit man wieder bei der Frage nach funktionalen Zusammenhängen gelandet ist.¹⁰

(2) Auch wenn die Eigenständigkeit und Unverzichtbarkeit von funktionalen Erklärungen in der Biologie anerkannt werden, versucht man doch immer wieder, ihre Bedeutung relativ zur Kausalerklärung herunter zu spielen. Als typisch kann hier K. E. Schaffners Schlusswort in seiner überaus gründlichen Studie zur Wissenschaftstheorie funktionaler Erklärungen gelten:

„Insgesamt kann ... festgehalten werden, dass funktionale teleologische Rede von heuristischem Wert in der Biologie und Medizin ist, dass sie sui generis ist, das heißt nicht reduzierbar auf kausale Rede, dass sie aber im Prinzip, wenn vielleicht auch nicht in der Praxis, durch wissenschaftlichen Fortschritt eliminierbar ist.“ (Schaffner 2002, S. 87)

Diese Einschätzung ist allerdings nicht den Punkt. Schon ein Blick in ein Lehrbuch der Physiologie oder Genetik zeigt, dass dort weiterhin funktionale Erklärungen gegeben und erörtert werden, wenn die chemischen oder physikalischen Abläufe, die zu den funktional ausgezeichneten Zuständen führen, längst aufgeklärt sind. Dies ist auch kein bloßes Zugeständnis an die Tradition, sondern unverzichtbar, wenn man biologische Einheiten in eine geordnete Beziehung zueinander bringen möchte. Nur wenn man Molekülen, Zellen, Organen usw. bestimmte Funktionen zuweist, kann man anschließend die Frage nach den kausalen Mechanismen stellen, die gegeben sein müssen, um diese Funktionen zu erfüllen. Und nur die Zuweisung einer Funktion ermöglicht die Rede von einer *Fehlfunktion* oder einem *Defekt*. Ein defektes Gen verfügt ja nicht über eine „defekte“ Chemie und pathologische Zustände sind keine, die gegen ein physikalisches oder chemische Gesetz verstoßen, d.h. auf der Ebene der Chemie oder Physik lassen sich „normale“ und „defekte“ Zustände überhaupt nicht unterscheiden. Es ist deshalb auch nicht richtig, wenn M. Gutmann meint, der Satz „die Funktion des Herzens ist der Bluttransport“ sei in grammatikalischer Hinsicht äquivalent mit dem Satz „das Herz transportiert Blut“ (Gutmann 2002, S. 18). Zu letzterem Satz sind Sätze wie „das Herz verbraucht Sauerstoff“ oder „das Herz weist rhythmische Muskelkontraktionen auf“ grammatikalisch ähnlich, diese Sätze geben aber nur Abläufe oder Zustände wieder, von denen es beliebig viele geben kann. Aus dieser Menge werden durch die Bestimmung als „Funktion“ solche herausgehoben, die seine Aufgabe im Rahmen des System des Organismus charakterisieren.

Funktionale Erklärungen sind in der Biologie in einer methodisch festen Ordnung mit kausalen Er-

⁹„Funktionen“ in einem eigenen, ontologischen Sinn gibt es in der Natur sowenig wie „Kausalitäten“.

¹⁰Dieses unglückliche Gleichsetzung haben z.B. E. Nagel (Nagel 1977) und R. Cummins (Cummins 1975) vorgenommen, was diese Autoren in unnötige Interpretationsprobleme gebracht hat.

klärungen verbunden¹¹: Kennt man die *Funktion* eines Moleküls, so stellt sich die Frage, wie diese in chemischer Hinsicht *bewirkt* wird; diagnostiziert man einen *Funktionsausfall* oder *-defekt*, so stellt sich die Frage nach dem *Grund*, also nach einer kausalen Erklärung; stößt man in einem Organismus auf eine bislang unbekannte Substanz, so stellt sich die Frage, welche der vielen, unter den gegebenen Umständen *möglichen* chemischen Reaktionsweisen diejenige ist, die für den Organismus „Sinn“ macht, also eine *Funktion* erfüllt. Der Zuordnung von Funktionen im Bereich der Biologie entspricht auch eine eigene Experimentallogik, die als erster der große Physiologe Claude Bernard schon in der Mitte des 19. Jh. festgeschrieben hat (Bernard 1961). Dies ist auch der wesentliche Grund dafür, warum man funktionale Erklärungen nicht als „metaphorisch“ bezeichnen sollte, wie dies P. Janich, M. Gutmann und M. Weingarten tun (Janich/Weingarten 1999, S. 88; Gutmann 2002, S. 18). Wären funktionale Bestimmungen nämlich nur metaphorischer Art, dann müsste man sie verlustfrei durch andere ersetzen können. Und nur für diese, nicht aber für die vermeintlich metaphorischen müsste dann ein entsprechendes experimentelles Design zur Überprüfung entworfen werden, was aber in der Wissenschaftspraxis genau nicht der Fall ist.

