

Band 43 (2006) Heft 1

**NATUR IM LABOR**

herausgegeben von Kristian Köchy und Gregor Schiemann

Kristian Köchy und Gregor Schiemann Einleitung	1
Lothar Schäfer Die Erscheinung der Natur unter Laborbedingungen	10
Holm Tetens Das Labor als Grenze der exakten Naturforschung	31
Christoph Rehmann-Sutter Genes in Labs – Concepts of Development and the Standard Environment	49
Kristian Köchy Lebewesen im Labor. Das Experiment in der Biologie	74
Jutta Weber Mannigfaltige Techno-Naturen: Von epistemischen Modellsystemen und situierten Maschinen	111
Thomas Sören Hoffmann Gezeigte versus sich zeigende Natur	142
Klaus Michael Meyer-Abich Laborforschung im Erkenntnishandeln der Experimentiergesellschaft	168

# Kristian Köchy und Gregor Schiemann

## Natur im Labor

### Einleitung

Seit Beginn der frühen Neuzeit ist das naturwissenschaftliche Verfahren maßgeblich durch ein neues Konzept geprägt: das Konzept des experimentellen, gestalterischen Eingriffs in die Natur. Es geht nun nicht mehr darum, eine Geschichte der „freien und ungebundenen Natur“ (Bacon, 1990, 55) zu erzählen, die in ihrem eigenen Lauf belassen und als vollkommene Bildung betrachtet wird. Es geht vielmehr darum, der „gebundenen und bezwungenen Natur“ (ebd.) vermittle der experimentellen Tätigkeit des Menschen die Geheimnisse zu entreißen. Diese technisch-praktische Konzeption grenzt sich explizit von den klassischen kontemplativen Wissenschaftsvorstellungen der Antike ab. Wie es Kant paradigmatisch mit Bezug auf Bacon formuliert hat (Kant, 1983a, 23), ist diese „Revolution der Denkart“ maßgeblich durch ein gewandeltes Verständnis des Verhältnisses des Menschen zur Natur geprägt. Der Mensch als Experimentator hat für Kant nicht mehr die „Qualität eines Schülers“, der sich passiv von der Natur belehren läßt und an ihrem „Leitbände“ gegängelt wird (ebd.). Seine neu gewonnene Autorität verleiht ihm vielmehr den Status eines Richters, der nun die Natur nötigen kann, auf gestellte Fragen zu antworten.

Doch die neuzeitliche Sichtweise des Mensch-Natur-Verhältnisses hat die Rede von einer Natur im Singular problematisch werden lassen. Davon zeugt die Vielfalt der Naturbegriffe, die sich auch in Kants Werk nachweisen läßt. Wenn Natur etwa nur das Dasein der Dinge umfaßt, „sofern es nach allgemeinen Gesetzen bestimmt ist“, (Kant, 1983b, 159) und Naturgesetze nur experimentell festgestellt werden können, dann fragt es sich, in welcher Beziehung eine derart wissenschaftlich gefaßte Natur zum Konzept der „freien und ungebundenen“ Natur steht.

Im Labor als dem für die Praxis der experimentellen Naturwissenschaft kennzeichnenden physischen und sozialen Ort verschärft sich diese Problematik. Als Forschungseinrichtung, die von ihren physischen Umwelten abgegrenzt ist, ist das Labor der für die Durchführung von

Experimenten bevorzugte Raum. Das experimentelle Verfahren ist ein zweckrationaler Handlungszusammenhang, der auf die Feststellung oder Erzeugung von Phänomenen abzielt und der Bildung, Überprüfung oder Kritik von Wissen über die objektivierbare Wirklichkeit dient.<sup>1</sup> „Phänomen“ meint dabei Ereignisse, Vorgänge oder Zustände, von denen erwartet wird oder nachgewiesen ist, daß sie sich begrifflich beschreiben lassen, unter geeigneten Umständen regelmäßig eintreten und einer theoretischen Erklärung zugänglich sind. Der experimentellen Erzeugung von Phänomenen muß also keine bestimmte Vorstellung über sie vorangehen. Zahlreiche Phänomene wurden sogar in Experimenten entdeckt, die dafür nicht vorgesehen waren. Es ist nun die zur systematischen Erfassung von Phänomenen allermeist notwendige Minimierung von Parametern und Variablen, die eine kontrollierte Abgrenzung der Gegenstände der Experimente von ihren Umgebungen erfordert, wie sie nur in Laboren realisiert ist. Die bei Experimenten eingesetzten technischen Vorrichtungen dienen der optimalen Erfüllung dieser Idealisierungsbedingung.

Erlaubt die Umgebungsabgrenzung eine raumzeitliche Verortung von Experimenten, ist ihr intendierter Geltungsanspruch jedoch nicht lokaler, sondern universeller Art. Wissenschaftliches Wissen soll unter reproduzierbaren Bedingungen überprüfbar sein und behauptet uneingeschränkte intersubjektive Gültigkeit. Zum Universalitätsanspruch paßt die entgrenzende Struktur der Forschungsorganisation. Die Träger der experimentellen Naturwissenschaft sind nicht einzelne Individuen, sondern die weltweit vernetzten „scientific communities“ der jeweiligen Fächer. Der von ihnen produzierten Erkenntnis kommt insofern allerdings nur eine relative Objektivität zu, als die experimentelle Naturwissenschaft – wie die Wissenschaft überhaupt – ein wesentlich soziokulturelles Unternehmen ist. Labore sind die „soziale Organisationsform der Forschung, die weit über das Arrangement von Geräten in einem Arbeitsraum hinausgeht“ (Schäfer in diesem Band). Sie können disziplinär verschieden verfaßt sein. Karin Knorr-Cetina unterscheidet etwa die drei Varianten der Technologien der Korrespondenz in sozialwissenschaftlichen Laboratorien, der Technologien der Intervention in molekularbiologischen Laboratorien und der Technologien der Repräsentation in physikalischen Laboratorien (Knorr-Cetina, 2002, 52 ff.). Der Begriff des Labors geht zudem nicht in experimenteller Forschung auf. Er umfaßt zum einen auch nicht experimentelle Beobachtungs- und Darstellungs-

technologien wie zum Beispiel die Beobachtung mittels optischer Instrumente (Mikroskope, Fernrohre etc.) und ihre digitale Auswertung. Zum anderen gehören zu Laboren auch Räumlichkeiten zur Bevorratung von Arbeitsmaterialien, Werkstätten, abgegrenzte Auswertungsbereiche oder Zucht- und Hälterungseinrichtungen.

Über die Differenz disziplinärer Labortypen hinweg stellt sich die Frage nach der Natur im Labor vor allem in dreifacher Hinsicht. Geht man vom aristotelischen Naturbegriff aus, nehmen das Labor und das in ihm gewonnene Wissen den Charakter von Kunstprodukten an. Natur als das nicht vom Menschen Hergestellte tritt dann als Grenze des im Labor Machbaren und als Grenze der Anwendbarkeit des Laborwissens hervor. Aber wie würde sich diese Grenze näher charakterisieren lassen? Alternativ kann Natur mit der gesetzlich verfaßten und in aller Regel bloß experimentell hervorgebrachten Wirklichkeit identifiziert werden. Doch auch unter historisch wandelbaren Bedingungen, unter die Natur dann gerät, gibt es aktuelle Grenzen des (jeweils) Mach- und Anwendbaren. Wie erklären sie sich, wenn dafür nicht mehr auf den Naturbegriff rekurriert werden darf? Was muß zu einer im Labor gewonnenen Theorie hinzutreten, damit sie auch außerhalb des Labors gilt? Schließlich läßt sich (wie schon bei Antiphon) Natur als Stoff verstehen, der allem Seienden zugrunde liegt. Natur im eigentlichen Sinn ist dann weder das Nichthergestellte außerhalb der Labore noch das erst in den Laboren gesetzlich Nachgewiesene, sondern das nicht durch den Menschen geformte Material, das der Laborforschung ebenso wie ihren Umwelten vorausliegt.

Die Wissenschaftsphilosophie hat dem Verhältnis von Natur und Labor lange Zeit kaum Beachtung geschenkt. Erst mit dem enormen Anwachsen der laborwissenschaftlichen Erkenntnis und ihrer Anwendungen im vergangenen Jahrhundert ist die Bedeutung dieses noch wenig aufgeklärten Verhältnisses sichtbar geworden. Worin bestehen die Besonderheiten des Laborwissens gegenüber anderen Erkenntnisweisen der Natur und worauf gründet sich der beispiellose Erfolg seiner Anwendungen? In welchem Umfang haben laborwissenschaftliche Verfahren auch außerhalb der naturwissenschaftlichen Forschung Verbreitung gefunden? Zeigen die anthropogen verursachten Umweltveränderungen, daß der Mensch beginnt, sich die Erde zum Labor zu machen?

Von der Vorstellung des Labors als eines Handlungsraumes, dessen Möglichkeiten nicht im Prinzip durch Naturbedingungen eingeschränkt sind, sind die wirkungsgeschichtlich relevanten Anfänge der Wissen-

schaftsphilosophie des Labors ausgegangen.<sup>2</sup> Unter dem Vorzeichen eines kontextualistischen Ansatzes, der auf den Bereich des Laboratoriums zugeschnitten ist, stehen etwa die einflußreichen Analysen von Stephen Woolgar und Bruno Latour (1979) oder von Frederic Holmes (1985). Die zentrale These von Woolgar und Latour lautet, daß wissenschaftliche Tatsachen im Labor nicht entdeckt, sondern sozial konstruiert werden. Diese These bleibt jedoch noch weitgehend in der Tradition des alten theorienzentrierten Ideals der Wissenschaftsphilosophie, da für die beiden Autoren das eigentliche Produkt der Laborarbeit Sätze sind. Das Labor hat nach dieser Überlegung mittels seiner technischen Prozesse und Instrumentarien die alleinige Funktion, spekulative Behauptungen in akzeptierte Tatsachenaussagen zu transferieren.

Auch bei Holmes bleibt zunächst die Ausrichtung auf Theorie erhalten, denn den Prozeß im Labor hält auch er für abgeschlossen, wenn die einzelnen Schritte des praktischen Forschungsweges in eine kohärente schriftliche Form einmünden. Während Woolgar und Latour die aktuelle Laborforschung analysieren, richtet sich Holmes' Studie auf die Frühphase der chemischen Labortätigkeit. Bei seiner Detailanalyse der Forschung von Antoine Lavoisier treten nicht nur die Mechanismen der Koppelung von Begriffen und Laborpraktiken deutlicher hervor, sondern es wird auch erkennbar, daß die experimentelle Labortätigkeit ihren eigenen regulativen Prinzipien folgt und eine eigene Rationalität (*practical reasoning*) besitzt.

Eine nochmals erweiterte Perspektive liefert der Ansatz von Andrew Pickering (1984), der zudem die Rolle der sozialen Interaktion auch zwischen verschiedenen Laboratorien oder Disziplinensträngen und die Einwirkung externer sozialer Bedingungen als Determinanten der Wissensproduktion im Labor ins Spiel bringt. Dabei wird eine Art symbiotischer Beziehung zwischen den Praktiken der Laborforscher und den Begriffen der Theoretiker konstatiert, die dann zur Etablierung neuer wissenschaftlicher Ordnung führt. Nach dieser Analyse ist die Bewertung der Experimente, Instrumente und Laborvollzüge nicht auf das Labor beschränkt. Sie erfolgt vielmehr in einem sozialen Stabilisierungsprozeß, der als ein Wechselspiel der gegenseitigen Bestätigung und Bekräftigung von experimentellen Traditionen des Labors und herrschenden theoretischen Überzeugungen verstanden werden muß. Auf der Basis dieses Prozesses wächst auch das Vertrauen, daß es sich bei den im Labor erzeugten Phänomenen nicht um Artefakte handelt.

Indem sich Woolgar, Latour, Holmes und Pickering auf die Handlungen der Akteure im Labor und auf das Eingriffsgeschehen des Labors konzentrieren, überwiegt bei ihnen der Aspekt der sozialen und technischen Formbarkeit von Natur. In extremer Ausdeutung dieser Schwerpunktsetzung gerät die aristotelisch verstandene Natur im Labor ganz aus dem Blick. Die Resultate der Laborforschung stehen dann in keinem Zusammenhang mit den nicht vom Menschen hergestellten Phänomenen außerhalb der Labore. Zum Ausdruck bringt dies etwa Holm Tetens' Auffassung, nach der die experimentellen Phänomene der Physik prinzipiell nicht in der Natur vorkommen, weil sie Produkte menschlichen Handelns mittels technischer Apparaturen sind (Tetens, 1987, 12).

Eine andere Richtung hat Ian Hacking eingeschlagen. In seiner Philosophie des Experimentes findet sich die Vorstellung von der Selbststabilisierung des Laborgeschehens (1988, 1991). Seiner Überlegung zufolge, die er explizit gegen konstruktivistische Thesen abgrenzt, stellt die Laborforschung als Laborstil eine spezielle Form des Vernunftgebrauchs dar. Der Laborstil bringe zwar neuartige Formen von Entitäten und dementsprechend eine neue Form der Existenzdebatte ins Spiel – Hacking denkt dabei vor allem an die Frage nach der Existenz von nichtbeobachtbaren theoretischen Entitäten –, aber stets nur so, daß aus dem Kreis der existierenden Dinge durch den neuen Stil eine neue Art von Gegenständen individuiert werde. Die faktischen Gegenstände verdanken also ihre Existenz nicht einem Konstruktionsprozeß, sondern der Stil läßt sie lediglich „als“ Gegenstände der Forschung entstehen. Bei seinen Überlegungen geht Hacking von einer „wechselseitigen Anpassung von Ideen [...], Ausrüstungsgegenständen [...] und Merkmalen (einschließlich Daten und Datenanalyse)“ aus (Hacking, 2005, 158). Unter „Merkmalen“ (marks) versteht er die Resultate der Manipulation von Dingen oder anderen Merkmalen im Experiment. Obwohl er Laborwissenschaft als apparative Interaktion mit Aspekten von Natur bestimmt, vermeidet Hacking eine Positionierung in der Debatte, ob Natur selbst mit der Laborperspektive erfaßt werden kann (vgl. Hacking, 1991, 33 und 50).

Demgegenüber spricht Karin Knorr-Cetina von der Wechselwirkung zwischen natürlicher Ordnung und sozialer Ordnung im Labor. Sie postuliert, daß in Laboratorien „rekonfigurierte, manipulierbare Objekte in Relation zu den Akteuren“ gesetzt werden, wobei sowohl die natürliche Ordnung als auch die soziale Ordnung einer Revision unterzogen werden (Knorr-Cetina, 2002, 48). Betrachtet man diesen Interaktionsprozeß

genauer, dann zeigt sich etwa gerade am extrem auf Intervention ausgerichteten molekularbiologischen Laborstil, in dem die Objekte allen nur vorstellbaren Eingriffen unterworfen werden (ebd. 128), daß die Verfahren und epistemischen Strategien der Akteure „in der Praxis mit widerständigen Materialien und Lebewesen ausgehandelt werden müssen“ (ebd. 132). Welche Bedeutung hat die Rede von der „Widerständigkeit“? Bringt sie die Seite eines dem Laborprozeß entgegenstehenden Natürlichen zum Ausdruck?

Mit Hugo Dingler könnte man von einer gänzlich passiven Verfassung der Natur ausgehen. Die experimentelle Laborforschung bliebe dann wie bei Tetens rein technisch und führte zu keiner Erkenntnis über die ontologische Beschaffenheit von Natur (Dingler, 1955, 197). Damit würde sich die Widerständigkeit der Natur auf einen „metaphysischen“ Bereich beschränken, der jenseits der aktuellen theoretischen Erklärung und labortechnischen Zugriffsmöglichkeiten liegt und den Dingler die „Gesamtheit des Gegenstehenden“ nennt (ebd. 196). Man könnte zweitens mit Ludwig Fleck (1983, 75) den Aspekt der Widerständigkeit auf die Erkenntnisproduktion der Laborforschung beziehen. Fleck deutet etwa den historischen Prozeß der mikroskopischen Beobachtung und Beschreibung von Diphtherieerregern als einen psychologischen Prozeß der Gestaltbildung. Der Widerstand hat dann die Form eines „Widerstandsavisos“, ein diffuses Gegenstehendes, das als neue Beobachtungs- und Forschungsbedingung zu einer Hemmung der „Denkoszillationen“ des Forscherkollektivs Anlaß gibt und so einen Prozeß der Neubildung von Seh- und Denkgewohnheiten auslöst. Eine dritte Option würde der Natur als Widerständigkeit – wie etwa im genannten Fall der molekularbiologischen Laboratorien – eine aktive Rolle eines dem Forschungsvollzug Entgegenstrebenden oder im Forschungsvollzug zu Berücksichtigenden zuschreiben. In diese Richtung zielen etwa die frühen metaphysischen Überlegungen von Hans Jonas, der die Handlungen von GentechnologInnen im Labor als „kollaborativ mit der Selbsttätigkeit eines aktiven ‚Materials‘“ (Jonas, 1987, 165) ansieht.

Vergleichbare Deutungen kommen auch bei jüngeren Autoren, wie Knorr-Cetina und Latour, zum Tragen. Knorr-Cetina bezieht sich auf die Laborerfahrung von BiologInnen, denen Proteinstrukturen zu Akteurinnen mit „Aspekten einer Persönlichkeit“ werden, indem sie sich dem Laborvollzug gegenüber als widerständig erweisen (Knorr-Cetina, 2002, 160). Bruno Latour konstatiert einen relationalen Kontext – eine gegen-

seitige aktive Beeinflussung – zwischen den LaborforscherInnen und ihren Forschungsgegenständen im Fall der Bakteriologie. Am Beispiel der Entdeckung der Milchfermentierung durch Louis Pasteur beschreibt Latour das Laborgeschehen als Wechselwirkung vieler Elemente in einem komplexen historischen Prozeß. Hierbei werden sowohl Pasteur als auch die Fermentierung neu konstituiert (Latour, 2001, 280 ff.). Arbeiten zum Status der Modellorganismen im Labor bekräftigen die Vorstellung Latours. Auch sie behaupten eine Art von Symbiose zwischen LaborforscherInnen und Labororganismen (Kohler, 1993, 287), wobei zudem die Labororganismen zu essentiellen Faktoren der paradigmatischen „Umwelt“ der ForscherInnen werden und wesentliche Momente der herrschenden Forschungsprogramme mitbestimmen (ebd. 306 ff.).