Wenn man die Funktionen von Organen, Zellen oder chemischen Verbindungen im Organismus kennt, und wenn man weiß, auf welche (kausale) Weise diese Funktionalität jeweils erreicht wird, dann kann man dieses Wissen dazu benutzen, um in einen Organismus zweckgerichtet einzugreifen und organische Prozesse in Gang zu setzen bzw. zu unterbinden. Zur Beantwortung der Frage nach der „Natürlichkeit“ eines solchen Eingriffs liefert die Betrachtung der Natur allerdings keine besondere Hilfe. Zwar geben die Naturgesetze aus Physik und Chemie einen Rahmen dafür ab, was wir für möglich halten dürfen. Aber nicht alles, was möglich ist, muss auch in Wirklichkeit sein, so wenig wie das, was wirklich ist anzeigt, dass anderes nicht möglich sein könne. Das ist eine logische Trivialität, die aber in praktischen Diskursen oft übersehen wird. So werden häufig in Diskursen um Biofakte tiefgreifende technische Eingriffe ins Leben mit dem naturalistischen Argumente abgelehnt, dass die Natur selbst die artifiziellen Produkte, die zur Diskussion anstehen, nicht vorgesehen habe, sonst gäbe es sie ja längst. Technik kann aber nicht „widernatürlich“ sein, wird dies reklamiert, dann versucht man sich letztlich um eine Entscheidung, was wir denn *uns* selbst zumuten wollen und was wir vor *uns* verantworten können, herumzudrücken.

4 ÄTIOLOGISCHE THEORIE UND FUNKTIONALE ERKLÄRUNG

Mit der so genannten „ätiologischen Theorie“ der funktionalen Erklärung wird der Versuch gemacht, die scheinbare Beliebigkeit von Funktionszuweisungen durch die Forderung einzuschränken, dass eine behauptete Funktion sich zugleich auch als Ergebnis einer evolutionären Entwicklung ausweisen lassen muss (Neander 1991, Griffith 1993). Die *Funktion* eines Merkmals ist in diesem Sinne immer der *Sachverhalt*, auf den hin das Merkmal *selektiert* worden ist. So definiert K. Neander:

„Die (oder eine) eigentliche Funktion eines Bestandteils (X) eines Organismus (O) ist es, das zu tun, was Bestandteile von Xs (homologem) Typ als Beitrag zur Gesamtfitness von Os Ahnen getan haben und was bewirkt hat, dass der Genotyp, dessen phänotypischer Ausdruck X ist, durch natürliche Selektion (proximal) selektiert wurde.“ (Neander 2002, S. 94)

Wenn man nun von der Frage absieht, in welchem Sinne hier tatsächlich eine „Definition“ vorliegt, so bleibt auf jeden Fall der Versuch ersichtlich, Funktionalerklärungen in den Kontext einer evolutionstheoretischen Rekonstruktion einzubetten: Irgendwann fand sich in einer Population eine Merkmalsausprägung, die sich ausbreiten konnten, weil ihre Träger dem Druck der Umweltbedingungen besser standhalten und so zu einem größeren Fortpflanzungserfolg kommen konnten als diejenigen Mitglieder der Population, die über diese Ausprägung nicht verfügten.

Bei diesem Ansatz wird die Eigenständigkeit von (technischen) Funktionalerklärungen für die Biologie

¹¹Kitcher charakterisiert diesen Zusammenhang durch die Begriffe „Funktion“ und „Design“, vgl. Kitcher 2002.

durchaus anerkannt, ihre *Einsichtigkeit* soll aber durch ein evolutionstheoretisches Argument gestärkt werden. Nun haben wir gesehen, dass in den Forschungsprogrammen der biologischen Disziplinen eine *Absicherung* von Funktionalerklärungen insoweit vorgesehen ist, als funktionalen Bestimmungen immer ein kausaler Prozess zu ihrer Realisation zugeordnet werden muss. Würde jemand eine funktionale Erklärung für einen Sachverhalt behaupten, die sich auf keinem bekannten Wege kausal realisieren ließe, dann müsste man diese Behauptung zumindest bis auf weiteres zurückweisen. Dieses Argumentationschema bezieht seine Überzeugungskraft aus der *Unabhängigkeit der Erklärungsformen*, die miteinander verknüpft werden. Entsprechend könnte eine Funktionalerklärung evolutionstheoretisch gestützt werden, wenn die evolutionstheoretischen Erklärungsansätze nicht selbst wieder Funktionalerklärungen wesentlich verwenden würden. Dies ist aber nicht der Fall, wie man an einem kleinen Beispiel sehen kann, das Neander selbst gibt (Neander 2002, S. 118).

Zur Erläuterung der oben zitierten Definition wird ausgeführt, dass der Stich der Biene sich in der Evolution entwickelt hat, weil er die Wirkung gehabt hatte, den Stock zu schützen und deshalb dürfe man sagen, dass die eigentliche Funktion des Bienenstichs der Schutz des Bienenstocks sei. Genau betrachtet ist die Wirkung des Bienenstiches aber zunächst einmal die Verletzung der Haut des gestochenen Lebewesen. Die dabei in den Körper eingebrachte Flüssigkeit ruft bei empfindlichen Organismen eine immunologische Abwehrreaktion hervor, die als schmerzhaft empfunden wird und die betroffenen Lebewesen zu Fluchtreaktionen veranlasst - wenn sie überhaupt in der Lage sind, eine Verbindung zwischen dem Schmerz und dem Stich der Biene herzustellen. Soweit die Flucht zugleich ein Ablassen von einer feindlichen Beschäftigung mit dem Bienenstock bedeutet, kann man sagen, dass der Bienenstich die Funktion hat, den Bienenstock zu schützen.

Um das Phänomen „Bienenstich“ angemessen und einsichtig darzustellen, muss man nicht nur für die Biene eine ganze Reihe von anatomischen und physiologischen (und damit funktionalen) Erklärungen liefern, sondern auch für das „Opfer“. Denn damit eine Substanz als „Gift“ wirken kann, muss sie zu chemischen Reaktionen im Organismus führen, die als *Funktionsstörungen* interpretiert werden können. D.h. man braucht schon Funktional- und Kausalerklärungen, um überhaupt an die evolutionstheoretische Pointe des Beispiels heranzukommen. Und diese Pointe besteht selbst wiederum in einer strategischen Deutung des Vermögens der Biene: der Bienenstich erweist sich als effizientes Mittel für das Ziel, den Nachwuchs zu sichern.

Die Meinung, mit Hilfe von evolutionstheoretischen Ansätzen Funktionalerklärungen abstützen zu können, verdankt sich wohl wesentlich den mit dem Begriff „Selektion“ verbundenen Assoziationen. „Selektion“ hat einen aktivistischen Klang und provoziert die Vorstellung von einer Umwelt, die Druck auf die Mitglieder einer Population ausübt und beharrlich an der Optimalität einzelner Merkmale feilt. Dabei stellt man sich ein Szenario vor, bei dem in einer Population ein Merkmal zunächst in unterschiedlichen Ausprägungen vorkommt und im Laufe der Zeit sich bei gleichbleibenden Umweltbedingungen schließlich eine Ausprägung durchsetzt. Dieses „Durchsetzen“ meint man selbst kausal erfassen zu können, indem man den unterschiedlichen Merkmalsausprägungen bei der Interaktion ihrer Träger mit der Umwelt unterschiedliche Folgen zurechnet, welche sich für die Reproduktion als mehr oder weniger vorteilhaft erweisen können. Argumentationen solcher Art sind weit verbreitet, obwohl ihre Schwächen nicht schwer zu erkennen und auch häufig reklamiert worden sind. Zum einen hat man über den Gang der Evolution nur spärliche Informationen, so dass die „Evolutionsgeschichten“ meist nur mehr oder weniger plausiblen Charakter besitzen können. Zum anderen setzen solche Geschichten voraus, dass die Merkmale eines Individuums für dessen Beziehungen zur Umwelt jeweils einen *unabhängigen* Beitrag leisten. Nur unter der letzteren Annahme kann unterstellt werden, dass die Ausprägungen eines Merkmals für sich genommen selektioniert und optimiert werden. Dies ist eine höchst problematische Annahme, denn so wie man Merkmale kennt, die nur zusammen eine bestimmte Wirkung entfalten können, so kennt man auch den Fall, dass relative Mängel in der Ausprägung eines Merkmals durch andere Merkmale kompensiert werden können. Und dies zeigt schließlich, dass von Vor- und Nachteil nur geredet werden kann mit Blick auf ein ökonomisches und damit funktionales Erklärungsmuster. Dazu ein kleines Beispiel.