Im Hinblick auf das Verhältnis von Natur und Labor ergeben sich mithin unterschiedliche Fragerichtungen der Wissenschafts- und Naturphilosophie. Verschwindet die Natur als das nicht vom Menschen Hergestellte ganz im technischen Fertigungsgeschehen? Handelt moderne Laborforschung gar nicht mehr von Natur in diesem Sinn, sondern nur noch von technischen Artefakten? Bleibt ein Rest des Unerkannten als metaphysischer Horizont des „Gegenstehenden“ über? Greift die Natur als widerständiges Moment indirekt in das Laborgeschehen ein? Oder ist Natur gar ein aktives Glied eines wechselseitigen Relationsgeschehens? Formen die Laborvollzüge Natur oder formt die Natur Laborvollzüge? Gibt es eine Koevolution von Methode und Gegenstand im Labor in Form eines historischen Wechselwirkungsgeschehens mit gegenseitiger Anpassung? Dieses sind Fragen, denen im Rahmen des vorliegenden Schwerpunktthemas der *Philosophia naturalis* nachgegangen wird.

### Anmerkungen

- 1 Übersichten über die neuere Literatur zum Experiment bieten Heidelberger und Steinle (1998), Radder (2002) und Steinle (2005).
- 2 Vgl. für das Folgende Lenoir (1992, 180 ff.).

### Literatur

Bacon, Francis, 1990: Neues Organon, Bd.1. Herausgegeben von Wolfgang Krohn, Hamburg: Meiner.

- Dingler, Hugo, 1955: Die Ergreifung des Wirklichen, München: Eidos.
- Fleck, Ludwik, 1983: Über die wissenschaftliche Beobachtung und die Wahrnehmung im Allgemeinen. In: ders.: Erfahrung und Tatsache, Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 59–83.
- Hacking, Ian, 1988: On the stability of the laboratory sciences. In: Journal of Philosophy, S. 507–514.
- Hacking, Ian, 1991: The self-vindication of the laboratory sciences. In: Pickering, Andrew (Hrsg.): Science as Practice and Culture. Chicago: University of Chicago Press, S. 29–64.
- Hacking, Ian, 1996: Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften. Stuttgart: Reclam.
- Hacking, Ian, 2005: Ein Stilbegriff für Historiker und Philosophen. In: Nach Feierabend. Zürcher Jahrbuch für Wissensgeschichte 1, S. 139–168.
- Heidelberger, Michael, Steinle, Friedrich (Hrsg.) 1998: Experimental Essays – Versuche zum Experiment. Interdisziplinäre Studien herausgegeben vom ZIF Bielefeld Bd. 3, Bielefeld: Nomos.
- Holmes, Frederic, 1985: Lavoisier and the Chemistry of Life. An Exploration of Scientific Creativity, Madison: University of Wisconsin Press.
- Jonas, Hans, 1987: Laßt uns einen Menschen klonieren. Von der Eugenik zur Gentechnologie. In: ders.: Technik, Medizin und Ethik. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 162–203.
- Kant, Immanuel, 1983a: Kritik der reinen Vernunft. Werke in 10 Bänden, Bd.3, herausgegeben von Wilhelm Weischedel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Kant, Immanuel, 1983b: Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik. Werke in 10 Bänden, Bd.5, herausgegeben von Wilhelm Weischedel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Knorr-Cetina, Karin, 2002: Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Kohler, Robert E., 1995: Drosophila. A Life in the Laboratory. In: Journal of the History of Biology 26 (2), S. 281–310.
- Latour, Bruno, 2001: Haben auch Objekte eine Geschichte? Ein Zusammentreffen von Pasteur und Whitehead in einem Milchsäurebad. In: Hagner, Michael (Hrsg.): Ansichten der Wissenschaftsgeschichte. Frankfurt a. M.: Fischer, S. 271–298.

- Lenoir, Timothy, 1992: Praxis, Vernunft und Kontext. Der Dialog zwischen Theorie und Experiment. In: ders.: Politik im Tempel der Wissenschaft, Frankfurt a. M./New York: Campus.
- Pickering, Andrew, 1984: Constructing Quarks. A Sociological History of Particle Physics, Edinburgh.
- Radder, Hans (Ed.) 2002: The Philosophy of Scientific Experimentation. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
- Steinle, Friederich, 2005: Explorative Experimente. Ampère und die Ursprünge der Elektrodynamik. Stuttgart: Steiner.
- Tetens, Holm, 1987: Experimentelle Erfahrung. Hamburg: Meiner.
- Woolgar, Stephen, Latour, Bruno, 1979: Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts, Princeton: Princeton University Press.

Lothar Schäfer

## Die Erscheinung der Natur unter Laborbedingungen

### Zusammenfassung

Die moderne Naturwissenschaft stützt sich auf empirische Daten, die weitgehend in hochkomplizierten technischen Apparaturen und Anlagen gewonnen werden. Von den Formen der alten Naturforschung ist diese Laborforschung so weit entfernt, daß sie den Vorwurf auf sich zog, sie untersuche Artefakte, aber nicht Natur. – Dagegen wird hier argumentiert, daß die Laborforschung als genuine Erbin der mit Galilei begonnenen Form der Naturwissenschaft anzuerkennen sei. Erkenntnis von den Wirkungsweisen der Natur ist nur durch gezieltes Eingreifen in Vorgänge der Natur zu gewinnen. Unter dem „Laboratorium“ haben wir allerdings weniger den Ort des Experimentierens zu verstehen, als vielmehr den in einer Arbeitsgruppe praktizierten „Denkstil“, in dem die Formen des Forschungshandelns mit den (sozialen) Strukturen der arbeitsteiligen Kooperation verbunden sind. – Wissenschaftliche Tatsachen lassen sich zwar nicht von den Bindungen an einen Denkstil ablösen, sie erweisen sich als denkstilabhängig; das macht sie aber nicht zu Kunstprodukten. Die in einem Labor praktizierten Arbeitsweisen definieren vielmehr die Bedingungen, unter denen Natur sich zeigen kann.

### Abstract

Modern science is based empirically on data, which are gained, mainly, by means of technical machinery and plants of high complexity. This type of laboratory research is at a distance to the old forms of investigating nature such that it is under suspicion to investigate artefacts rather than nature. – Against this it is argued in the following, that laboratory research has to be acknowledged as true heir of the form of science which Galileo had started. Knowledge of the powers and mechanisms of nature can be gained only by means of pointed interventions into natural processes. The term „laboratory“, however, designates less the place of experimentation, but, rather, the „thoughtstyle“ practised by a research group, in which forms of handling experimental setups and (social) structures of cooperation in a team of specialists are integrated. – Scientific facts cannot be separated from the social and cultural conditions comprised in a thoughtstyle, they are dependent on thoughtstyles. Yet, this does not make them mere artefacts of instrumentation. Scientific practices in the laboratories define, rather, the conditions under which nature can present herself.

## Erkenntnistheoretische Vorbemerkungen

Da ich im folgenden wie schon in der Überschrift technisches Vokabular der Philosophie Kants benutze – ohne damit jedoch die philosophische Position Kants zugrunde zu legen –, werde ich mit einigen Klarstellungen zu diesem Punkt beginnen.

Kant nennt den unbestimmten Gegenstand der Erfahrung „Erscheinung“. Kant bezeichnet damit jedoch kein flüchtiges Phantom, das wir nicht in den Zusammenhang der Erfahrung integrieren könnten, sondern er meint gerade den Gegenstand in dem objektiven Sinn, den wir der Erfahrung – insbesondere der wissenschaftlichen Erfahrung – zubilligen. Zwar wird dem Ding qua „Erscheinung“ das „Ding an sich“ entgegengesetzt; aber letzteres kann nicht mehr im Sinne der alten Metaphysik als das eigentliche Seiende verstanden werden; denn es ist nach Kants Theorie unerkennbar: kein endliches Vernunftwesen könnte sich erkennend auf ein Ding an sich beziehen, da jeder Bezug auf einen Gegenstand eröffnet ist durch Leistungen des Erkenntnisvermögens des Subjektes. Das ist die berühmte „kopernikanische Wendung“ Kants, die er *in Nachahmung der Methode der Geometer und Naturforscher* vollzogen hat, ausgedrückt durch die Formel, *daß die Vernunft nur das einsieht, was sie selbst nach ihrem Entwurf hervorbringt.* (KrV, B X–XXIII) Für Kant hat das Erkennen der Natur die Struktur eines produktiven Aktes; aller Erfahrung liegen durch das Subjekt geleistete produktive Synthesen zugrunde. Hinter diese erkenntnistheoretische Position vom Vorrang der Produktivität des Subjekts gegenüber dem Objekt kann man nicht zurückgehen, ohne zugleich die paradigmatische Rolle der naturwissenschaftlichen Erkenntnisweise zu verwerfen.

Für Kant sind die Bedingungen des Erscheinens von Natur invariant und sie sind in eindeutiger Weise an das Erkenntnisvermögen des Menschen gebunden. Das ist für ihn zuerst das sinnliche Vermögen der Anschauung (mit den beiden Formen von Raum und Zeit), dadurch uns überhaupt Gegenstände möglicher Erfahrung gegeben werden; und zweitens das Vermögen der begrifflichen Bestimmung derselben durch die Kategorien (den Stammbegriffen des reinen Verstandes). Die formalen Synthesen dieser beiden Elemente des Erkennens erzeugen ein System von Grundsätzen gemäß der Maxime: *Die Bedingungen der Möglichkeit von Erfahrung überhaupt sind zugleich die Bedingungen der Möglichkeit der Gegenstände der Erfahrung.* Deshalb kommt den „Grundsätzen des

reinen Verstandes“ objektive Gültigkeit zu und sie bilden die Grundlage aller Naturforschung (KrV, A 158; B 197).

Kants Philosophie ist streng prinzipientheoretisch ausgerichtet: sie ist inspiriert von den Ideen der systematischen Vollständigkeit und der Invarianz. So wie wir die Prozesse der Natur geeint und geregelt denken von invarianten Gesetzen, haben wir auch von der menschlichen Vernunft zu denken: allen Erkenntnisweisen liegt ein System invarianter Begriffe und der Regeln ihrer Verknüpfung zugrunde. Kant war überzeugt, dieses System ein für allemal und vollständig in seiner *Kritik der reinen Vernunft* dargestellt zu haben, und er konnte sich in dieser Überzeugung dadurch bestätigt fühlen, daß er das System der Grundsätze des reinen Verstandes als Konstitutionssystem der Axiome der newtonschen Mechanik darstellen konnte.<sup>1</sup>

Obwohl das Erkennen von Kant in einer Terminologie des Handelns und Erzeugens beschrieben wird, bleibt er in seinem Wissenschaftsverständnis doch einem rein theoretischen Konzept verhaftet. Sein Programm einer Grundlegung der Naturwissenschaft ist ausschließlich auf die Konstitution der Theorie in ihrer formalisierten Endgestalt ausgerichtet; denn er behauptet, „daß in jeder Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist“. (M. A. d. N., Vorrede, Kants Werke, Bd. IV, S. 740). Naturforschung vollzieht sich für ihn als Mathematisierung der Natur; die Formen institutionalisierter Forschung und des experimentellen Handelns, ganz zu schweigen von den Problemen der Anwendung naturwissenschaftlicher Forschung in Technologien, bilden keine Themen in Kants Transzendentalphilosophie.<sup>2</sup>

Aber mit der Entwicklung der sogenannten modernen Physik, deren Theorien (Quantenmechanik und Relativitätstheorie) sich nicht als Spezifikationen der von Kant ausgezeichneten Grundsätze darstellen lassen, ist anstelle der prinzipientheoretischen Orientierung der Wissenschaftstheorie eine pragmatischere Orientierung getreten und zwar in einem doppelten Sinn: Man hat den Anspruch einer Grundlegung von „Naturwissenschaft überhaupt“ revidiert zugunsten der Explikation und Rekonstruktion der jeweils akzeptierten Theorien; und man hat die rein theoretische Perspektive verlassen und anerkennt nun auch, in wie hohem Maß die moderne Naturwissenschaft ebenso unter Bedingungen des Handelns steht, das sind Bedingungen empirischer Art. Diese „pragmatische Seite“ der Wissenschaft führt uns ins Labor und damit zum gegenwärtigen Thema.

Vorweg ist eine terminologische Bemerkung am Platz: Seit dem 16. Jahrhundert bezeichnet man mit dem aus dem Mittellatein entlehnten Term *Laboratorium* den Arbeitsplatz des experimentierenden Naturforschers. Was dem Schmied die Schmiede, dem Koch die Küche, ist dem Experimentator sein *Laboratorium*. Dabei ist Arbeitsstätte durchaus wörtlich zu nehmen, denn der Experimentator trennt, mischt, wiegt, zerstampft, erhitzt, destilliert und kondensiert Substanzen und müht sich, durch den Einsatz vielfältiger Handgriffe der Natur auf die Schliche zu kommen. Das Selbstverständnis des Experimentators ist anfänglich stark vom Gegensatz zum Theoretiker geprägt, so daß das Labor geradezu als ein theoriefreier Raum galt, in dem nur Fakten zählten. Betrat der Forscher das Labor, hatte er seine Hypothesen und Theorien vorher abzulegen, um sich unvoreingenommen auf die Sachen selbst einstellen zu können.<sup>3</sup>

Von dieser Ausgangslage her sind vielfache Mißverständnisse über den epistemischen Wert der Bezugnahmen auf den *Topos* des Labors im Spiel. Ich werde im folgenden unter drei Gesichtspunkten zeigen, in welchem Sinn die philosophische Bearbeitung des *Topos* „Labor“ geboten und ergiebig ist und welche Revisionen im traditionellen Verständnis der Erkenntnistheorie mit der Aufnahme dieser Thematik verbunden sind:

1. Betreffend das Verhältnis von Theorie und Experiment,
2. Betreffend das kollektive Subjekt als Träger der Forschung,
3. Betreffend den Gegenstand als soziales Konstrukt.

Da ich mich mit diesen Themen in einem eher grundlegenden Bereich bewege, werde ich mich in der Heranziehung von Literatur auf Schriften von Autoren beschränken, die für diese Themen als klassisch gelten.

## Über die Stellung der Theorie im Labor

Man kann der naturwissenschaftlichen Erkenntnisweise nicht gerecht werden, wenn man das *Laboratorium* einfach als „Ort des Experimentierens“ versteht; in keinem Fall ist das exklusiv zu einem „Ort der Theorie“ zu verstehen. Der Theoretiker gehört vielmehr mit in das Labor (auch wenn er dort nicht in einem physischen Sinn anwesend ist) und zwar im Interesse des Experimentators; ohne den Bezug auf Theorien könnte sich der Experimentator nur als orientierungsloser Mixer und Panscher verstehen; er könnte weder die Funktionsweise seiner Instrumente noch die Wirkungsweise seiner Manipulationen verstehen.<sup>4</sup>

Erfolgreiches, progreßorientiertes Experimentieren setzt die Verwendung von Theorien voraus. Das ist eine alte Erkenntnis, so alt wie die neuzeitliche Physik selbst. Galilei, Kepler, Pascal u. a. formulieren das Projekt der Physik als methodisch geleitetes Überprüfen (Testen) von Hypothesen.<sup>5</sup>

Die Einsicht, daß die wissenschaftliche Beobachtung nicht in einem theoretischen Vakuum stattfinden kann bzw. daß es keine theorieunabhängige reine Beobachtungssprache geben könne, ist unter dem Titel der „Theoriebeladenheit der Beobachtung“ ein Allgemeinplatz der Wissenschaftstheorie geworden und bedarf hier keiner Erörterung; ich will aber kurz auf die Anwendung dieser Einsicht für die Arbeit im Labor eingehen.

Die Unerläßlichkeit der Theorie für den Experimentator ist von P. Duhem anhand der Analyse konkreter Beispiele dargelegt worden. Hinsichtlich der Versuchsanordnung hat Duhem darauf aufmerksam gemacht, daß es beim Experimentieren immer zwei Instrumente zu unterscheiden gelte: erstens das konkrete Gerät, an dem hantiert wird und an dem Meßwerte abgelesen werden, und zweitens das idealisierte Gerät, bezogen auf das die Meßdaten interpretiert werden.<sup>6</sup> Ohne Bezug auf das schematisierte Gerät könnte der Experimentator keine Abschätzung von möglichen und faktischen Störfaktoren vornehmen und keine Angaben zur Zuverlässigkeit seiner Messungen machen. Erst in der Fehleranalyse erweist sich jedoch der wissenschaftliche Wert einer experimentellen Arbeit. Im Labor ist mithin der Theoretiker nicht nur in dem Sinn eines Interpreten physikalischer Größen präsent, sondern auch auf der Ebene konkreten Experimentierens, ausgedrückt durch die Doppelung des schematischen und des realen Instrumentes.

Diesen Punkt kann man noch verstärken, indem man das konkrete Forschungshandeln im Labor betrachtet. Der Vorteil einer Forschung im Labor gegenüber der Feldforschung liegt darin, daß nur im Labor die Randbedingungen, unter denen ein bestimmter Vorgang abläuft, kontrolliert und (in gewissen Grenzen) frei variiert werden können. Galileis Untersuchungen zum freien Fall (Galilei, 1964, 3. Tag, S. 140–163) illustrieren diesen Punkt am besten. Dabei geht es nicht um das angebliche Experiment, er habe unterschiedlich schwere Körper vom Turm in Pisa fallen lassen, um vor aller Augen zu zeigen, daß die Fallzeiten für alle Körper gleich seien. Es geht um seine Einsicht, daß das Fallgesetz auch für die Bewegung auf der schiefen Ebene gültig ist, und daß darin

die Chance für gezieltes Experimentieren liegt. Durch Verkleinerung des Neigungswinkels der schiefen Ebene läßt sich die auf den Körper wirkende Beschleunigung reduzieren und dadurch der Vorgang verlangsamen. Erst durch die Verlangsamung der Fallbewegung auf geneigten Flächen im Labor werden die Zeiten, die der Körper zum Durchlaufen bestimmter Wege benötigt, meßbar. Galileis Weg ins Labor ist inspiriert von der Theorie: von dem Gedanken, einen bestimmten Faktor (die wirksame Komponente der Schwerkraft) so manipulieren zu können, daß die korrespondierenden Größen meßbar werden. Theorien werden mithin schon gebraucht, um die Möglichkeiten für gezielte Eingriffe in Naturprozesse überhaupt erfassen zu können, und ebenso bedarf es der Theorien für deren instrumentelle Realisierung im Labor.<sup>7</sup>

Diese Sachlage dürfte auch heute noch gegeben sein, auch wenn die realen Verhältnisse für experimentelle Forschung sich seit Galileis Tagen dramatisch verändert haben. Denn es gibt zwar noch das kleine Labor, in dem im traditionellen Stil gearbeitet wird. Aber die Forschung der Gegenwart steht doch im Zeichen der sogenannten *big science*: die immens gewachsene Zahl der Wissenschaftler arbeitet überwiegend in großen Forschungsinstituten, in denen die diversen Spezialisten arbeitsteilig kooperieren.<sup>8</sup>

## Von den Formen institutionalisierter Forschung

Gegenüber dem von der Theorie geprägten Verständnis von Wissenschaft geht es jetzt um die Aufwertung und Auswertung des Handlungsaspektes an der Wissenschaft. Letzterer ist stark an die Organisation der Forschung in Instituten gebunden. Wenn im folgenden von Labor die Rede ist, dann in dem umfassenden Sinn einer sozialen Organisationsform der Forschung, die weit über das Arrangement von Geräten in einem Arbeitsraum hinausgeht. Wichtiger als die räumliche Verlagerung der Beobachtung in einen künstlichen Innenbereich ist die Tatsache, daß mit der Institution des Labors strukturelle und organisatorische Momente verbunden sind, die für die Form der modernen Naturforschung charakteristisch (wesentlich) sind. Ich werde mich für ihre Darlegung an Fleck orientieren.<sup>9</sup>

Nicht Individuen, sondern Gruppen, „Denkkollektive“, sind die Träger der Wissenschaft. Ein Denkkollektiv ist „die Gemeinschaft der Men-

schen, die im Gedankenaustausch oder in gedanklicher Wechselwirkung stehen.“ (Fleck, 1980, S. 54). Durch die Ausbildung, die Arbeitsteilung und Einordnung in ein Projekt ergeben sich verschiedene Formen von Abhängigkeit, die als prägende Faktoren auf die Ausbildung und Stabilisierung eines „Denkstils“ wirken.

Mit Denkstil bezeichnet Fleck ein Gebilde, das sehr allgemeine Konzepte zum Arbeitsvorhaben (sogenannte Präideen), aber auch spezifische Theorien und Arbeitshypothesen, experimentelle Praktiken, Meßverfahren und Formen der Beobachtung integriert. Im Denkstil bekommt man die für eine Disziplin typische Arbeitsweise (wie man etwas zu machen hat, das als wissenschaftlich gelten will) zu fassen und der Umstand, daß sich Denkstile unter historischen und sozialen Bedingungen entwickeln, verlangt das „Denkkollektiv“ als Träger und Subjekt der Wissenschaft, einer Wissenschaft, die in Forschungsinstituten praktiziert wird. Der Organisationsform der Forschung – so empirisch sie auch ist – kommt ein epistemischer Rang zu; denn man muß sie in einem Nachfolge-Verhältnis zu den Strukturen sehen, die Kant als Bedingungen möglicher Erfahrung expliziert und dem „transzendentalen Subjekt“ zugesprochen hatte.

Der Blick ins Labor erweist die wissenschaftliche Erkenntnis als ein soziales Gebilde. „Wir sehen eine organisierte Kollektivarbeit mit Arbeitsteilung, Mitarbeit, Vorbereitungsarbeit, technischer Hilfe, gegenseitigem Ideenaustausch, Polemik, etc. Viele Publikationen tragen die Namen mehrerer, gemeinsam arbeitender Verfasser, außer ihnen steht in naturwissenschaftlichen Arbeiten fast immer die Anstalt und deren Leiter zitiert. Es gibt wissenschaftliche Hierarchie, Gruppen, Anhänger und Widersacher, Gesellschaften und Kongresse, periodische Journale, Austauschrichtungen etc. Ein wohlorganisiertes Kollektiv ist Träger des Wissens, das die Kapazität eines Individuums weit übersteigt.“ (Fleck, 1980, S. 58).

Flecks Lehre vom Denkstil, dem die Forscher in ihren Arbeiten folgen, und dem Denkkollektiv als Träger des Denkstils ist als eine vergleichende empirische Erkenntnistheorie angelegt. Er selbst hat als Serologe in medizinischen Forschungsreinrichtungen gearbeitet und seine Wissenschaftstheorie anhand medizinischer Fallstudien erprobt. In der Monographie von 1935 werden die Entdeckung der *spirochaeta pallida* als Erreger der Syphiliserkrankung und die Entwicklung der sogenannten Wassermann-Reaktion als Beispiele analysiert. Beide Entdeckungen sind

aus typischer Kollektivarbeit hervorgegangen, die die Infrastruktur eines Laboratoriums voraussetzt. Die auf eine Arbeitsgruppe motivierend und orientierend einwirkenden Vorstellungen faßt Fleck unter dem Titel der „sozialen Stimmung“ zusammen. In der sozialen Stimmung entwickelt sich die Einstellung, mit der im Labor gearbeitet wird, die Erfolgserwartung steigert die Bereitschaft zu selbstloser Kooperation, wie Fleck zur Entwicklung der Wassermann-Reaktion feststellt: „Erst die soziale Stimmung schuf das engere Denkkollektiv, das unter dauernder Mitarbeit und Wechselbeziehung der Mitglieder die kollektive Erfahrung gab und die gemeinschaftliche anonyme Ausarbeitung der Reaktion.“ (Fleck, 1980, S. 104).

Der Rückgriff auf allgemeine Theorien und empirische Hypothesen reicht nicht hin, um bestimmte Entwicklungen und Entdeckungen rational nachvollziehen zu können. Das ist die Schwäche einer Rekonstruktion der Wissenschaftsentwicklung unter dem Primat der Theorie. Die in einem Laboratorium üblichen Sitten und Gebräuche, denen man beim Arbeiten folgt, die aber auch gelegentlich geringfügig variiert werden, üben oft einen größeren Einfluß auf den Gang der Erkenntnis aus als die rational greifbaren Hypothesen, wie Fleck in seiner Studie zur Wassermann-Reaktion zeigen kann. „Was bei Annahme ausschließlich individueller Arbeit nur durch Zufall oder Wunder erklärlich wird, wird bei Voraussetzung kollektiver Arbeit leicht verständlich ... So ist ohne weiteres aus Laboratoriumssitten erklärlich, daß zur Extraktbereitung neben Wasser auch Alkohol und später Aceton probiert wurden und neben luetischen Organen auch gesunde. Viele führten diese Versuche fast gleichzeitig aus, doch die eigentliche Autorschaft gebührt dem Kollektiv, dem Brauche der Gemeinschaft.“ (Fleck, 1980, S. 104).

Fleck spricht eine sehr konkrete Dimension der Arbeit an, wenn er von Laboratoriumssitten und dem Brauche der Gemeinschaft spricht: er spricht davon, unter welchen Bedingungen (Stimmungen, Kontrollen, Arbeitsformen etc.) die Wissenschaftler im Labor ein bestimmtes Ziel verfolgen. Daß sie dabei den Sitten und Gebräuchen der Gruppe, in der sie arbeiten, folgen, ist durchaus wörtlich zu verstehen; Kuhns „normale Wissenschaft“, könnte man sagen, vollzieht sich als Teilnahme am Leben im Laboratorium.<sup>10</sup>

Die Verbindlichkeit eines Denkens ist nach Fleck im Kollektiv verankert und wirkt auf seine Mitglieder als „Denkzwang“. Gerade die epistemische Hochschätzung der Tatsachenfeststellung ergibt sich aus

dem „Denkzwang“. Das Diffuse des anfänglichen dem Gegenstand zugeschriebenen „Widerstandsavisos“ steigert sich im Fortgang der Forschung zum „Denkzwang“, der im Kollektiv verankert ist. Wie sollen wir uns die Ausbildung und Wirkungsweise dieses Denkzwanges vorstellen? Folgendes Entwicklungsschema vertritt Fleck: Am Anfang läßt eine Forschungsaktivität noch viel Raum für Varianten des Denkens und Beobachtens. Aber je weiter die Erkenntnis fortschreitet, wird der Spielraum an Alternativen mit jeder weiteren Festlegung immer enger. Die Meinungsdivergenzen nehmen ab. Der Denkzwang wird stärker. Dieser Zwang wirkt nicht unmittelbar als soziale Tatsache auf die Individuen, sondern er greift über den Gegenstand. Der Tatsachenbegriff selbst kommt unter die Botmäßigkeit des Kollektivs in dem Sinne, daß als Tatsache dasjenige erscheint, was nicht anders gedacht werden kann. Angefangen von der „sozialen Stimmung“, die den Motivationshintergrund definiert und den Erfolgswang erzeugt, über die „Präideen“ verdichtet und verengt sich das Netz der Zwänge; die Knotenpunkte mehren sich, an dessen Ende sozusagen die Tatsache auftaucht, das Fixe und Starre, in dem die Freiheit der Hypothesenbildung verschwunden ist. (Fleck, 1980, S. 105).

Tatsache ist das, wozu wir keine Alternative haben, was wir nur anerkennen können. Treten zunächst das Individuum, das Kollektiv und der Gegenstand als drei unabhängige Glieder des Erkenntnisverhältnisses auf, so erweist sich nun die Erkenntnisbestimmung als unreduzierbar auf eines ihrer Glieder, wenn auch beherrscht vom Vorrang des Denkstils, d. h. des sozialen Zwanges. Das gerade macht den Grundzug der Erfahrung aus, bis hin zur gegenständlichen Evidenz. „Die allgemeine Richtung der Erkenntnisarbeit ist also: *größter Denkzwang bei kleinsten Denkwillkürlichkeit*. So entsteht die Tatsache: zuerst ein Widerstandsavisos im chaotischen anfänglichen Denken, dann ein bestimmter Denkzwang, schließlich eine unmittelbar wahrzunehmende Gestalt. Und sie ist immer ein Ereignis denkgeschichtlicher Zusammenhänge, immer ein Ergebnis bestimmten Denkstiles.“ (Fleck, 1980, S. 124).

Das Wirkliche des Naturwissenschaftlers ist nichts, das sich unabhängig vom Erkenntnisvorgang charakterisieren ließe. Was der Physiker als „wirklich“ anspricht, muß ja aus einer Vielzahl von Beziehungen herausgelöst und nach professionellen Gesichtspunkten konsistent bestimmt werden. Der Begriff der Schwere darf nichts von den uns so gängigen Bedeutungen behalten: daß wir schwer an einem Unglück tragen, hat

gemäß dem physikalischen Denkstil nicht die geringste Analogie mit dem Tragen einer Last durch einen Kran. „Wenn der Physiker eine Waage verwendet, dann bedeutet das, daß das Kollektiv der Physiker mit dem Verlauf der Geschichte aus der Gemeinschaft der Phänomene, Eindrücke, Begriffe und früheren Anschauungen gewisse Elemente isoliert und zu einer konsequenten Ganzheit ausgebaut hat, wobei es den Rest verwarf.“ (Fleck, 1983, S. 164).

Woher kann man wissen, was wichtig ist und was vernachlässigbar oder zu eliminieren? Woher weiß man, welches Prinzip der Selektion und Konstruktion anzuwenden ist, so daß aus dem diffusen und überaus reichhaltigen Erfahrungsmaterial, das uns in alltäglichen Lebensvollzügen begegnet, die präzisen und eindeutigen „Gegebenheiten“ einer physikalischen Realität hervortreten? Auch dies ist nur möglich „auf der Grundlage eines bestimmten Denkstiles und auf der Grundlage eines ganzen Vorrates an Wissen, das im gegebenen Moment zur Disposition steht“. (Fleck, 1983, S. 165). Der Primat des Kollektivs zeigt sich an Leistungen, die prinzipiell die Leistungen von Individuen übersteigen, nicht weil das Kollektiv „klüger“ wäre, denn das Kollektiv ist kein Super-Intellekt vom Typus individueller Subjekte, sondern weil erst der Zusammenschluß von Individuen unter einem Denkstil durch seine besonderen Kommunikationsformen die Erkenntnisse produzieren kann.

An jeder einzelnen Beobachtung ist ein hoher Anteil des im Kollektiv präsenten Wissens und Könnens beteiligt. Flecks analytische Ausführungen zum Meßvorgang erhalten ihre Pointe durch ihre Beziehung auf den „Denkstil“, d. h. auf die allein im Kollektiv zu vollziehende Erkenntnisweise. Fleck faßt zusammen: „Was also haben wir gefunden? Eine komplizierte Konstruktion, eine ganze Theorie, die den Zusammenhang zwischen einer Reihe von Zahlen, der Gemeinschaft der teilweise sicher von uns unabhängigen Bedingungen, dem Stand unseres Wissens zum gegebenen Moment und einem gewissen, durch uns isolierten Element ausdrückt. Aus dieser Konstruktion kann man auf nichts von uns Unabhängiges schließen. Die Objektivität wissenschaftlicher Beobachtung beruht einzig auf ihren Bindungen mit dem ganzen Vorrat an Wissen, Erfahrung und traditionellen Gewohnheiten des wissenschaftlichen Denkkollektivs: Das Ergebnis ist von den vorübergehenden Stimmungen des Individuums ... unabhängig, aber anstelle von durch den Stil des alltäglichen Denkens bedingten Gestalten, schafft die Wissenschaft im besten Fall Konstruktionen, die durch den abgesonderten Stil des wis-

senschaftlichen Denkens bedingt sind ... Sobald sie ihre Konstruktionen entwickelt und vertieft, indem sie Übergeordnetes herstellt, das immer allgemeiner ist, vergrößert sie damit gleichzeitig die Abhängigkeit vom Denkstil des wissenschaftlichen Kollektivs.“ (Fleck, 1980, S. 166f.).

An dieser Stelle spricht Fleck die Sprache eines radikalen Konstruktivisten. Aber es wäre falsch, weil einseitig, Fleck ins Lager der Antirealisten zu rechnen. Das würde eine ganze Reihe fundamentaler Unterscheidungen seiner Rekonstruktion zunichte machen. So die Unterscheidung der aktiven und passiven Wissensanteile. (Fleck, 1980, S. 109f.). Mit den aktiven Wissensanteilen sind Definitionen und andere Formen von Festsetzung (Konventionen) gemeint, über die das Kollektiv frei verfügen kann. Mit den passiven sind die sich zwangsläufig ergebenden Beziehungen gemeint, die als Tatsachenfeststellungen zu akzeptieren sind. Wissenschaftliche Tatsachen (passive Wissenskoppelungen) lassen sich nach Fleck gerade nicht (wie es die radikalen Konstruktivisten vertreten) auf Leistungen des Kollektivs reduzieren. (Fleck, 1980, S. 110). Für den radikalen Konstruktivisten würde ebenso die Unterscheidung von Mythos und Wissenschaft hinfällig, an der Fleck nicht nur festhält, sondern die er zur Formulierung der normativen These an die Wissenschaft einsetzt, daß sie „ein Maximum jener passiven Elemente in ihr System aufzunehmen“ suche. (Fleck, 1980, S. 125). Zwar sind die aktiven und die passiven Wissensanteile nicht zu separieren – und damit wird jede positivistische Rede über Fakten von Fleck verworfen. Aber seine ganze Intention geht dahin, die wissenschaftliche Erkenntnis als genuine Erfahrung zu rekonstruieren. Die Rede vom im Kollektiv verankerten Denkwang soll keine Willkür der Konstruktion gegenüber dem Gegenstand ausdrücken; im Gegenteil: alle kognitiven Schritte werden orientiert an dem Ziel, den Anteil der passiven Koppelungen zu steigern. „Ich halte das Postulat vom Maximum der Erfahrung für das oberste Gesetz wissenschaftlichen Denkens.“ (Fleck, 1980, S. 70).

## Naturobjekte und die Phänomene der Wissenschaft

Unsere gängigen Vorstellungen von Natur und den Dingen der Natur sind geprägt von den Erfahrungen, die wir gleichsam im Freien machen. Wir müssen unseren Wohnraum verlassen und uns den Eindrücken überlassen, die in Wald und Feld auf uns einwirken, im Gebirge, an einem

Fluß, an der See, unterm Sternenhimmel ... Diese Art von Erfahrung kennen wir alle, auch wenn es zunehmend schwerer wird, die sprichwörtliche unberührte Natur überhaupt noch irgendwo anzutreffen. Wir setzen der so vorgestellten Natur üblicherweise die von uns gemachten Dinge und Einrichtungen gegenüber, die Produkte der Technik und die Kulturerzeugnisse, kurz: der Gesamtheit der Naturdinge die Welt der Artefakte.