Angenommen, eine Affenpopulation ernährt sich überwiegend von den Blättern der Bäume der Art X, es gibt aber immer wieder Individuen in dieser Population, die über ein Verdauungsenzym verfügen,

welches ihnen erlaubt, auch Blätter von Bäumen der Art Y zu verspeisen, die für die anderen Affen unverträglich sind. Weiter angenommen, das Nahrungsangebot sei im Gebiet der Population so beschaffen, dass diejenigen, die über das Enzym verfügen, keinen besonderen Vorteil haben, da es einerseits ausreichend Bäume der Art X gibt und andererseits die anderen von Jugend an schnell *lernen*, die unverdaulichen Blätter zu meiden. Schließlich sei angenommen, dass der Mensch die Affen aus ihrem angestammten Lebensraum vertreibt und sie in höher gelegene Regionen ausweichen müssen, wo nun Bäume der Art Y wesentlich häufiger vorkommen als solche der Art X. Jetzt wird das besondere Merkmal einiger Mitglieder der Population für diese zum Vorteil, d.h. der Anteil der Affen, die über das besondere Verdauungsenzym verfügen, wird im Lauf der Zeit wachsen.

Dieses Beispiel macht mehrerer wichtige Punkte deutlich: Zum einen können Merkmale eine Funktion für das Lebewesen besitzen, auch wenn sie nicht positiv selektioniert worden sind; zum anderen bietet ein Merkmal nur dann einen Vorteil für seinen Träger, wenn andere, die es *nicht* besitzen, diesen Mangel auch *nicht kompensieren* können. Weiter sieht man, dass das „Durchsetzen“ nur insoweit als *kontinuierlicher Wachstumsprozess* beschrieben werden kann, als es die *relative* Zunahme des Anteils der Träger eines bestimmten Merkmals in einer Population betrifft. Auf der funktionalen Ebene dagegen gibt es in der Regel keine Kontinuität, d.h. ein bestimmtes Merkmal ist vorhanden oder nicht. Und schließlich zeigt dieses Beispiel den Übergang von der Binnensicht zur Außensicht: ein Merkmal hat für ein Lebewesen eine innere technische Funktion, diese erweist sich in der Konkurrenz zu anderen als mehr oder weniger taugliches Mittel zur Verfolgung von Fortpflanzungszielen.

Ich habe erläutert, dass Funktionalerklärungen immer auf technische oder ökonomische Muster zurückgreifen müssen. Insoweit kann nicht kritisiert werden, wenn die Evolutionsbiologie sich hauptsächlich ökonomischer Erklärungsmuster bedient. Hier liegt kein ideologischer Anthropomorphismus vor, sondern eine Notwendigkeit, es sei denn, man will auf Erklärungen ganz verzichten. Kritisch zu prüfen ist allerdings im Einzelfall, ob das gewählte Muster tatsächlich zu einer einsichtigen und angemessenen Erklärung führt; und während sich die Physiologie oder Genetik bemühen, möglichst aktuelle Technologiekonzepte als Bezugspunkte für funktionale Erklärungen zu nutzen, verhält sich die Evolutionstheorie sehr konservativ. Die von ihr herangezogenen Optimierungsvorstellungen entsprechen in der Regel eher der Ökonomie des 19., als der des 20. oder 21. Jahrhunderts. Die Berücksichtigung von Substitutions- und Kompensationseffekten, von Informations- und Transaktionskostenansätzen sowie von Konzepten zur Optimierung unter Unsicherheit würden der Evolutionstheorie vermutlich eine breite Palette an fruchtbaren Erklärungsmöglichkeiten bieten.

5 WACHSTUM UND INDIVIDUALENTWICKLUNG

Wachstum im Kontext der Evolutionstheorie bedeutet zunächst *relatives* Wachstum und ist immer mit dem funktional bestimmten Prozess des „Durchsetzens“ verbunden. Wenn wir jetzt den Blick auf das einzelne Lebewesen und seine Entwicklung richten (wir beschränken uns hier auf höher entwickelte Lebewesen), fällt zunächst auf, dass man diese in der Kategorie des *absoluten* Wachstums beschreiben kann. Aus einem Keim entwickelt sich ein Individuum über eine weite Lebensstrecke hin durch fortgesetzte Zellteilung und mit der Zunahme der Anzahl der Zellen wachsen zugleich Größe, Volumen und Gewicht. Das Wachstum dieser Größen erfolgt nicht gleichförmig und im gesunden Fall auch nicht unbeschränkt, irgendwann wird ein stationärer Zustand erreicht, in dem dann charakteristische Größen (z.B. die Länge) stagnieren und das Lebewesen ist dann „erwachsen“ oder „ausgewachsen“. Die Phänomenologie des individuellen Wachstums lässt sich durch die Korrelation verschiedener charakteristischer Größen gut beschreiben (Largo 1993; Karafyllis 2002), das Auffällige am Heranwachsen eines Lebewesen sind aber nicht diese quantitativen Verhältnisse, sondern, wie in der Einleitung schon bemerkt worden ist, die damit einhergehenden qualitativen Veränderungen.

D’Arcy Wentworth Thompson hat seine berühmte Monographie „On Growth and Form“ dem Zusammenhang von Wachstum und morphologischer Entwicklung gewidmet (Thompson 1985) und in ihr wenigstens zwei grundlegende Sachverhalte festgehalten: (a) Die Form ist nicht völlig unabhängig von der Funktion ihres Trägers. Zwar können Funktionen von Trägern recht unterschiedlicher Form erfüllt werden, jedoch ist dieses Verhältnis nicht beliebig, d.h. Morphologie und Funktionalität sind einander angepasst. (b) Formen können sich nicht aus beliebigen Vorformen entwickeln. Thompson versuchte

letzteren Gedanken auch mathematisch zu fassen und wollte zeigen, wie aus bestimmten Formen bei zulässigen Transformationen in einem geometrischen Sinne ähnliche Formen entstehen; ein Vorhaben, das dann viele Jahre später Mathematiker wie René Thom inspiriert hat (Thom 1983). Gleichwohl sind die Bemühungen von Thompson rein deskriptiv geblieben, *erklären* konnte er die Zusammenhänge von Wachstum und Form, von Morphologie und Funktionalität nicht. Erst die moderne Genetik brachte die Erkenntnis, dass das Hineinwachsen in eine bestimmte Form einem genetischen Programm unterliegt. Es gelang, Gene zu isolieren, die für die Ausbildung bestimmter morphologischer Strukturen verantwortlich sind. So sind z.B. die so genannten HOX-Gene bei Wirbeltieren an der regionalen Spezifikation entlang der Körperachse beteiligt. Stört man die Aktivität eines bestimmten solchen Gens, so kommt es z.B. zu einer Störung in der Ausbildung eines bestimmten Wirbelkörpers. Entscheidend auf diesem Gebiet waren die Arbeiten von Chr. Nüsslein-Volhard, die am Modell der Drosophila gezeigt hat, wie man die embryonale Achsenbildung prinzipiell verstehen kann (Nüsslein-Volhard 1990). Damit war aber zunächst nur ein funktionaler Zusammenhang dargelegt: die Ausbildung von organischen Strukturen ist ein genetisch gesteuerter Prozess.

Die Ausbildung von unterschiedlichen Funktionen in der Entwicklung des Lebewesen werden beschrieben und erklärt in der Sprache der Technik. So werden z.B. die Aufgaben und Leistungen des Skelettsapparats mit Bezug auf die technische Mechanik, die des Ader-Systems (also die Beschaffenheit der inneren Wände der Adern, ihr Querschnitt und dessen Verjüngung sowie die Verzweigungswinkel) mit Bezug auf die Strömungsmechanik und generell die physiologischen Aufgaben und Leistungen von Organen sowie deren Funktionszusammenhänge mit Bezug auf die technische Systemtheorie erklärt. Auch die Genetik benutzt wesentlich funktionale Erklärungen, die vor allem dem Bereich der Informationstechnologie entnommen sind; so ist hier die Rede von genetischer Information, ihrer Codierung, Speicherung und Übertragung.

Wie wir gesehen haben ist die entscheidende Frage, die sich an solche funktionale Erklärungen anschließt die nach der kausalen Realisation der Funktionen. In unserem Zusammenhang heißt dies insbesondere: Woher „weiß“ der Organismus, dass eine bestimmte intendierte Form fertig ausgebildet und der Wachstumsprozess einzustellen ist? Die Antwort wurde mit dem Aufweis selbstorganisierender Prozesse gegeben. Mit „Selbstorganisation“ war kein neues fundamentales Erklärungsschema geliefert, obwohl in der populärwissenschaftlichen Literatur manchmal ein derartiger Anschein erweckt wurde. Vielmehr handelt es sich bei Selbstorganisationsprozessen um eine raffinierte Verknüpfung von kausalen Prozessen. Unter „Selbstorganisation“ versteht man ganz allgemein gesprochen, dass die interne Dynamik eines Systems von einem relativ undifferenzierten Zustand ausgehend zu einem bestimmten, makroskopisch registrierbaren Ordnungszustand führt. Bedingung dafür ist, dass für das System eine ständige externe Energie- und/oder Stoffzufuhr existiert. Diese abstrakte Formulierung sei, bevor wir uns den biologischen Problemen zuwenden, an einem einfachen physikalischen Beispiel erörtert.