Aber man kann nicht bei dieser Entgegensetzung bleiben, wenn man den Gegenstand naturwissenschaftlicher Forschung kennzeichnen will. Zwar ist die experimentelle Forschung gern als Bestätigung eines robusten Realismus, als die der Naturwissenschaft angemessene ontologische Einstellung, angeführt worden. Aber ebenso ist mit dem Einsatz immer raffinierterer Versuchsanordnungen und mit dem Vordringen der Meßverfahren in Bereiche weit unterhalb der normalen Wahrnehmungszonen auch Skepsis am Realitätsgehalt der sogenannten theoretischen Entitäten inspiriert worden. Atome, Elektronen, Neutrinos, Quarks, Bosonen – wie sie sukzessive in die Wissenschaft eingeführt wurden – hatten zunächst einmal das Odium des Fiktionalen an sich. Es seien allenfalls Rechengrößen, deren Einführung die Formulierung der Theorie vereinfache, aber man dürfe sie nicht mit wirklichen Objekten verwechseln.

Unter wirklichen Objekten versteht man dabei offenbar etwas, das sich unmittelbar als real erweist, so wie die Wand, die nicht weicht, wenn wir versuchen, mit unserem Kopf durch sie hindurchzugehen. Aber unter diesem Typus von Ding läßt sich kein Gegenstand der Naturwissenschaft einordnen. Ohne theoretische Vorannahmen und ohne in Naturvorgänge einzugreifen (Hackings Interventionen) bekämen wir nach naturwissenschaftlicher Methode auch nichts von den Objekten zu wissen. Die unmittelbare Erkenntnis wirklicher Gegenstände ist ein Hirngespinnst, aber keine Beglaubigung des Realen. Eine Beschränkung aufs unmittelbar Gegebene käme einem Verzicht auf Erkenntnis gleich, wie schon die Erkenntnistheoretiker des 19. Jahrhunderts gezeigt hatten und die Wissenschaftstheoretiker des 20. Jahrhunderts bekräftigten.<sup>11</sup>

Allerdings ist unbestreitbar, daß man sich mit der Entwicklung von Beobachtungsmitteln, die uns nur indirekte Nachweise von Mikro-Entitäten liefern, von den aus alltäglicher Erfahrung vertrauten Vorstellungen – sowohl des Wahrnehmens als der Dingeigenschaften – entfernt hat. Läßt sich das Registrieren von Neutrinos in einem hochkomplizierten Detektor überhaupt noch als Fall von Beobachtung auffassen?<sup>12</sup> Läßt

sich gegenüber diesen Verfahren noch an der Rede vom Erkennen als dem „Ergreifen des Wirklichen“ festhalten?<sup>13</sup>

Dagegen ist daran zu erinnern, daß die Operationalisten und Konstruktivisten mit Recht die Verbindung von neuzeitlichem Erforschen der Natur und der Entwicklung des Apparatebaus in den Werkstätten der Mechaniker hervorgehoben haben; ohne die Kunstfertigkeit der Mechaniker wären die Messungen der Physiker nicht möglich gewesen. Je weiter sich die Vorstellungswelt des Physikers vom Gewohnten entfernt, d. h. in dem Maße, in dem sich die Eigenständigkeit des spezifisch physikalischen Denkstils herausbildet, wird die wechselseitige Abhängigkeit von technischem Können und theoretischem Wissen immer offensichtlicher. Der Weg von den florentinischen Werkstätten in Galileis Zeiten zu den Linearbeschleunigern und Synchrotronen in Stanford, Genf, Hamburg zeigt nicht nur eine Perfektionierung und Steigerung des technisch-praktischen Anteils, sondern immer deutlicher die innere Struktur der physikalischen Erkenntnisweise als diese unlösbare Verschränkung von technischem Können und theoretischem Wissen. In eins damit tritt das Konstruktive, ja die „Künstlichkeit“ des physikalisch „wirklich“ Genannten hervor durch die apparative Erzeugung dessen, was gemessen werden soll – und nicht zu vergessen die Organisationsform in Großinstituten, ohne die z. B. Arbeiten zur Hochenergiephysik undenkbar sind.<sup>14</sup>

Die Technizität des Wissens und die Konstruktion der Tatsachen sind zwei Seiten derselben Medaille und sie sind untrennbar voneinander. Die vermeintlich aufs Artifizielle gerichtete Laborforschung läßt sich nicht gegenüber einer vermeintlich auf die wahre Natur gehenden Forschung degradieren. Eine Herangehensweise, die aufs Präparieren des Gegenstandes verzichtet und allein beim Objekt, wie es von Natur aus ist, verweilen will, kann über das bloße Beschreiben des sich Zeigenden nicht hinausgelangen. Damit ist nicht behauptet, daß die sogenannte Feldforschung in den Naturwissenschaften keine Berechtigung mehr hätte. In fast allen ihren Gebieten (Astronomie, Geologie, Psychologie, Ethnologie, Ethologie etc.) hat die möglichst ungestörte Beobachtung des Gegenstandes noch immer eine unverzichtbare Funktion, die ihr auch bleiben wird. – Aber man wird diese Einstellung der Schau (die „Theoria“ im antiken Verständnis), in der man die Dinge sein läßt, wie sie von sich her sind, nicht mehr als Ideal und Vollendung der Erkenntnis akzeptieren können, wenn man die Dinge und ihre Wirkungsweisen nicht nur *beschreiben*, sondern *verstehen* und *erklären* will. Bereits die

Beantwortung von Warum-Fragen, nicht erst das Interesse an technologischer Anwendung, treibt über die Sphäre des Betrachtens hinaus und muß Strukturen einbeziehen, die als solche nicht sichtbar sind. Wer Erklärungen der Ereignisse sucht, muß mit Unterscheidungen (Ursache und Wirkung, Randbedingung und allgemeines Gesetz, Elemente und Verbindungen, Regel und Abweichung, etc.) arbeiten und sieht sich auf den Weg der Intervention verwiesen. Erst durch gezielte Eingriffe und ihre Variationen lassen sich die Wirkungszusammenhänge und -mechanismen erfassen. Die moderne Laborforschung ist mithin als die legitime Erbin der mit Galileis Versuchen an der schiefen Ebene begonnenen Form der Naturforschung anzuerkennen und kein Irrweg in die Welt der Artefakte und Naturzerstörung.

Am besten läßt sich die Verschränkung von instrumenteller Aufbereitung der Bedingungen des Erscheinens von Natur und dem entsprechenden Wirklichkeitskonzept verdeutlichen, wenn wir ein Beispiel moderner Forschung betrachten. – Die auch in den Medien seinerzeit präsentierte Entdeckung der  $W^+$ ,  $W^-$  und  $Z^0$  Bosonen am Europäischen Kernforschungszentrum (CERN) in Genf ist ein gutes Beispiel, um beides – die denkstilgeprägte Kollektivarbeit und die technisierte Objektdarstellung – zu illustrieren.<sup>15</sup>

Im Jahr 1984 erhielten Carlo Rubbia und Simon van der Meer für diese Arbeiten den Nobelpreis für Physik. Während Rubbia, der Leiter des Genfer Experimentes, als Theoretiker gilt, wird van der Meer als Techniker, Tüftler, Ingenieur charakterisiert. Ohne den von ihm entwickelten Antiprotonen-Akkumulator hätte das Experiment nicht durchgeführt werden können. Die Vergabe des Nobelpreises an dieses „Gespann“ wurde als Ausdruck der strukturellen Angewiesenheit von Theorie und Technik in der heutigen Physik gewürdigt. „Rubbias Nobelpreis war vorauszusehen. Van der Meers ebenso verdiente Auszeichnung aber ist eine lobenswerte Überraschung des Nobelpreiskomitees. Mit ihm werden auch all die anderen Tüftler im Schatten der Stars geehrt.“<sup>16</sup>

Mit dem Nachweis der  $W^+$ ,  $W^-$  und  $Z^0$  Bosonen sind theoretische Erkenntnisse größten Ausmaßes verbunden: die Zahl der unabhängigen Grundkräfte wurde damit auf drei reduziert. Bis dahin hatten die Physiker mit vier unabhängigen Grundkräften gerechnet. Die elektromagnetische Kraft und die Gravitation waren für Wechselwirkungen im Großen zuständig; außerdem arbeiteten die Physiker mit zwei Kern-Kräften, die nur über extrem kleine Distanzen wirken. Dabei ist die schwache Kern-

kraft für den radioaktiven Zerfall und die Energieerzeugung im Inneren der Sterne verantwortlich, während die starke Kernkraft die Bindung der Quarks und damit die Konstitution der Atomkerne regelt. – Die Theoretiker, die 1979 den Nobelpreis für das Vereinheitlichungskonzept der „elektroschwachen Wechselwirkung“ erhalten hatten, hatten prognostiziert, daß die Träger der schwachen Kraft Teilchen von großer Masse (etwa einhundertmal so schwer wie ein Proton) sein müßten, deren Zerfalleigenschaften (sie zerfallen schon innerhalb von  $10^{-24}$  sec!) sich ebenfalls berechnen ließen. Der Nachweis dieser Teilchen liefert die experimentelle Bestätigung dafür, daß wir berechtigt sind, die elektromagnetische und die schwache Kraft als Erscheinungsformen ein und derselben Kraft anzusehen.

So weit haben wir uns einer alltäglichen Sprache bedient, um den Nachweis zu beschreiben, auch wenn die Entitäten selbst von höchster Spezialität sind. Wir tun so, als könnten wir Bosonen beobachten wie einen Bison. Von einer solchen Situation jedoch sind wir unendlich weit entfernt. Man bedenke: Bosonen kommen nicht unter Normalbedingungen vor, sondern werden erzeugt (für maximal  $10^{-24}$  sec.), wenn ein hochenergetisches Proton mit einem ebensolchen Antiproton kollidiert. Die Protonen und Antiprotonen haben einen Durchmesser von  $10^{-14}$  mm. Man muß also den Protonen- resp. Antiprotonenstrahl extrem intensivieren und kondensieren, um eine praktikable Wahrscheinlichkeit von Kollisionen zu erhalten.

Die Erzeugung des Antiprotonenstrahls barg gewaltige Probleme. Antiprotonen werden erzeugt, indem ein Protonenstrahl von 26 GeV auf ein Stück Wolfram gelenkt wird. Unter den vielen Teilchen, die dabei entstehen, gewinnt man für je zwei Millionen Protonen ein einziges Antiproton mit dem optimalen Impuls von 3.5 GeV. Die erzeugten Antiprotonen müssen separiert und in einem eigenen Ring „gespeichert“ werden (van der Meers Antiprotonen-Akkumulator), bis ein Antiprotonenstrahl von mindestens  $10^{10}$  Teilchen angereichert ist. Um Antiprotonen von gleicher Energie zu bekommen, sie in einen dichten „Schwarm“ zu bringen („stochastische Kühlung“) und den Strahl extrem zu komprimieren, wird fast ein Tag benötigt, obwohl alle paar Minuten Millionen von Antiprotonen erzeugt werden. Sowohl Protonen- wie Antiprotonenstrahl werden in verschiedenen Ringen auf höhere Energien beschleunigt, zuletzt gegenläufig im Super-Protonen-Synchrotron auf 270 GeV, so daß bei Frontalkollisionen die Teilchen mit 540 GeV aufeinanderprallen.

Die Theoretiker hatten berechnet, daß in dem kollidierenden Protonen-Antiprotonen-Strahl jede Sekunde 1000 Interaktionen stattfinden würden; jedoch wurde erwartet, daß ein nachweisbares  $W$  Boson nur alle 100 Millionen Kollisionen erzeugt werden würde, und das  $Z^0$  Boson noch einmal um eine Zehnerpotenz seltener!

Wie können aus den Unmassen von Kollisionen die so seltenen, bei denen die gesuchten Bosonen entstehen, isoliert werden? Gigantische Detektoren, von mehr als 1000 Tonnen Gewicht, wurden entwickelt, deren Wirkungsweise hier nicht dargestellt werden kann. Nur das Prinzip ist wichtig: in den Detektoren müssen Orte bzw. Impulse der Teilchen, die bei den Kollisionen entstehen, registriert werden, so daß deren Bahnen über Rechner rekonstruiert werden können. – Über drei Monate liefen die UA1 und UA2 Experimente. 180 Physiker waren beteiligt. 110 000 Ereignisse konnten pro Tag aufgezeichnet und analysiert werden. Am Ende des „Experiments“ hatte man eine Handvoll Ereignisse, die konsistent mit den Voraussagen des Bosonen-Zerfalls waren. Diese Handvoll stand den 1000 Millionen Kollisionen gegenüber, von denen mehrere Millionen auf Tausenden von Magnetbändern aufgezeichnet worden waren. Ohne die mächtigen Computer von CERN, die diese Daten-Mengen zu analysieren hatten, wäre die Entdeckung unmöglich gewesen. Über Weihnachten 1982 hinweg liefen die hektischen Analysen der Ergebnisse. Vom 12.–14. Januar 1983 gab es an der Universität Rom eine Konferenz über Protonen-Antiprotonen-Kollisions-Physik, wo die Ergebnisse von UA1 und UA2 verglichen werden konnten. Dort wurde über die Experimente berichtet, ohne daß die Entdeckung der Bosonen offiziell bekanntgegeben wurde. Am 22. und 23. Januar 1983 wurden die Ergebnisse im Auditorium von CERN vorgestellt und diskutiert. Am 25. Januar 1983 wurde eine Pressekonferenz einberufen, auf der Rubbia offiziell die Entdeckung der  $W^+$  und  $W^-$  Bosonen bekannt gab.

Die Entdeckung des  $Z^0$  Bosons ist noch heikler verlaufen. Von Anfang Mai 1983, als man die ersten Kandidaten für einen  $Z^0$  Zerfall fand, bis zum 1. Juni 1983, an dem die Entdeckung des  $Z^0$  Bosons öffentlich bekanntgegeben wurde, hat es eine Unmenge von Sitzungen gegeben, in denen die Daten und Analysen daraufhin diskutiert wurden, ob sie als Nachweis des  $Z^0$  Bosons vertreten werden können. Watkins schließt seinen Bericht, an dem ich mich orientiert habe: „Der Nobelpreis 1984 für Physik wurde gemeinsam an C. Rubbia und S. van der Meer vergeben für ihre entscheidenden Beiträge zu dem großen Projekt, das zur

Entdeckung der Feldpartikel W und Z führte, Überträger der schwachen Wechselwirkung'. Der Erfolg dieses Wagnisses hing ebenso ab von einer großen Menge von Individuen und von der exzellenten Organisation, die die verfügbaren Hilfsmittel in einer so kurzen Zeit nutzbar machte. Es gab eine Reihe entscheidender individueller Beiträge, aber die schnellen Entdeckungen hätten nicht erreicht werden können ohne den entscheidenden Einsatz der vielen Mitarbeiter, ihrer Hilfskräfte und der CERN-Ingenieure und Physiker. Diese Entdeckungen waren der Ertrag dieser überragenden Gruppen-Anstrengung.“

Diese Passage ist ganz in der Begrifflichkeit von Fleck formuliert. In ihr, so scheint mir, sind alle Elemente der physikalischen Erkenntnis zusammenfassend aufgeführt, und sie bestätigen die Rekonstruktion, die Fleck vom Erkenntnisakt gab, in allen Hinsichten. Wir haben das komplizierte Wechselspiel von individuellen Einfällen, denkstilabhängigen Bindungen und der Realität. Wir sehen zudem die „konstruktive“, von den aktiven Bindungen des Denkstils herkommenden Schritte, die sich in der Hypothesenbildung und in den Theorieannahmen, wozu auch die Existenz bestimmter Entitäten gehört, manifestieren. Wir sehen die Abhängigkeit von hochkomplizierter Technologie, sowohl im Experiment wie in der Datenanalyse. Was wir „beobachten“, sind Computergraphiken, nicht die wirklichen Vorgänge. Was schließlich als real entdeckt wird, ist nicht schlichte Feststellung eines Gegebenen, Aufdecken eines Vorhandenen, sondern etwas, das in kollektivem, denkstilgebundenem Urteil als existent angenommen wird, um den experimentellen Resultaten eine konsistente Interpretation zu geben. Dieses so anerkannte Reale existiert, so daß es als ein solches nachweisbar ist,  $10^{-24}$  Sekunden! Sicher können wir nicht unseren gewöhnlichen Begriff von Substanz bzw. Existieren, der das Moment der Dauer in Raum und Zeit einschließt, auf diese Entität anwenden, sondern nur den dem physikalischen Denkstil eigenen, der sich an der Unvorstellbarkeit seiner Raum- und Zeitverhältnisse und an der Künstlichkeit des Aufzeigens des Realen in ihnen nicht stößt.

Es gibt keine Erkenntnis der Wirklichkeit, die unbedingt wäre, auch nicht in der exaktesten Naturwissenschaft, der Physik. Die Erkenntnis der Wirklichkeit steht vielmehr unter Bedingungen, die historisch variabel und kontingent sind. Von Kants starkem Anspruch, die Bedingungen möglicher Erfahrung überhaupt ausweisen und einem invarianten transzendentalen Subjekt zusprechen zu können, sind wir zu einem abgeschwächteren Projekt übergegangen, das empirische Verhältnisse

einbezieht und die Bedingungen des Erscheinens von Natur relativiert. Sie werden durch die realen Laborbedingungen definiert. Sie sind als Bindungen des jeweiligen Denkstils, dessen Träger das Denkkollektiv ist, aufzufassen. Diese können sich wandeln. Sie haben sich, wo immer es um grundlegenden Theorienwandel ging, gewandelt, und sie werden sich auch in Zukunft wandeln. Das macht sie nicht weniger objektiv. Eine von solchen Bedingungen frei konzipierte Erkenntnis der Wirklichkeit ist eine Fabel ohne Realitätsgehalt. Sie wird erzählt in falscher Parallelisierung von wissenschaftlicher und alltäglicher Erfahrungsweise. – Was sich in wissenschaftlicher Erkenntnis als real darstellt, steht unter Bedingungen, die in einen Denkstil eingebunden sind. Als Faktum kann nur akzeptiert werden, was in Konformität mit dem jeweiligen Denkstil steht. Diese Konformität ist gemeint mit der Formel: Denkkollektive erzeugen die physikalische Wirklichkeit. Das ist eine Variante von Kants kopernikanischer Formel, daß die Vernunft nur das einsehen kann, was sie nach eigenem Entwurf hervorbringt. Im Labor wird diese Formel, die Kant als Metapher geprägt hat, in den Kontext realer Handlungen zurückversetzt, dem sie entstammt. Im Labor erhalten die Bedingungen des Erscheinens von Natur durch die Instrumente und die kollektive Forschungsarbeit eine konkrete Ausprägung. Das Fundament der Wissenschaft, wenn diese Rede überhaupt statthaft ist, sind nicht die harten Fakten, sondern die in Laboratorien praktizierten Denkstile. Erst im stabilen Denkstil gibt es reproduzierbare Effekte, gibt es die harten Tatsachen, wie es das Wort *factum* meint, um deren angemessene Darstellung es in der Wissenschaft geht.

### *Anmerkungen*

- 1 Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft (1786), Kants Werke (Pr. Akad. Ausg.) Bd. IV, S. 466–565.
- 2 Durch die Fixierung auf die mathematisierte Theoriegestalt kommt Kant zu der Einschätzung, daß die Chemie keinen Anspruch auf den Titel einer Wissenschaft erheben könne, sondern allenfalls als eine systematische Probiertkunst einzustufen sei. Mit dieser Einschätzung wollte Kant notabene keinen Zustand einer noch in den Anfängen steckenden Chemie beschreiben, sondern meinte der Chemie attestieren zu müssen, daß sie der Anwendung der Mathematik unfähig sei, d. h. nicht wissenschaftsfähig. (M. A. d. N., Vorrede, Kants Werke, Bd. IV, S. 471).
- 3 Duhem führt für die lange Geltung dieser Einstellung Claude Bernard an,

- der in seiner *Introduction à la Médecine expérimentale* von 1865 noch so argumentierte. (Duhem, 1908, S.238–243).
- 4 Selbst die frühen Alchimisten, die man gern als reine Praktiker des Experiments portraitiert, hatten theoretische Vorstellungen im Hintergrund, nach denen sie ihre Versuche ausrichteten – darunter auch solche aus der magischen Tradition.
  - 5 Seit dem 17. Jahrhundert hat es auch verschiedentlich Positionen gegeben, die dem Experiment einen fast kultisch-magischen Status zubilligten. Einer ihrer emphatischen Vertreter war Francis Bacon, der im Einsatz von Meßinstrumenten das probate Mittel sah, die den menschlichen Sinnen anhaftende Täuschungs- und Irrtumsanfälligkeit überhaupt aus dem Erkenntnisprozeß herauszuhalten. (Vgl. Schäfer, 1974, S. 29–37). – Eine Eigenständigkeit des Experimentierens gegenüber dem Theoretisieren betont neuerdings Ian Hacking – mit ausdrücklicher Anknüpfung an Bacon. (Hacking, 1983).
  - 6 In dem Abschnitt mit der Überschrift *Nur die theoretische Interpretation der Erscheinungen ermöglicht den Gebrauch der Instrumente* heißt es: „Wenn daher ein Physiker einen Versuch ausführt, ist sein Geist gleichzeitig mit zwei wohlunterschiedenen Vorstellungen des Instrumentes, an dem er arbeitet, beschäftigt. Die eine ist das Bild des konkreten Instrumentes, das er in Wirklichkeit handhabt, die andere ist ein schematischer Typus desselben Instrumentes, der mit Hilfe der Symbole, die diese Theorie liefert, konstruiert wird.“ (Duhem, 1908, S. 204 f.)
  - 7 Das hier betonte Primat der Theorie gegenüber der Arbeit im Labor ist durchaus verträglich mit der (u. a. von Heidegger vertretenen) These, daß die Theorie ihrerseits immer schon im Dienste der Idee technischer Machbarkeit steht und daß die moderne Naturwissenschaft als solche zur Technikerzeugung tendiert. Die These kann sich auf die Rekonstruktion der in der Methode dominanten „technischen“ Seite des Prognostizierens und Erklärens von Ereignissen berufen, wie sich denn später die Rede von „instrumenteller Vernunft“ als Kennzeichen der neuzeitlichen Naturwissenschaft überhaupt durchgesetzt hat. – Von dieser internen Verfassung der neuzeitlichen Naturwissenschaft her gesehen, kann man sagen, daß ihr Gegenstand, die Natur, als Gegenstand der Erkenntnis von sich aus ins Labor drängt; denn nur dort sind die Bedingungen gegeben, unter denen sie objektiv erscheinen kann, d. h. sich in ihren Wirkmöglichkeiten zeigen kann. – Das bringt Ian Hacking zum Ausdruck, wenn er vom Experimentieren als dem Erzeugen stabiler Phänomene spricht. Als „Phänomene“ werden nicht die Dinge, wie sie sich von sich her zeigen, angesprochen, (wie es die griechische Wortbedeutung meint und worauf sich die „Phänomenologie“ Husserls berufen hatte), sondern wie sie sich in reproduzierbaren Effekten darstellen lassen. „Phänomene sind in der nicht vom Menschen berührten Natur in der Tat äußerst rar.“ (Hacking, 1981, S. 142).
  - 8 Vgl. Derek J. de Solla Price, *Little Science, Big Science: Von der Studierstube zur Großforschung*, Frankfurt am Main 1974. – Aber schon F. Bacon hatte die Einrichtung großer Laboratorien konzipiert, um durch den Einsatz von Apparaturen und Instrumenten den Fortschritt zu beschleunigen. Die wissenschaftliche Methode mutiert bei Bacon zu einem maschinell-

mechanischen Verfahren: das frei forschende Individuum wird aus dem Erkenntnisprozeß zurückgezogen und durch gesteuerte Teamarbeit ersetzt. „Der Geist darf von Anfang an nicht sich selbst überlassen bleiben, sondern muß ständig gelenkt werden. So muß das Werk gleichsam wie durch eine Maschine vorangetrieben werden ... Denn es ist sonnenklar, daß bei jedem großen Werk, das von Menschenhand erschaffen wird, ohne Werkzeuge und Maschinen weder die Kraft des einzelnen recht angesetzt, noch die Kräfte aller zweckmäßig vereinigt werden können.“ (Nov. Org., Vorrede, S. 36f.).

- 9 Es ist nicht überraschend, daß die Entstehung der soziologischen Betrachtung von Wissenschaft (L. Fleck) zusammenfällt mit der Analyse der im Labor institutionalisierten Forschungsarbeit, wie es auch im Titel der einflußreichen Studie von B. Latour und S. Woolgar ausgedrückt ist: *Laboratory Life: The Social Construction of Scientific Facts* (1979). Ebenso in: K. Knorr-Cetina, *Die Fabrikation von Erkenntnis*, Frankfurt am Main 1984. – Aber gerade auch von diesen Autoren, die die Wissenschaft vor Ort untersuchen wollen, wird das Labor nicht in seinen vier Wänden eingeschlossen. Knorr-Cetina zeigt im Kap. 4 ihrer Arbeit, in welchem Maß die Wissenschaftlergemeinschaft sogar über die Grenzen der wissenschaftlichen Rationalität hinaus in Strukturen der allgemeinen Gesellschaft eingebettet bleibt und sich sozusagen aus „transwissenschaftlicher Rationalität“ versteht.
- 10 Der Wissenschaftssoziologe, der die Arbeit einer Forscher-Gruppe im Labor studiert, arbeitet wie ein Ethnologe, der in Feldforschung das Verhalten der Mitglieder eines Stammes untersucht. – Vgl. Kap. 2 von *Laboratory Life*, „An Anthropologist Visits the Laboratory“ (Latour, 1986, S.43-103). Knorr-Cetina hat ihrer Arbeit in der deutschen Ausgabe den Untertitel gegeben: „Zur Anthropologie der Naturwissenschaft“, (Knorr-Cetina, 1984).
- 11 Vgl. W. Sellars, *The Myth of the Given*, in: H. Feigl u. M. Scriven (Hrsg.), *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol.1, Minneapolis 1956.
- 12 Daß und in welchem Sinn das erlaubt ist, zeigt D. Shapere in seiner Abhandlung. (Shapere, 1982).
- 13 Gerade im Umfeld des Naturschutzes wird gern eine Rede von Natur und Natürlichkeit kultiviert, nach der das Mikroskopieren und Präparieren von Substanzen schon als ein Denaturieren zu gelten habe; erst recht gilt das für die Vorgehensweisen in den Laboratorien der Hochenergiephysik. Man unterstellt: Die Zerstörung von Natur, die wir um uns als Effekte einer technisierten Welt antreffen, hat ihren Grund in der Methode der neuzeitlichen Naturwissenschaft, die als solche destruktiv sei; denn die Arbeit im Laboratorium diene nicht dem Feststellen dessen was da ist, sondern deformiere den Gegenstand und fabriziere eine künstliche Welt.
- 14 P. Galison gibt eine Darstellung der neuen Hochenergiephysik aus der Perspektive der Laboratorien mit ihrem hohen Anteil an Computersimulation, technischem Gerät, instrumentellem Manipulieren und Ingenieurwissen. Vgl. sein *How Experiments End*, Chicago/London 1987.
- 15 Vgl. P. M. Watkins (1986), *Discovery of the W and Z Bosons*, Contemp.

- Phys., Vol.27, No.4, S.291–324. G. Taubes (1986), Nobel Dreams: Power, Deceit and the Ultimate Experiment, New York.  
 16 DIE ZEIT, (Nr. 44), v. 26.10. 1984, S.49

*Literaturverzeichnis*

- Bacon, Francis, 1962: Das neue Organon (1620). Hrsg. M. Buhr. Berlin: Akademie Verlag
- Duhem, Pierre, 1978: Ziel und Struktur der physikalischen Theorien (1908). Hrsg. L. Schäfer. Hamburg: Meiner Verlag
- Fleck, Ludwik, 1980: Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache: Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv (1935). Hrsg. L. Schäfer u. Th. Schnelle, Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag
- Fleck, Ludwik, 1983: Erfahrung und Tatsache: Gesammelte Aufsätze. Hrsg. L. Schäfer u. Th. Schnelle. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag
- Galilei, Galileo, 1964: Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei neue Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend (1638). Hrsg. A. v. Oettingen. Darmstadt: Wiss. Buchges.
- Galison, Peter, 1987: How Experiments End. Chicago/London:
- Hacking, Ian, 1981: Spekulation, Berechnung und die Erschaffung von Phänomenen. In: Duerr, Hans Peter (Hrsg.): Versuchungen, Bd. 2. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, S.126–158
- Hacking, Ian, 1983: Representing and Intervening. Cambridge: CUP
- Knorr-Cetina, Karin, 1984: Die Fabrikation von Erkenntnis: Zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag
- Latour, Bruno und Woolgar, Steve, 1986: Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts, (2.Auflage). Princeton: PUP
- Schäfer, Lothar, 1974: Erfahrung und Konvention: Zum Theoriebegriff der empirischen Wissenschaften. Stuttgart: Frommann-Holzboog
- Shapere, Dudley, 1982: The Concept of Observation in Science and Philosophy. In: Philosophy of Science 49, S. 485–525
- Taubes, Gary, 1986: Nobel Dreams: Power, Deceit and the Ultimate Experiment. New York: Random House
- Watkins, Michael, 1986: Discovery of the W and Z Bosons. In: Contemp. Phys. 27, S. 291–324

Holm Tetens

## Das Labor als Grenze der exakten Naturforschung

### Zusammenfassung

Die grundlegenden Theorien über die Natur können in der Regel nur unter den künstlichen Bedingungen des Labors aufgestellt werden, weil nur unter Laborbedingungen ablaufende Prozesse die Eigenschaften besitzen, die sie für uns zu theoriefähigen Gegenständen machen. Daraus darf nicht geschlossen werden, die anhand von Laborphänomenen aufgestellten und getesteten Theorien handelten nicht von der Natur außerhalb der Labore. Aber ihrer exakten und detaillierten Anwendung auf Prozesse außerhalb der Labore stehen eine Fülle von Schwierigkeiten entgegen. Insofern markiert das Labor sehr wohl eine Grenze exakter Naturforschung, die für den Umgang der wissenschaftlich-technischen Zivilisation mit der Natur wichtige Konsequenzen hat.

### Abstract

Our fundamental theories about nature have to be established in laboratories under artificial conditions we seldom meet outside the labs. From this methodological fact does not follow that theories developed and tested in laboratories do not describe and explain nature outside the labs. But it is often impossible to apply that theories exactly and in full details to nature outside the laboratories. These limitations set to research on objects outside the labs have serious consequences for our contemporary civilization based on science and technology how to deal with nature.

Die Naturwissenschaftler erforschen die Natur. Aber sie gehen dazu, zumal heutzutage, oftmals nicht nach „draußen“ in die „freie“ Natur. Stattdessen ziehen sie sich in die Laboratorien zurück. Warum glauben die Naturforscher, gerade in der künstlichen Welt eines Laboratoriums hinter die Geheimnisse der Natur kommen zu können?

## 1. Eine kleine Wissenschaftstheorie des Labors

Naturvorgänge lassen sich nicht ohne weiteres durch die mathematisierten Naturwissenschaften erforschen. Dazu müssen sie einige Eigenschaften mitbringen:

1. Naturprozesse müssen sich genau genug beobachten und messen lassen.

2. Naturprozesse müssen so „begründigt“ ablaufen, dass die Forscher sie durch mathematisch lösbare Gleichungen beschreiben können.

Die naturwissenschaftlichen Theorien beinhalten in ihrem Kern allgemeine Naturgesetze. Formuliert werden die Naturgesetze als Gleichungen. Diese Gleichungen müssen getestet werden. Für spezielle Rand- und Anfangsbedingungen werden mit Hilfe der Naturgesetze besondere Naturabläufe vorausgesagt, die bisher noch nicht beobachtet wurden. Anschließend haben die Forscher zu prüfen, ob sich unter den besagten Rand- und Anfangsbedingungen tatsächlich Prozesse auf die vorausgesagte (vorausberechnete) Weise zutragen. Daher eine dritte forschungsrelevante Eigenschaft der Naturprozesse:

3. Naturprozesse müssen gerade unter solchen kontrollierten und strikt eingehaltenen Rand- und Anfangsbedingungen ablaufen, die es den Forschern erlauben, die Voraussagen ihrer Theorien zu überprüfen und damit ihre Theorien zu testen.

In der Regel besitzen Vorgänge draußen in der Natur die drei forschungsrelevanten Eigenschaften nicht, und deshalb müssen Naturwissenschaftler ihre Forschung ins Labor verlegen, jedenfalls immer dann, wenn sie die grundlegenden Naturgesetze entdecken, mathematisieren und testen wollen.

Was ist ein Laboratorium? Laboratorien sind Gebäude, in denen Experimentier- und Messapparaturen halbwegs sicher so untergebracht sind, dass sie funktional genutzt werden können. Was aber sind Experimentierapparaturen?

Jede Experimentierapparatur steckt zunächst einmal ein Raumgebiet ab. Innerhalb des Raumgebietes können sich physikalische, chemische oder biologische Prozesse abspielen. Die Forscher studieren Naturprozesse, soweit und solange sie innerhalb der Grenzen des Experimentierapparats ablaufen. Wie hermetisch die Apparatur einen experimentellen Innenraum von der übrigen Umgebung absondert, ist von Experiment zu Experiment höchst verschieden und jeweils nach den funktionalen

Erfordernissen der Begrenzung festzulegen. Die Begrenzungen einer Experimentierapparatur haben nämlich vor allen Dingen zwei Funktionen.

1. *Nach außen* sollen sie den zu erforschenden Vorgang abschirmen, damit kausal wirksame Faktoren in der Umgebung nicht oder nicht unkontrolliert auf ihn einwirken. Das läuft letztlich immer darauf hinaus, den Experimentierinnenraum durch Wände einzuschließen, die aufgrund ihrer Materialeigenschaften, teilweise auch ihrer geometrischen Eigenschaften für bestimmte Formen von Energie undurchlässig sind. Im Allgemeinen schalten die Experimentierapparaturen auf diese Weise alle kausal wirksamen Faktoren bis auf ein oder zwei entweder völlig aus oder halten sie zumindest konstant. Die begrenzenden Oberflächen einer Experimentierapparatur sind mit speziellen Öffnungen (Schleusen, siehe auch weiter unten) versehen, durch die Energie einer bestimmten Form transportiert werden kann. Diese Energieschleusen lassen sich verstellen, also verschließen, öffnen, vergrößern oder verkleinern. Indem die Experimentatoren diese Öffnungen verstellen, variieren sie gezielt Stärke und Richtung eines bestimmten Kausalfaktors, der auf den zu erforschenden Prozess einwirkt.

2. *Nach innen* dienen die Begrenzungen der Experimentierapparaturen als Leit- und Führungsflächen für den räumlichen Verlauf des zu erforschenden Prozesses. Die Materialien der Leit- und Führungsflächen einer Experimentierapparatur sind jeweils homogenisiert und die Flächen selber passend geometrisch geformt. Auf diese Weise erzwingen die Experimentatoren, dass der zu erforschende Prozess hinreichend übersichtlich und „begradigt“ abläuft.