Angenommen, wir haben eine dünne Flüssigkeitsschicht, welche sich zwischen zwei Platten erstreckt, wobei die Dicke der Schicht relativ zu ihrer horizontalen Ausdehnung klein ist. Überlässt man dieses System sich selbst, so nimmt es einen homogenen Zustand ein, d.h. an allen Stellen werden die systemrelevanten Größen Temperatur, Druck und Dichte Werte annehmen, die eng um einen statistischen Mittelwert schwanken. Führt man diesem System über die untere Platte Wärme zu, so wird dieses Gleichgewicht gestört. Ist der Unterschied zwischen der Temperatur an der unteren und der Temperatur an der oberen Platte klein, so wird ein einfacher Wärmetransport stattfinden. Wärme wird von unten nach oben transportiert und über die obere Platte an die Umgebung abgegeben. Dabei ändern sich die systemrelevanten Größen linear mit dem Abstand von der unteren Platte, das System zeigt aber kein makroskopisch verändertes Verhalten. Wird nun die Temperatur an der unteren Platte über einen kritischen Wert gebracht, so stellt sich plötzlich ein makroskopisch wahrnehmbares Phänomen ein: Die Flüssigkeit bildet eine Reihe von Zellen aus (sog. „*Bénardsche Konvektionszellen*“), in denen eine Konvektionströmung auftritt.

Wie lässt sich das Phänomen physikalisch erklären? Nun, zunächst bewirkt die Wärmezufuhr, dass die Flüssigkeit in der Nähe der unteren Platte eine geringere Dichte hat als in dem oberen Teil der Schicht. Wird ein kleines Volumenelement durch eine Störung ein wenig nach oben verschoben, so gerät es in

eine Umgebung mit höherer Dichte und erfährt dort eine der Gravitationskraft entgegengesetzte Auftriebskraft. Umgekehrt gilt, dass ein sich in der Nähe der oberen Platte befindliches Volumenelement eine nach unten gerichtete Kraft erfährt, wenn es durch eine Störung in einen Bereich geringerer Dichte gestoßen wird. Dass dieser Strömungsprozess erst ab einer gewissen kritischen Temperatur in Gang kommt, liegt an gegenwirkenden Kräften: Zum einen bremst die Zähigkeit der Flüssigkeit die Auftriebsbewegung, zum anderen bewirkt der Wärmetransport infolge von Wärmeleitung einen gewissen Temperatúrausgleich zwischen dem Volumenelement und seiner Umgebung. Überwiegt also der Auftrieb die verzögernden Kräfte, so setzt an irgendeiner Stelle die Aufwärtsbewegung der Flüssigkeit ein, diese streicht dann an der oberen Platte entlang, kühlt sich dabei ab, sinkt nach unten, wo sie sich wieder erwärmt, um erneut aufzusteigen. Die Flüssigkeitszellen, die sich spontan strukturieren, rotieren dabei mit wechselndem Drehsinn. "Spontan" meint dabei, dass eine nicht kontrollierbare mikroskopische Anfangsstörung darüber entscheidet, welches Rotationsmuster sich makroskopisch ausbildet.

Das Hineinwachsen eines Zellverbands in eine bestimmte räumliche Form lässt sich nun in ähnlicher Weise als Selbstorganisationsprozess verstehen. Die Grundvorstellung baut dabei auf einem Diffusionsmodell auf, bei dem zwei Stoffe zusammenwirken: ein Anregungsstoff (oder *Aktivator*) und ein Hemmstoff (oder *Inhibitor*). Der Anregungsstoff wird in Zellen produziert und diffundiert in andere Zellen hinein, wo er die vermehrte Ausschüttung seiner selbst bewirkt; d.h. die Diffusion des Aktivators ist selbstverstärkend, wodurch sich innerhalb eines Zellverbands ein Konzentrationsgefälle einstellt. Übersteigt die Konzentration des Aktivators in einer Zelle ein gewisses Maß, so wirkt er wie ein *Schalter* auf die Gene und löst entsprechende Prozesse aus (z.B. die Produktion bestimmter Eiweißstoffe). Dem Aktivator ist in seiner Wirkung der Hemmstoff entgegengesetzt, was bedeutet, dass er den Aktivator abbaut oder zumindest seine Produktion verhindert. Diese beiden Reaktionsstoffe sind nun durch zwei Annahmen miteinander verknüpft: (a) Die Produktion von Hemmstoff in einer Zelle hängt von der in der Zelle vorhandenen Aktivatormenge ab und (b) die Diffusionsgeschwindigkeit und/oder „Lebensdauer“ des Hemmstoffs sind wesentlich größer als die entsprechenden Größen des Aktivators. Die zweite Bedingung besagt, dass der Hemmstoff sich in einem größeren Gebiet ausbreitet als der Anregungsstoff, dieser wird also bei seiner Diffusion über kurz oder lang auf Zellen stoßen, die schon vom Inhibitor „besetzt“ sind, wodurch der Diffusionsprozess zu einem Stillstand kommt, d.h. mit der Zeit bildet sich in dem Gesamtgebiet, das ein Zellverband einnimmt, eine stabile Aktivierungszone aus, welche sich makroskopisch als bestimmte räumliche Form oder als Oberflächenmuster ausprägt (zu Einzelheiten vgl. z.B. Gierer 1988; Meinhardt 1997). Wie gesagt ist es in vielen Fällen schon gelungen, die so genannten „Schaltergene“ zu identifizieren und Stoffe zu bestimmen, die die Rolle von Aktivatoren bzw. Inhibitoren übernehmen.