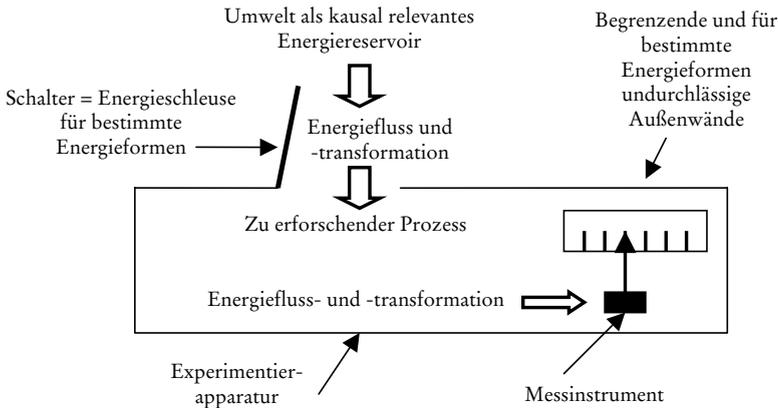
Wie schon angedeutet, können die Experimentier- und Messapparaturen willkürlich ein- und ausgeschaltet werden. Das geschieht dadurch, dass Fluss und Transformation bestimmter Energieformen aus der Umgebung einer Experimentierapparatur oder aus einem eigens bereit gehaltenen Energiereservoir an den Außenwänden der Apparatur unterbrochen oder durch entsprechende Öffnungen in das Innere der Apparatur hineingelassen wird. Der Fluss der Energien und ihre Transformation in andere Energieformen bringen den Prozess, den die Forscher untersuchen wollen, in Gang und erhalten ihn aufrecht. Ein Schalter ist dabei letztlich nichts anderes als eine Energieschleuse für den Fluss und die Transformation von Energie. Ein Schalter als allgemeine Energieschleuse funktioniert wie die Schleusen im engeren Sinne, die wir zur Regulie-

rung von Wasserströmen kennen. Aus bestimmten Materialien geeignet geformte Oberflächen werden so verschoben, dass sie den Energiefluss stoppen, verlangsamen oder vergrößern. Der Trick jeder Art von Schalter besteht vor allem darin, dass das Öffnen oder Verschließen der Energieschleuse in der Regel viel weniger an Energie erfordert, als durch die Schleuse selber reguliert wird. So löst der berühmte kleine Knopfdruck eine Kernreaktion aus, bei der ungeheure Energiemengen freigesetzt werden. Indem die Experimentatoren die Experimentierapparaturen ein- oder ausschalten, legen sie zum einen den Zeitraum fest, in dem sich ein zu erforschender Prozess abspielt und er beobachtet und gemessen wird. Zum anderen können sie über die Schalter den zeitlichen Verlauf des zu erforschenden Prozesses selber regulieren und ihm daher eine bestimmte Zeitform aufprägen, was ebenfalls dazu beiträgt, den Prozess zu „begradigen“ und von daher übersichtlich ablaufen zu lassen.

Wie strikt und undurchlässig der Experimentierraum gegenüber der Umwelt abgeschottet werden muss, können die Forscher getrost von den jeweils zu untersuchenden Vorgängen abhängig machen. Galileis schiefe Ebene, auf die er Kugeln herabrollen ließ, um deren Bewegungen als gleichförmig beschleunigte nachzuweisen, war natürlich zur Umwelt hin weitgehend offen. Cavendish hingegen hat seine Drehwaage, mit der er die Gravitationskonstante exakt bestimmen wollte, durch ein Gehäuse aus Holz und Glas fest verschlossen, um es gegen Stöße und Druckschwankungen der Luft weitgehend zu schützen. Die heutigen Teilchenbeschleuniger demonstrieren eindrucksvoll, wie hermetisch Experimentierräume gegen die Umwelt isoliert sein müssen und wie aufwändig (und kostspielig) das im Einzelfall ist. Die Grenze zwischen Laborforschung und Forschung in der „freien Natur“, zum Beispiel in Gestalt der Freilandversuche ist in der Tat fließend und variabel. Aber das ändert nichts daran, dass im Einzelfall noch immer gut unterschieden werden kann zwischen dem Labor und der „freien Natur draußen“. Und vor allem ändert es nichts daran, dass die Forschung, die auf reproduzierbare Ergebnisse angelegt ist, die Faustregel beherzigt: So viel Abschottung gegen die Umwelt und „freie Natur“ wie nötig, und im Zweifelsfall tut man lieber des Guten zu viel als zu wenig, um die Ergebnisse nicht Einwänden und Zweifeln auszusetzen, bestimmte Kausalfaktoren hätten die Ergebnisse unkontrolliert beeinflusst.

Gekoppelt sind die Experimentierapparate natürlich mit entsprechenden Messgeräten. Die in der Experimentierapparatur sich abspielenden

Energieflüsse und Energietransformationen wirken auf Zeiger ein, die sich daraufhin entlang von Messskalen bewegen. So können alle einschlägigen Messgrößen zuverlässig und genau gemessen werden, und zwar an Raumstellen und zu Zeitpunkten, die der Experimentator vorab auswählen und festlegen kann.<sup>1</sup> Nachfolgend sind die funktionalen Komponenten einer Experimentierapparatur noch einmal schematisch zusammengefasst:



Die Forscher holen sich natürlich „Natur“ ins Labor. Sie experimentieren mit Pflanzen und Tieren, die sie in der „freien Natur“ einsammeln und fangen, sie benutzen chemische Stoffe, die sie aus der Natur in das Labor befördern und sie zapfen gezielt die Energiequellen und energetischen Transformationsprozesse, die ohne ihr Zutun von der Natur zur Verfügung gestellt werden und sich dort abspielen, für ihre Experimente an. Sie lassen, wie wir schon gesehen haben, gezielt Kausalfaktoren aus der Umwelt in den „Innenraum“ der Experimentierapparaturen hineinwirken. Aber auch hier gilt die Maxime: Wie viel Natur man ungehindert und ungefiltert in das Laborgeschehen hinwirken lässt, wird nach Maßgabe des zu untersuchenden Phänomens entschieden. Aber wieder ist den Laborwissenschaftlern ein methodologisches Misstrauen gegenüber der „freien Natur draußen“ zu Eigen: Nur soviel „Naturbedingungen“, dass die zuverlässige Reproduzierbarkeit der Ergebnisse niemals ernsthaft gefährdet ist.

Fassen wir unsere Überlegungen zum Labor als Forschungsstätte zusammen: *In sehr vielen Fällen können den Naturprozessen erst im Labor Eigenschaften aufgeprägt werden, ohne die sie sich nicht erfor-*

*schen ließen.<sup>2</sup> Durch die Experimentier- und Messapparaturen, die das Herzstück eines jeden Labors sind, werden Prozesse in einem bestimmten Raum-Zeit-Abschnitt so herausisoliert, dass sie in ihrem raum-zeitlichen Ablauf „begradigt“ sind und deshalb hinreichend genau gemessen und durch mathematisch möglichst einfach lösbare Gleichungen beschrieben werden können.*

Dieser wissenschaftstheoretischen Feststellung wird gerne mit dem Hinweis auf die Astronomie und insbesondere das Planetensystem der Sonne widersprochen. In der Tat, das Planetensystem ist für die neuzeitliche Naturwissenschaft zweifellos ein Glücksfall gewesen, besitzt es doch von sich aus schon die Eigenschaften, die die Forscher für so viele andere Naturvorgänge erst im Labor teilweise enorm aufwändig erzwingen müssen: Die Planetenbewegungen wiederholen sich regelmäßig mit großer Genauigkeit, die einschlägigen kausalen Faktoren sind schon von alleine hinreichend stabil, weil das Planetensystem von anderer Materie hinreichend weit entfernt ist. Daher lässt sich das Planetensystem recht gut beobachten und vermessen. Gleichwohl gingen die Wissenschaftsgeschichte und die Wissenschaftstheorie in die Irre, orientierten sie sich zu sehr an diesem und wenigen anderen Glücksfällen in der Welt außerhalb der Laboratorien. Zudem muss man aufpassen, nicht bereits von der Astronomie ein verkehrtes Bild zu zeichnen. Je räumlich und zeitlich tiefer und detaillierter die Forscher in den Kosmos einzudringen versuchten, desto stärker nämlich wurde selbst die Astrophysik zur Laborwissenschaft. Denn was sind Observatorien anderes als Laboratorien, mit deren Experimentier- und Messapparaturen speziell astrophysikalische Vorgänge und Daten gezielt aus unübersichtlich komplexen und „unreinen“ Signalmengen, die die Forscher aus dem Weltall empfangen, herausgefiltert werden? Auch Beobachtungssonden, Raumfähren und ähnliche Geräte der Astrophysik sind nichts anderes als bewegliche Laboratorien, die allerdings sowieso ohne aufwendige Signalkoppelung an feste Observatorien auf der Erde für die Astrophysik wertlos wären.

Wichtige andere Teilgebiete der Physik, die Elektrodynamik und Thermodynamik und natürlich die gesamte Atomphysik sind fast ausschließlich im Labor entstanden. Die Chemie ist nie etwas anderes als eine Laborwissenschaft gewesen. Und spätestens seit der Zell- und Molekularbiologie hat selbst die biologische Forschung bevorzugt im Labor ihren Ort.

Wir dürfen also getrost wissenschaftstheoretisch festhalten: *Ohne*

*reproduzierbare Laborphänomene könnten die Naturwissenschaftler zumindest ihre Fundamentaltheorien niemals aufstellen und empirisch testen.*

## 2. Die Natur im Labor und die Natur „draußen“

Ohne Laborphänomene keine Naturwissenschaft. Das ist die Quintessenz unserer bisherigen Überlegungen. Freilich, aus diesen Überlegungen darf man nicht schließen, dass die Naturwissenschaften in Wahrheit auch nur von Laborvorgängen und nicht von der Natur außerhalb der Laboratorien handeln.<sup>3</sup> Selbstverständlich heißen die experimentellen Laborwissenschaften zu Recht „Natur“-wissenschaften. Alles, was die Naturwissenschaften an den Laborphänomenen entdecken, gilt auch von der Natur außerhalb der Laboratorien. Vor allem zwei Entdeckungen dürfen direkt von den Laborphänomenen auf die Natur „draußen“ übertragen werden:

1. die Naturgesetze,
2. die materialspezifischen Konstanten und die materialunabhängigen „universellen“ Naturkonstanten (etwa die Gravitationskonstante).

Es ist wahr, was die Naturwissenschaftler behaupten: *Das Geschehen in der Natur außerhalb der Laboratorien gehorcht keinen anderen Gesetzmäßigkeiten und ist durch keine anderen Konstanten bestimmt als die, die im Labor anhand künstlich hergestellter Vorgänge ermittelt werden.* In diesem fundamentalen Sinne unterscheiden sich Natur- und Laborvorgänge nicht voneinander. Wenn der Naturforscher in das Labor geht, kehrt er der Natur keineswegs den Rücken.

So richtig solche Feststellungen sind, so leicht können sie einen fundamentalen epistemischen Unterschied zwischen Laborphänomenen und der „Natur draußen“ verschleiern. Erinnern wir uns noch einmal, warum die Naturwissenschaftler die Natur im Labor erforschen. Sie tun das, weil sie bis auf wenige Ausnahmen nur dort alle relevanten Größen, die einen Vorgang eindeutig charakterisieren, exakt genug messen können, weil sie nur dort Vorgänge so übersichtlich und begradigt ablaufen lassen können, dass sie sie unter lösbare Gleichungen (Naturgesetze) subsumieren und dadurch auch voraussagen können. Im Umkehrschluss heißt das: Bei den allermeisten Naturabläufen außerhalb der Laboratorien scheitert dies alles. Vorgänge außerhalb des Labors lassen sich einfach nicht genau genug oder oftmals überhaupt nicht messen. Wollte man sie exakt mes-

sen, müsste man den Ort der Messung und seine Umgebung kurzfristig zu einem Labor umbauen. Das ist fast immer unmöglich. Außerdem wirken auf die Vorgänge außerhalb der Laboratorien viele kausal relevante Faktoren ein, die die Forscher niemals alle vorhersehen, überblicken und technisch kontrollieren können. Wollten sie das, müssten sie abermals um den Ort des Geschehens ein Laboratorium errichten und das Geschehen selber in Experimentier- und Messapparate „einfangen“. Selbst wenn ihnen dies kurzfristig gelänge, sie müssten dabei gravierend in die Natur technisch eingreifen. In der Regel würde der Prozess dadurch nachhaltig verändert oder gänzlich zerstört, bevor die Forscher sich hätten daran machen können, ihn zu erforschen.

Da sich die Messgrößen und Konstanten nicht genau genug messen und die Vielzahl der am Geschehen außerhalb der Labore beteiligten kausal relevanten Faktoren nicht überblicken und kontrollieren lassen, vermögen die Forscher das Geschehen nicht durch eine entsprechend spezifizierte Verlaufsgleichung zu beschreiben. Die Gleichungen, die die Forscher als Naturgesetze<sup>4</sup> akzeptieren, sind gerade in den wichtigen Fällen Differentialgleichungen.<sup>5</sup> Genau genommen handelt es sich nur um *Gleichungsschemata*,<sup>6</sup> weil in ihnen Variablen für bestimmte Messgrößen und materialabhängige Konstanten vorkommen. Für die Variablen müssen erst noch diejenigen Werte der entsprechenden Messgrößen eingesetzt werden, die den jeweils zu untersuchenden Prozess charakterisieren. Diese Werte stehen für die Prozesse außerhalb der Labore selten zur Verfügung. Daher lassen sich Prozesse außerhalb der Labore in den allermeisten Fällen lediglich unter das Schema einer Differentialgleichung subsumieren. Auf diese Weise *kennen und verstehen wir zwar das Prinzip, sprich: die allgemeinen Naturgesetze, die das Geschehen außerhalb der Laboratorien regieren*. Doch solange wir für die Variablen in dem entsprechenden Gleichungsschema keine konkreten Werte einsetzen können, liegt keine Gleichung vor, die wir lösen (integrieren) könnten, und ohne eine solche Lösung lässt sich ein Prozess nicht theoretisch exakt beschreiben und schon gar nicht zuverlässig voraussagen.

Um allerdings nicht gänzlich auf eine theoretische Beschreibung und Vorhersage verzichten zu müssen, schätzen die Forscher den Wert der einschlägigen Variablen oftmals ab. So gewinnen sie wenigstens eine Näherungslösung für die entsprechenden Gleichungen. Aber die theoretische Beschreibung eines Vorgangs durch solche Gleichungen und ihre Näherungslösungen ist durch mehr oder weniger große Unsicherheiten

belastet. Selbstredend sind die Voraussagen, die auf solchen theoretischen Beschreibungen fußen, nicht verlässlich.<sup>7</sup>

Wir sehen jetzt deutlicher: Unser Wissen über die Natur außerhalb der Labore gewinnen die Naturwissenschaftler, indem sie das Wissen von Laborgängen auf die Natur „draußen“ übertragen. Von einem logischen Standpunkt aus betrachtet handelt es sich bei dieser Übertragung um einen Analogieschluss. Er hat die Form:

1. Der Naturvorgang N verhält sich von dem zugrunde liegenden Gesetzen her genauso wie der Laborvorgang L.
  2. Der Laborvorgang L gehorcht einem Spezialfall des Gesetzesschemas G.
  3. Verhält sich X relativ zum Aspekt A genauso wie Y relativ zum Aspekt A und gilt für Y relativ zum Aspekt A der Sachverhalt Z, so gilt für X relativ zum Aspekt A der Sachverhalt Z.
- 
4. Also gehorcht der Naturvorgang N einem Spezialfall des Gesetzesschemas G.
  5. N unterscheidet sich von L durch andere Werte für die Variablen in G, ohne dass diese Werte überhaupt oder hinreichend genau bestimmt werden können.
- 
6. Also gehorcht der Naturvorgang N außerhalb des Laboratoriums zwar einem Spezialfall des Gesetzesschemas G, der jedoch im Detail nicht bekannt ist.<sup>8</sup>

Die Naturwissenschaftler verstehen und erklären die Naturvorgänge außerhalb des Laboratoriums „im Prinzip“, und das heißt: Sie kennen zwar das Gesetzesschema, nach dem ein Vorgang abläuft, allerdings auch nur dieses, nicht jedoch die Spezialisierung dieses Gesetzes für genau diesen Vorgang. Spezialisierungen des Schemas kennen die Naturforscher nur für mehr oder weniger ähnliche Laborfälle, und nur diese Laborfälle haben die Forscher in der Regel auch erfolgreich getestet.

Ein Aspekt verdient noch unsere besondere Aufmerksamkeit. Außerhalb der Laboratorien kommen gerade viele, im Zweifelsfalle zu viele Kausalfaktoren zusammen, die einen Vorgang beeinflussen. Deshalb setzen die Forscher im Labor alles daran, die Wirksamkeit eines Faktors dadurch näher kennen zu lernen, dass sie ihn isolieren, indem sie alle anderen Faktoren ausschalten oder konstant halten. Das ist, wie wir schon gesehen haben, eine wesentliche Funktion der Experimentierapparaturen. Dabei bemühen sich die Experimentatoren, die verschiedenen Faktoren so konzeptionell und operativ voneinander abzugrenzen, dass sie sich

störungsfrei oder jedenfalls nach möglichst einfachen Regeln überlagern. Die Regeln der Überlagerung werden ebenfalls im Labor ermittelt und getestet.<sup>9</sup> Dieses Wissen wird nun auf die Natur außerhalb des Labors übertragen. Mit guten Gründen nämlich gehen die Forscher davon aus, dass Vorgänge außerhalb der Laboratorien nicht dadurch zustande kommen, dass gegenüber den Laborphänomenen noch andersartige Kausalfaktoren wirken. Vielmehr überlagern sich bei den Vorgängen außerhalb der Laboratorien unübersichtlich viele Kausalfaktoren, die die Forscher jedoch längst im Labor identifiziert und in ihrer isolierten Wirksamkeit erforscht und verstanden haben. Wieder gilt: Die Vorgänge außerhalb der Laboratorien sind insofern „im Prinzip“ verstanden, als man aus dem Labor die isolierte Wirksamkeit der einzelnen Kausalfaktoren und zusätzlich die Gesetze ihrer Überlagerung kennt.