Zur Zeit bewegt die Biologen besonders die Frage, wie die zeitliche Steuerung des genetischen Entwicklungsprogramms beschaffen ist. Was löst genetische Aktivitäten im Laufe der Entwicklung aus und auf welche Weise ist das höchst diffizile Zeitmanagement organisiert, das erforderlich ist, damit das Heranwachsen eines Individuums nicht in der Katastrophe endet? Diese Fragen führen in das Gebiet der so genannten „Epigenetik“ und wenn hier auch noch viele Fragen offen sind, lässt sich doch schon jetzt absehen, dass die Antworten nach dem klassischen biologischen Muster des Wechselspiels von funktionalen und kausalen Erklärungen gegeben werden.

6 SCHLUSS

Mit dem kleinen Ausflug in die Wissenschaftstheorie sollte gezeigt werden, wie biologische Forschungsprogramme sich immer aus einem organisierten Wechselspiel von funktionalen und kausalen Erklärungen zusammensetzen. So wenig aber Technik und Ökonomie die Ziele ihres Einsatzes selbst rechtfertigen können, so wenig können ihre Übertragungen in die Biologie erklären, was Leben sei oder warum es mit Wachstum verbunden sein müsse. Neben diesem methodologischen Ertrag haben diese Überlegungen aber auch ganz handfeste praktische Konsequenzen, auf die ich zum Schluss noch kurz eingehen möchte. Wie man sehen konnte, lassen sich Wachstum und Entwicklung unter recht verschiedenen Perspektiven beschreiben, insbesondere kann das Wachstum des einzelnen Lebewesen phänomenologisch an Größen festgemacht werden, welche im Lauf der Zeit kontinuierlich zunehmen.

Diese Möglichkeit wird in der bioethischen Debatte um das therapeutische Klonieren oder um die Präimplantationsdiagnostik dazu benutzt, um ein Kontinuitätsargument gegen solche technische Eingriffe in die Entwicklung des Menschen zu formulieren.

Mit dem Kontinuitätsargument wird versucht, zwischen dem selbstbewussten und selbstbestimmten Menschen und der befruchteten Eizelle eine biologische Brücke herzustellen, welche das Argument der moralischen Gleichbehandlung tragen soll. Dabei wird durchaus anerkannt, dass das moralische Kriterium der Würde an Eigenschaften wie Selbstbestimmung und Selbstbewusstsein gebunden wird, Eigenschaften die sich ja zunächst nur an dem zur Person entwickelten Menschen zeigen und nicht schon an der befruchteten Eizelle. Dann aber wird behauptet, dass diese moralisch relevanten Eigenschaften sämtlich in der befruchteten Eizelle schon angelegt seien, diese gewissermaßen das Programm zur Person schon besäße, welches sich nur noch im Wege der biologischen Entwicklung entfalten müsse, wobei dieser Entwicklungsprozess kontinuierlich verlaufe und jede Trennung in qualitativ unterschiedliche Stadien reine Willkür bedeute (so z.B. Spaemann 2000, Höffe 2001 und Gruber in diesem Band).

Dem ist allerdings entgegenzuhalten, dass jede Unterscheidung willkürlich in dem Sinne ist, dass sie uns nicht von der Natur aufgezwungen wird, sondern aus freien Stücken erfolgt. Das heißt aber noch lange nicht, dass sie willkürlich im Sinne von „grundlos“ sein muss (Kötter 2002). In der Tat, wenn man z.B. nur auf die Zahl der Zellen sieht, oder auf Länge und Gewicht, dann macht es keinen rechten Sinn, verschiedene Stadien der Entwicklung zu unterscheiden. Aber dies ist eben nur *ein* Aspekt, unter dem Wachstum und Entwicklung gesehen werden können. Unter einer *funktionaler* Perspektive gesehen lassen sich in der Entwicklung sehr wohl verschiedene Stadien ausmachen. So erfüllen z.B. totipotente Zellen eben ganz andere Funktionen und sind anders organisiert wie die auf der nächsten Entwicklungsstufe anzutreffenden pluripotenten Zellen, es gibt hier keinen kontinuierlichen Übergang in den Funktionen. Damit soll nicht gesagt werden, dass man der befruchteten menschlichen Eizelle keine Würde zusprechen sollte, klar sollte nur sein, dass schon aus biologischen Gründen das Kontinuitätsargument kein Argument ist, dass einen solchen Zuspruch erzwingt.