Natürlich beschreiben die Forscher manchmal einen Prozess außerhalb der Laboratorien durch eine mathematische Gleichung, die sie im Labor in dieser speziellen Form nie anwenden, weil in der Natur Wirkfaktoren zusammenkommen, die sie im Labor voneinander trennen können. Das stellt aber nicht die These in Frage, dass in der „Natur draußen“ dieselben Gesetze gelten wie für Vorgänge unter Laborbedingungen. Das Gesetz für einen Vorgang außerhalb des Labors ergibt sich aus im Labor gefundenen und getesteten Gesetzen,

- wobei höchstens bestimmte Parameter,
- und deren Überlagerung

anders spezifiziert sind als bei Laborvorgängen, wobei die zugrunde liegenden Überlagerungsprinzipien ebenfalls schon im Labor gefunden und getestet werden. Gesetze für einzelne Vorgänge außerhalb der Laboratorien unterscheiden sich nicht anders von Vorgängen innerhalb der Laboratorien, wie sich schon die Laborvorgänge untereinander unterscheiden.

Wir dürfen resümieren: *Die Naturvorgänge außerhalb der Laboratorien laufen nach denselben Gesetzen und mit denselben Konstanten ab wie die Laborvorgänge. Insofern verschaffen uns Laborphänomene ein prinzipielles Verständnis der Natur außerhalb der Laboratorien. Aber in den seltensten Fällen können die Forscher die Gesetze für die Naturvorgänge außerhalb der Laboratorien exakt spezifizieren, und daher sind sie zumeist nicht in der Lage, diese Vorgänge quantitativ genau und im Detail zu beschreiben oder vorherzusagen.*<sup>10</sup>

Für die in Apparaturen eingefangene Natur hinter den Mauern der

Laboratorien feiern die Naturwissenschaften beeindruckende Triumphe exakter Beschreibungen und erstaunlich zuverlässiger Vorhersagen. Aber sobald die Naturwissenschaften das Labor verlassen und sich der Natur außerhalb der Laboratorien zuwenden, werden ihre Beschreibungen zum Teil dramatisch ungenauer, ihre Erklärungen spürbar informationsärmer und ihre Prognosen enttäuschend unzuverlässiger. Der komplexen Welt außerhalb der Labore sind wir Menschen nicht gut gewachsen, sie überfordert uns kognitiv erheblich. *Genau in diesem Sinne ist das Labor eine Grenze der exakten Naturforschung.* Das Labor markiert eine zum Teil dramatische Wissensscheide für die Naturwissenschaften.<sup>11</sup>

### 3. Das Labor als wissenschaftliche Keimzelle der Technik

Die experimentellen Naturwissenschaften und die Technik sind eine unauflösliche Symbiose eingegangen. Immer ist naturwissenschaftliches Wissen seiner Form nach technisch anwendbar. Bei einer Wissenschaft, die vor allem im Labor stattfindet, ist diese Symbiose von Wissenschaft und Technik leicht zu erklären. Um es etwas vereinfacht zu sagen: Jedes naturwissenschaftliche Laborexperiment benutzt den Prototyp einer Apparatur, mit der sich Phänomene kontrolliert hervorrufen und verändern lassen. Ich beschränke mich auf ein einziges, ganz primitives Beispiel: Als es den Physikern gelungen war, den Regenbogen zu erklären, hatten sie zugleich mit einer Lichtquelle, einem Prisma und einem Aufgangschirm auch eine Vorrichtung erfunden, um das Sonnenlicht in seine Spektralfarben zu zerlegen und auf diese Weise einen künstlichen Regenbogen im Labor technisch zu erzeugen. Man kann es noch etwas anders sagen. *Ein Phänomen naturwissenschaftlich erklären zu können, heißt zu wissen, was man tun muss oder im Prinzip tun müsste, um dieses Phänomen oder ein vergleichbares ähnliches Phänomen technisch zu erzeugen und zu manipulieren.*<sup>12</sup>

Völlig berechtigt und zugleich typisch für einen Vertreter experimenteller Laborwissenschaft bemerkt zum Beispiel der Hirnforscher Gerhard Roth über die Erforschung des limbischen Systems, einer komplexen Hirnstruktur:

„Um es ganz klar zu sagen: Unter der Voraussetzung, dass alle Vorgänge im limbischen System auf den bekannten Naturgesetzen beruhen, kann man es auch nachbauen.“ (Gerhard Roth in einem Gespräch mit Spektrum der Wis-

senschaft; „Es geht ans Eingemachte“ – Neue Erkenntnisse der Hirnforschung verändern unser Bild vom Menschen, in: Spektrum der Wissenschaft, Dossier 2/2002: Grenzen des Wissens, S. 63.)

Das Zitat von Roth wirft ein bezeichnendes Licht auf die Frage, ob mit dem Prinzip der Technikorientierung, das oben formuliert wurde, nicht die Wissenschaften allzu sehr über einen methodologischen Kamm geschoren werden. Immer wieder wird gerne eingewendet, die Biologie sei im Gegensatz zur Physik und Chemie von diesem Prinzip auszunehmen. Sicher, über Jahrtausende musste die Biologie mit den in der „freien Natur“ aufwachsenden Pflanzen und Tieren vorlieb nehmen, sieht man einmal von der wichtigen und im Prinzip ja bereits ingenieurwissenschaftlichen Praxis ab, Pflanzen und Tiere zu züchten. Organismen technisch zu erzeugen, war der Biologie sehr lange im nennenswerten Umfang nicht vergönnt. Erst im 20. Jahrhundert begann sich das allmählich und dann immer schneller zu ändern. In erster Linie eröffnet die Molekularbiologie einem immer stärkeren ingenieurwissenschaftlichen Zugriff auf die Organismen und Lebensprozesse. Und keinem Zweifel kann unterliegen, dass viele Biologen versuchen, das Entstehen, Wachsen, Degenerieren und Absterben von Organismen gezielt technisch hervorzurufen und zu manipulieren. Solche Forschungsziele sollen den Biologen nicht vorgeworfen werden. Es wird nur die methodologische Grundorientierung der Biologie konstatiert, die eben keineswegs grundsätzlich anders ist als die der Physik und Chemie. Nur setzen ihre Untersuchungsobjekte der Biologie bis zum heutigen Tage drastischere Grenzen für einen technischen Zugriff, als dies bei der Physik und Chemie der Fall ist.

Die wissenschaftliche Weltanschauung, die durch die mathematisierten experimentellen Naturwissenschaften geprägt ist, zeigt uns die Welt also in einer ganz bestimmten Perspektive. Die Welt wird so beschrieben, wie sie beschrieben werden muss, damit man in die Prozesse in der Welt, wenn eben möglich, technisch eingreifen, sie umlenken oder sie selber an einem gewünschten Ort zu gewünschter Zeit initiieren kann. Der Philosoph und Wissenschaftssoziologe Max Scheler charakterisiert die Sicht der experimentellen Naturwissenschaften auf die Natur mit den Worten:

„Die Wissenschaft führt ‚Natura‘ nach Möglichkeit auf einen Prototyp von formalen ‚Mechanismus‘ zurück – nicht weil Natura an sich nur ein Mechanismus wäre, sondern weil an sich, nur soweit und insofern sie ein Mechanismus

ist oder einem solchen weitgehend analog, sie auch praktisch beherrschbar und lenkbar durch ein herrschaftswilliges Lebewesen ist.“ (Scheler, 1980, S. 241)

Francis Bacon hat den Siegeslauf der experimentellen Naturwissenschaft mit der Fanfare eröffnet: „Wissen ist Macht.“ Bacon sagt:

„Menschliches Wissen und Können fallen in Eins zusammen, weil Unkunde der Ursache uns um den Erfolg bringt. Denn der Natur bemächtigt man sich nur, indem man ihr nachgibt, und was in der Betrachtung als Ursache erscheint, das dient in der Ausübung zur Regel.“ (Bacon, 1971, S. 26)

Und Descartes verpflichtet die mathematisierten experimentellen Naturwissenschaften auf das Ziel, die Menschen „zu Herren und Eigentümern der Natur“ (Descartes, 1960, S. 50) zu machen.

Diese wenigen Schlaglichter müssen genügen, um plausibel zu machen: Der Aufstieg und Siegeszug der experimentellen Naturwissenschaften ist der kulturelle Prozess einer technischen Selbst- und Weltbemächtigung des modernen Menschen. Mit problematischen Folgen. Diese seien zum Schluss kurz beleuchtet.

#### 4. Laborwissen und die ökologische Krise

Die Grenze des Labors als Wasserscheide unseres Wissens ist alles andere als harmlos. Die wissenschaftlich-technische Zivilisation hat inzwischen auch noch im letzten Winkel der Erde Einzug gehalten. Dabei müssen wir erleben, wie sehr die wissenschaftlich-technische Zivilisation mit der Natur auf Kriegsfuß steht. In einem bedenkenswerten Aufsatz hat Gerhard Vollmer den bekannten Gedanken Freuds von den „Kränkungen“ des Menschen durch die Naturwissenschaften fortgeführt:

„Eine weitere, sehr aktuelle Kränkung ist [...] die ökologische. Sie besteht in der Einsicht, dass die Menschen in zahlreiche komplizierte Ökosysteme und damit letztlich in die gesamte Biosphäre eingebunden sind, dass wir von dieser Biosphäre entscheidend abhängen und doch unfähig sind, diese Systeme zu durchschauen, sodass wir sie zwar beeinflussen, aber weit davon entfernt sind, sie zu beherrschen.“ (Vollmer, 1999, S. 685)

Auf diese kognitive Unfähigkeit des Menschen werfen unsere Überlegungen zum Labor als Grenze exakter Naturforschung ein erhellendes Licht. Eine Experimentierapparatur ist, wie wir gesehen haben, der wissenschaftliche Prototyp eines technischen Artefakts. Aus vielen der

Experimentierapparaturen werden schließlich technische Artefakte, die wir industriell anwenden und produzieren. Anders als ihre wissenschaftlichen Prototypen, die Experimentierapparaturen und die in ihnen ablaufenden Prozesse, werden die industriell genutzten und produzierten technischen Artefakte außerhalb der Laboratorien und für Zeiträume eingesetzt, die die übliche Dauer eines naturwissenschaftlichen Labor-experiments bei weitem übersteigen. Wie wir gesehen haben, wachsen die Wissenslücken der Wissenschaften für Dinge außerhalb der Labore sprunghaft an. Deshalb verstehen die Naturwissenschaften nur noch im Prinzip, wie sich Artefakte außerhalb der Laboratorien langfristig verhalten und wie sie mit der übrigen terrestrischen Natur wechselwirken. Exakt können die Naturwissenschaften die Umwelteffekte unserer Technik nicht mehr erfassen, und vor allem, sie können sie auf keinen Fall zuverlässig und langfristig voraussagen.

Leicht erliegen wir einer im Zeitalter der ökologischen Krise gefährlichen Wissensillusion. Unsere technischen Artefakte glauben wir wissenschaftlich perfekt zu durchschauen und zu beherrschen. Richtig ist das aus einer erkenntnistheoretischen Sicht, denn am besten verstehen wir das (und vielleicht auch nur das), was wir selber hervorgebracht haben.<sup>13</sup> Zugleich vergessen wir dabei allzu leicht: *Nur als integrale Bestandteile von Laborsituationen beherrschen wir die technischen Artefakte zuverlässig, keineswegs jedoch als Bestandteile der terrestrischen Biosphäre außerhalb der Labore.* Dabei wäre nichts so dringlich, wie zuverlässiges Wissen über die Umwelteffekte unserer wissenschaftsbasierten Technik. Heute erstreckt sich die Wirksamkeit vieler menschlicher Handlungen über ungeheure Räume und Zeiten, und die Handlungen rufen zum Teil tief greifende Veränderungen hervor, die sich überhaupt nicht mehr oder nur noch sehr schwer wieder rückgängig machen lassen. Je mehr wir Menschen, „bewaffnet“ mit unserer wissenschaftsbasierten Technik, einschneidendes bewirken oder eben auch zerstören können, desto vorsichtiger und vorausschauender sollten wir handeln. Aber die Wissenschaft entwickelt sich geradezu paradox:<sup>14</sup> Je erfolgreicher die experimentellen Laborwissenschaften sind, desto deutlicher wird zugleich, dass wir so gut wie gar nicht hinreichend detailgenau und schon gar nicht langfristig voraussagen können, wie sich die Anwendungen der Laborwissenschaften auf die terrestrische Natur auswirken.<sup>15</sup>

Der Prozess der Verwissenschaftlichung der Welt ist ein Prozess der Selbst- und Weltbemächtigung des modernen Menschen. Dieser schwingt

sich zum „Herren und Eigentümer der Natur“ (Descartes) auf und macht sich selbst zum „Maß aller Dinge“ (Manifest des Wiener Kreises).<sup>16</sup> Doch längst ist der Mensch dabei, die Natur zu ruinieren. Angesichts der ökologischen Probleme, in die wir immer stärker hineinschlittern, sollten wir eine wissenschaftstheoretische Lektion besonders beherzigen: Wir mögen „Herren und Eigentümer“ der Laboratorien sein, aber „Herren und Eigentümer“ der Natur außerhalb der Laboratorien sind wir nicht.

### *Anmerkungen*

- 1 In Tetens (1987), S. 37–41 habe ich das Experiment und die funktionalen Eigenschaften der Experimentierapparaturen ausführlicher analysiert; dort finden sich auch Verweise auf weitere Literatur. Nur ein Pionier der wissenschaftstheoretischen Analyse des Experiments sei hier namentlich genannt: Hugo Dingler; vgl. Dingler (1928).
- 2 Selbstverständlich spielt sich Forschung auch in der freien Natur ab, man denke an Glaziologen, Forstwissenschaftler, Ökologen, Experten für die Fische des Mittelmeers, Erdgeschichtler, Klimaforscher. Doch die für ihre Forschung jeweils einschlägigen Fundamentalgesetze haben die Forscher so gut wie nie in freier Feldforschung entdeckt und getestet. Außerdem dient die Arbeit in der freien Natur oftmals nur dazu, Exemplare der zu untersuchenden Objekte zu sammeln. Diese müssen im Labor erst noch präpariert werden, damit sie anhand des einschlägigen theoretischen Wissens und der verfügbaren Messmethoden wirklich wissenschaftlich untersucht werden können. Klimamodelle, um ein anderes Beispiel zu wählen, werden nicht draußen in der Natur aufgestellt, sondern in Rechenzentren, und sie können auch nur dort getestet werden. Allein die nötigen Einzeldaten werden „draußen“ gemessen.
- 3 Hüttemann (1997) und (2000) hat zu Recht bestimmte Formulierungen aus meinem Buch „Experimentelle Erfahrung“ (Tetens, 1987) kritisiert, etwa den Satz: „Letztlich können Physiker nur Gesetze aufstellen für künstlich erzeugte, für sozusagen „reine“ Laborfälle“. Der Satz klingt so, als würden die anhand von Laborphänomenen aufgestellten Gesetze und Theorien nicht auf die Natur außerhalb der Laboratorien zutreffen. Das ist in der Tat nicht richtig und sei hier deshalb ausdrücklich korrigiert. Weiter unten wird deutlich, in welchem eingeschränkten und präzisierten Sinne ich den eben zitierten Satz aber weiterhin aufrechterhalte.
- 4 Die Frage, was ein Naturgesetz ist, ist bis zum heutigen Tag wissenschaftstheoretisch nicht geklärt. Wir müssen diese Problematik nicht vertiefen. Meines Erachtens reicht es sowieso für die allermeisten wissenschaftstheoretischen Probleme, den Begriff des Naturgesetzes anhand von Beispielen zu erläutern. Gerhard Vollmer (2000) hat verdienstvoller Weise eine Liste der wichtigsten generellen Aussagen zusammengestellt, die in den Wissenschaften als Naturgesetze akzeptiert werden.

- 5 Vgl. gerade hierzu die von Vollmer (2000) zusammengestellte Liste von „Kandidaten für Naturgesetze“.
- 6 So sind zum Beispiel das zweite Newtonsche Gesetz (Kraft ist gleich der zeitlichen Impulsänderung), das Hooksche Gesetz, die Lagrange-Gleichungen der klassischen Mechanik, die fundamentalen Gleichungen der Speziellen Relativitätstheorie, die Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie, die Schrödinger-Gleichung, die Maxwell'schen Feldgleichungen der Elektrodynamik und viele andere als Gleichungsschemata formuliert.
- 7 Weil Voraussagen für Objekte außerhalb der Labore fast immer unzuverlässig sind, ist unter anderem die Anwendung der Technik fast immer auch riskant. Meistens halten zwar zum Beispiel unsere Brücken, doch unser Wissen über ihre Stabilität ist nicht genau genug und kann wegen der besonderen Bedingungen außerhalb der Labore nicht genau genug sein, um das Verhalten der Brücke bei bestimmten Belastungen zuverlässig vorherzusagen zu können. Leider stürzen Brücken immer wieder auch einmal ein, und so gut wie nie wird ein solcher Brückeneinsturz vorausgesagt.
- 8 Natürlich kann man auch sagen, dass der Übertragung des Wissens von Laborvorgängen auf Vorgänge draußen in der Natur eine „metaphysische“ Einheitshypothese zugrunde liegt. Aber wenn mit einer solchen Einheitshypothese gerechtfertigt wird, dass das im Labor getestete Wissen auf die Natur außerhalb der Laboratorien übertragen werden darf, fungiert sie ihrer logischen Form nach als Analogie: Die Naturgesetze gelten gleichermaßen für Vorgänge innerhalb wie außerhalb der Laboratorien, oder auch: Hinsichtlich der Naturgesetze verhalten sich Vorgänge außerhalb der Laboratorien wie Laborvorgänge. In diesem Sinne ist die Übertragung des Wissens vom Labor auf Vorgänge außerhalb der Laboratorien ein Analogieschluss.
- 9 Nach den Theorien der Physik überlagern sich zum Beispiel Kräfte und Felder störungsfrei, indem die Kräfte und die durch einzelne Ladungen erzeugten Felder sich einfach addieren. Man spricht deshalb auch von „linearer Superposition“. Die Überlagerungsregeln der Quantenmechanik sind allerdings nicht mehr ganz so einfach und mit besonderen Interpretationsproblemen behaftet. Die Überlagerungsregeln sind außerordentlich wichtig gerade im Hinblick auf die fundamentale, schon von Descartes ausführlich diskutierte Forschungsmethodik, komplexe Naturvorgänge dadurch zu verstehen, dass man sie in einfache Naturvorgänge zerlegt und sie aus diesen einfacheren Naturvorgängen anschließend wieder zusammensetzt.
- 10 Das ist nur eine der Schwierigkeiten, Naturvorgänge außerhalb der Laboratorien genau und zuverlässig theoretisch zu modellieren. Andere kommen oftmals hinzu. So sind viele Vorgänge nur durch nicht-lineare, gegenüber der Veränderung von Anfangsbedingungen hypersensitive Differentialgleichungen zu beschreiben. Um mit Hilfe dieser Gleichungen Vorgänge genau vorauszusagen, ist eine Beobachtungs- und Messgenauigkeit erforderlich, die oftmals jenseits der technischen Möglichkeiten liegt. Diese unter dem Stichwort „chaotische Systeme“ inzwischen allseits bekannte und diskutierte Schwierigkeit ist allerdings nicht spezifisch für die Vorgänge außerhalb der Laboratorien. Auch im Labor realisierte chaotische Prozesse lassen sich wegen der Messungenauigkeit nicht voraussagen. Da es uns aber auf

die Unterschiede zwischen Vorgängen innerhalb und außerhalb der Laboratorien ankommt, gehen wir auf diese Schwierigkeit nicht weiter ein.