7 LITERATUR

Bernard, C.: Einführung in das Studium der experimentellen Medizin. Leipzig 1961.

Cummins, R.: Functional Analysis. In: The Journal of Philosophy 72, 1975, S. 741 - 765.

Friedman, M.: Explanation and Scientific Understanding. In: The Journal of Philosophy 71, 1974, S. 5 - 19.

Gierer, A.: Die Physik, das Leben und die Seele. Anspruch und Grenzen der Naturwissenschaft. München 1988.

Gutmann, M.: Funktion und Modell. Zum methodologischen Status der Rede über Funktion und ihre Bedeutung für evolutionäre Rekonstruktionen. In: Schlosser, G./Weingarten, M. (Hg.), Formen der Erklärung in der Biologie. Berlin 2002, S. 17 - 46.

Hempel, C. G./Oppenheim, P.: Studies in the Logic of Explanation. In: Philosophy of Science 15, 1945, S. 135-175.

Höffe, O.: Wessen Menschenwürde? In: DIE ZEIT 06/2001

Janich, P./Weingarten, M.: Wissenschaftstheorie der Biologie, München 1999.

Kamlah, A.: Die Bedeutung des d'Alembertschen Prinzips für die Definition des Kraftbegriffes. In: Balzer, W./Kamlah, A. (Hg.): Aspekte der physikalischen Begriffsbildung. Braunschweig 1979, S. 191-217.

Karafyllis, N.C.: Zur Phänomenologie des Wachstums und seiner Grenzen in der Biologie. In: Hogrebe, W. (Hg.): Grenzen und Grenzüberschreitungen. XIX. Deutscher Kongreß für Philosophie, Bonn 2002, S. 579 - 590.

Kitcher, Ph.: Explanatory Unification. In: *Philosophy of Science* 48, 1981, S. 507 - 531.

Kitcher, Ph.: Funktion und Design. In: Schlosser, G./Weingarten, M. (Hg.), *Formen der Erklärung in der Biologie*. Berlin 2002, S. 135 - 154.

Kitcher, Ph./Salmon, W. (eds.): *Scientific Explanation*, Minneapolis 1989.

Kötter, R.: Wieviel Ethik enthält die Bioethik? In: Gutmann, M./Hartmann, D./Weingarten, M./Zitterbarth, W. (Hg.): *Kultur - Handlung - Wissenschaft*. Weilerswist 2002, S.125 - 148.

Lambert, K.: Prolegomenen zu einer Theorie des wissenschaftlichen Verstehens. In: Schurz, G. (Hg.): *Erklären und Verstehen in der Wissenschaft*, München 1988, S. 299-319.

Largo, R. H.: Die Regulation des postnatalen Wachstums aus phänomenologischer Sicht. In: Köhler, W. (Hg.): *Wachstum und Wachstumsgrenzen*, Halle 1993 (= *Nova Acta Leopoldina NF 69*), S. 245 - 258.

Meinardus, G.: Ansätze zur mathematischen Beschreibung von Wachstumsprozessen. In: Köhler, W. (Hg.): *Wachstum und Wachstumsgrenzen*, Halle 1993 (= *Nova Acta Leopoldina NF 69*), S. 79 - 90.

Meinhardt, H.: *Wie Schnecken sich in Schale werfen*. Heidelberg 1997.

Nagel, E.: *The Structure of Science*, New York 1961.

Nagel, E.: Teleology Revisited. In: *The Journal of Philosophy* 74, 1977, S. 261 - 301.

Nüsslein-Volhard, Chr.: Die Neubildung von Gestalten bei der Embryogenese von *Drosophila*. In: *Verh. Dtsch. Zool. Ges.* 83, 1990, S. 261-274.

Passmore, J.: Explanation in Everyday Life, in Science and History. In: *History and Theory* 2, 1962, S. 105 - 123.

Pitt, J.C. (ed.): *Theories of Explanation*. New York 1988.

Schaffner, K. F.: Funktionsanalyse und teleologische Erklärung. In: Schlosser, G./Weingarten, M. (Hg.), *Formen der Erklärung in der Biologie*. Berlin 2002, S. 47 - 90.

Schurz, G. (Hg.): *Erklären und Verstehen in der Wissenschaft*, München 1988.

Spaemann, R.: Gezeugt, nicht gemacht. In: *DIE ZEIT* 43/2000.

Thom, R.: *Mathematical Models of Morphogenesis*. New York 1983.

Thompson, D'Arcy W.: *Über Wachstum und Form* (nach der überarbeiteten Fassung von: *On Growth and Form*, Cambridge 1966), Frankfurt/M 1983

van Fraassen, B.: The Pragmatics of Explanation. In: *Am. Phil. Quart.* 14, 1977, S. 143 - 150.