- 11 Die diagnostizierte Grenze ist, das sei ausdrücklich hervorgehoben, nicht a priori zu beweisen. Die Überlegungen, die ich hier angestellt habe, machen samt und sonders von empirischen Beobachtungen und Erfahrungen Gebrauch. Trotzdem dürfte sich der epistemische Unterschied zwischen Laborvorgängen, die wir wissenschaftlich mit erstaunlicher Detailgenauigkeit beherrschen, und den Vorgängen außerhalb der Labore, die wir nur „im Prinzip“ verstehen und bei deren Details wir immer wieder wie im Nebel stochern, auch in Zukunft als stabil erweisen.

Dass man vorsichtig sein sollte, Grenzen unseres Wissens a priori zu ziehen, dass aber auch „nur“ empirisch bestimmte Grenzen unseres Wissens sehr stabil und für unseren Umgang mit der Natur dramatisch sein können und wir ihnen auch praktisch Rechnung zu tragen haben, habe ich an anderer Stelle (Tetens, 2000) ausgeführt.

- 12 Wie der Einwand, dass der Ausbruch des Vesuvs zwar naturwissenschaftlich erklärt werden kann, ohne von uns herbeigeführt werden zu können, zurückgewiesen werden kann vgl. von Wright, 1974, S. 72 ff und das Kapitel 1 in Tetens, 1987, S. 15–41.
- 13 Das ist die große Einsicht Kants (vgl. Tetens, 2006, S. 29–34), aber auch vieler anderer Erkenntnis- und Wissenschaftstheoretiker.
- 14 Statt von einer „Paradoxie“ wird oft auch von der selbstzerstörerischen „Dialektik“ der wissenschaftlich-technischen Zivilisation gesprochen.
- 15 Meines Erachtens liegen hier prinzipielle erkenntnistheoretische Probleme für die Technikbewertung und die so genannte Technikfolgenabschätzung vor, die bisher auch nicht annähernd zureichend analysiert worden sind. Unsere Unwissenheit ist viel größer, als wir uns das normalerweise eingestehen. Diese Unwissenheit wird illusionär verkannt und verdrängt, weil unser Wissen über die Laborphänomene so erstaunlich gut ist und wir daher in der Tat auch die Natur außerhalb der Labore „prinzipiell“ gut verstehen. Aber eben nur „prinzipiell“, und darin liegt das Problem, denn Umwelteffekte der Technik sollten wir nicht nur im Prinzip, sondern möglichst detailgenau und langfristig im Voraus kennen.

Detaillierte Untersuchungen über die Grenzen unseres Prognosewissens sind gegenwärtig in der Forschung noch Mangelware. Zu den Ausnahmen zählt die Studie G. Betz (2006), in der er das Prognoseversagen der Ökonomie mit den Voraussagemöglichkeiten der Klimaforschung verglichen und deutlich gemacht hat, wie heikel die Prognosedefizite der Ökonomie, aber auch der Klimaforschung für verantwortliche Sozial-, Wirtschafts- und Umweltpolitik sind.

- 16 Im Manifest „Wissenschaftliche Weltauffassung – Der Wiener Kreis“ lesen wir: „In der Wissenschaft gibt es keine ‚Tiefen‘; überall ist Oberfläche [...]. Alles ist dem Menschen zugänglich; und der Mensch ist das Maß aller Dinge.[...] Die wissenschaftliche Weltauffassung kennt keine unlösbaren Rätsel.“ (Carnap, Hahn, Neurath, 1975, S. 207).

*Literatur*

- Bacon, Francis, 1971: Neues Organ der Wissenschaften. Übersetzt und herausgegeben von Anton Theobald Brück. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Betz, Gregor, 2006: Prediction or Prophecy? The Boundaries of Economic Foreknowledge and Their Social-political Consequences. Wiesbaden: DVU
- Carnap, Rudolf, Hahn, Hans, Neurath, Otto, 1975: Wissenschaftliche Weltauffassung – Der Wiener Kreis. In: Schleichert, Hubert (Hrsg.): Logischer Empirismus – Der Wiener Kreis. München: Fink, S. 201–222
- Descartes, René, 1960: Von der Methode. Hamburg: Felix Meiner
- Dingler, Hugo, 1928: Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte. München: Reinhard
- Hüttemann, Andreas, 1997: Idealisierungen und das Ziel der Physik. Berlin: Walter de Gruyter
- Hüttemann, Andreas, 2000: Natur und Labor. Über die Grenzen der Gültigkeit von Naturgesetzen. In: Philosophia Naturalis, Band 37 (2000), Heft 2, S. 269–285
- Scheler, Max, 1980: Erkenntnis und Arbeit. Eine Studie über Wert und Grenzen des pragmatischen Motivs in der Erkenntnis der Welt. In: Scheler, Max: Gesammelte Werke, Band 8. Bern: Francke
- Tetens, Holm, 1987: Experimentelle Erfahrung. Hamburg: Felix Meiner
- Tetens, Holm, 2000: Kommt die Grundlagenforschung an ein Ende? Wissenschaftstheoretische Überlegungen zu den Grenzen der Wissenschaft. In: Mittelstrass, Jürgen (Hrsg.): Die Zukunft des Wissens. XVIII: Deutscher Kongress für Philosophie. Konstanz 4.–8. Oktober 1999. Berlin: Akademie Verlag, S. 132–145
- Tetens, Holm, 2006: Kants „Kritik der reinen Vernunft“ – Ein systematischer Kommentar. Stuttgart: Reclam
- Vollmer, Gerhard, 1999: Das kopernikanische Prinzip – Folgerungen für unser Welt- und Menschenbild. In: Brockhaus Mensch Natur Technik. Band: Phänomen Mensch. Herausgegeben von der Brockhaus-Redaktion, Leipzig, Mannheim: Brockhaus, S. 680–685
- Vollmer, Gerhard, 2000: Kandidaten für Naturgesetz. In: Philosophia Naturalis, Band 37 (2000), Heft 2, S. 193–204
- von Wright, Georg Hendrik, 1974: Verstehen und Erklären. Frankfurt am Main: Athenäum

Christoph Rehmann-Sutter

## Genes in Labs

### Concepts of Development and the Standard Environment

#### Zusammenfassung

Die Beziehung zwischen Genen, Genomen, Organismen und der Umwelt, in der die Entwicklung stattfindet, kann auf zwei dramatisch verschiedene Weisen erklärt werden. Diese beiden Ansichten werden charakterisiert als „Programm-Theorie“ und als „systemische Theorie“ der DNA. Die erstere nimmt an, dass genetische Information in der DNA codiert ist und vor der Entwicklung schon existiert. Umwelteinflüsse werden als Bedingungen für eine adequate Genexpression behandelt, manche als selektive Bedingungen für die Auswahl zwischen verschiedenen Entwicklungswegen. Die zweite Ansicht nimmt an, dass genetische Information, die in der Entwicklung einen Unterschied macht, in den Kontexten der Entwicklung erst erzeugt wird. Die Umwelt ist gemäss diesem Ansatz *per se* wichtig, als eine eigene Art von Ursachen in sich entwickelnden Systemen. Das Laboratorium, ein Ort, in dem die personenunabhängige Reproduzierbarkeit von Beobachtungen inszeniert wird, kann als ein selektiver epistemologischer Faktor angesehen werden, der die Programm-Sicht des Genoms favorisiert. Andere Gründe für die Neigung der Genetik des 20. Jahrhunderts zur Programm-Theorie liegen aber in einer metaphysischen Tradition, die der DNA die Rolle der essentiellen *causa formalis* für die Ontogenese verliehen hat.

#### Abstract

The relationship of genes, genomes, the organism and the environment where development takes place can be explained in two dramatically different ways. The two views are characterized as ‚program theory‘ and ‚systemic theory‘ of DNA. The first assumes that genetic information is encoded in DNA and preexists development. Environmental influences are treated as conditions for adequate gene expression, sometimes as selective conditions for different developmental pathways. The second assumes that genetic information that makes a difference in development is generated in the developmental contexts themselves. Environment, according to this account, matters *per se*, as a distinct kind of causes in developmental systems. The laboratory, a place where person-independent reproducibility of observations is enacted, may act as a selective

epistemological factor that makes the program approach more viable than the systemic. Other reasons for the inclination of 20<sup>th</sup> Century's genetics towards the program view however are rooted in an *a priori* metaphysical tradition that placed DNA in the role of the essential *causa formalis* for ontogeny.

Animals in scientific laboratories behave quite differently from animals in their natural habitats. Space is limited, food is unfamiliar, hunting or gathering may be neither necessary nor possible. Ethology, the scientific study of animal behaviour, therefore takes place outdoors, preferably at the original places, where the undisturbed behaviour will be enacted. But development, the life-long process of structural change, differentiation and refinement that starts with the fertilized egg cell, follows essentially the same pattern as in the wild. Typically, the interaction of the nucleic acids, proteins and lipids that constitute the self-organization of plants and animals is studied outside their natural location. Development is replaced within laboratories, where it occurs in petri dishes, immersed in Ringer solution or nutritious media. There, and not in the context of its natural location, it is presented to the watchful eyes of the geneticists. The processes of development might be influenced to a greater or lesser extent by these special local conditions. But there is a nontrivial assumption that the re-placing has no disruptive effect on basic events such as gastrulation, organogenesis, metamorphosis, or on the basic function of the genome, which developmental biology investigates. My point in this paper is not to contest this with counterexamples.<sup>1</sup> Rather, I want to draw attention to an epistemological issue implied by our belief that „genes“ and „development“ are related; the way we *understand* genetic processes may be affected by the characteristics of the place in which we study them, even if the processes themselves operate undisturbedly. Some concepts of development may have more plausibility than others, depending on whether the laboratory or a natural habitat is chosen as the appropriate study environment. This may sound *prima facie* incredible because it implies that scientists, as interpreters of their findings, are not independent from the localities. The thesis, however, can be substantiated when considering that the laboratory is not only a ‚quiet place‘ where things can be better observed in tranquility and undisturbed from external influences but also a place of a particular enactment of reality. The laboratory is an active place, and its activities are essentially those of the scientists. Therefore, it may be less implausible to assume that

these activities influence the selection of interpretative concepts scientists choose. In this paper I will explore the arguments supporting such a context dependence of interpretations in genetics. The reader may judge whether she or he finds them convincing enough.

Genes *are* involved in development. This is an empirical fact. But „being involved“ can mean many different things. I will define two main groups of belief: one type of view that I call the „program theories“ of DNA, and a second type I call the „systemic theories“. These contain two different, in some ways even antagonistic, ideas of development (I). The difference can be explained by their different ways of situating the developing organism-with-its-genes in an environment. These two groups of belief are models for perceiving the importance of environmental relations (II). The hypothesis discussed in this paper will be: *The laboratory (as the preferred research environment of molecular biology) favors the program theories of DNA.* Outside laboratories, in natural places, organisms are not the only things that develop. The places develop as well. As a phenomenological example I will consider a riverbank and suggest an environmental model of development (III). In contrast, the laboratory can be characterized as an active standard environment (IV). As an epistemological account of laboratories, I work with an approach to research environments which sees them as the *places* where research is done: in these places some questions are seen as important, others less so; certain experimental procedures seem to make sense, others appear to be trivial etc. The laboratory is *a selective place where opportunities are created.* I want to focus on this local effect of the laboratory originating (paradoxically) in place neutrality. Of the many characteristics of laboratories (the discussion of which would go well beyond the scope of this paper) I shall highlight only one: an intentional neutrality which guarantees that observations can be reproduced at other standardized places. But place neutrality itself turns out to be a local characteristic with a selective impact on the process of knowledge production. I want to elaborate this in the „case“ of genome theories (V).<sup>2</sup>

## I Two ideas of development

Genes are involved in development. *That they are* is an empirical fact. But *how they are*, cannot be stated without reference to one of several pos-

sible *a priori* ideas of development. In standard scientific texts produced by the relevant discipline, developmental genetics, these two sources – empirical evidence and *a priori* concepts – are rarely kept separate. They often appear intertwined, producing a sound „story“ of the rule of genes, the genome and other parts and processes in development at the molecular level. The rationale of scientific work is to fill the many gaps between the fragments of the detailed version of this story. The other task, of checking the interpretative patterns that are used to generate a coherent story from scattered empirical evidence, as far as the choice of interpretative patterns is empirically underdetermined, is left to philosophical scrutiny. If there were more than one interpretative pattern available, the process of understanding genetics in development is *a cultural act* that would remain obscure without careful analysis.<sup>3</sup> I want to consider two possibilities here.

These interpretive patterns are not hidden. What is problematic, however, is that one of these patterns has dominated parts of the scientific and still dominates most of the public understanding of the role of genes and genomes, even where the molecular biological evidence might fit the other pattern better.

In a standard textbook of developmental genetics, the section describing how genes are involved in establishing the body pattern begins with the following general outline:

„The early embryonic development of *Drosophila* is governed by genes that affect, via their protein products, the state of activity of other subordinate genes. These regulatory gene products contain DNA-binding domains and act by controlling transcription. At present, three classes of genes controlling development are distinguished.“ (Müller, 1997, 53)

These three classes include (1) maternal genes affecting the establishment of the body's axes (anterior-posterior and dorso-ventral), (2) genes effecting segmentation of the body, and (3) genes effecting segment identity, called homeotic genes. The latter are also called *homeotic selector genes* or *homeotic master genes* (Müller, 1997, 61); they define the individual identity of each body segment of a fly, i.e. whether it will become a mesothorax segment with wings or a metathorax segment with halteres (balancers). After one of the homeotic genes is activated, this question is answered and development will lead either to wings or to halteres. A homeotic gene seems to effect this decision.

The language with which these important genes are introduced contains metaphors of control: genes „govern“ embryonic development; other genes are „subordinate“; DNA binding „domains“ „control“ transcription; genes „effect“ segment identity; they play the role of „selectors“ or even „masters“. In his imagery, genes are active entities in the sense that they control the different steps of phenotypical development.<sup>4</sup> Müller reproduces a small drawing from Scott F. Gilbert's standard textbook that explains the role of the three types of gene. However, when we look at the original figure legend we see that Gilbert himself is several degrees more cautious than Müller in his use of control metaphors. He writes:

„The gap genes enable the expression of pair-rule genes...“ (Gilbert, 1997, 546; legend to Fig. 14-3)

While Müller writes:

„[Zygotic gap genes] define broad territories and turn on pair-rule genes...“ (Müller, 1997, 53; legend to Fig. 3-16)

There is, of course, a considerable difference between saying a gene „enables the expression“ of another gene, and saying a gene „defines a territory“ and „turns on“ other genes. Cor van der Weele has extensively investigated the metaphors used in developmental biology.<sup>5</sup> She finds control metaphors in abundance, and argues convincingly that this selection of metaphors suggests „the genes do everything there is to do in development: they determine, control, specify and so on“ (van der Weele, 1999, 24). The terminology not only stages the genes in a hierarchical way as controllers, but also leads to a suppression of important research questions about extragenetic, environmental causes in ontogeny. The genes do everything there is to do. Environmental stimuli are classified as mere 'conditions for', not as 'causes of', development. She quotes from Raff and Kaufmann's *Embryos, Genes and Evolution*, where they state their guiding idea very explicitly:

„There is a distinct mental set to our approach to evolution as there is to our approach to development, and this colors our choice of topics considered in this book. The essential position is that there is a genetic program that governs ontogeny, and that the momentous decisions in development are made by a relatively small number of genes that function as switches between alternate states or pathways.“ (Raff/Kaufmann, 1983, vii)

What is described here as „the essential position“ is in effect also an *essentialist* position. The genetic program is something residing within the organism „that governs ontogeny“. The program, representing the total genotype, *makes* an organism become and be what it is.<sup>6</sup> Interpreters like Holmes Rolston III, interested in grounding a naturalistic environmental philosophy, can find support here. Rolston sees genetic information as containing the „information how to compose and maintain“ organic structures and processes (1999, 14). The idea that DNA contains „the know-how for life“ (ibid., 28) or that „the secret of life is coded into the genes“ (ibid., x) is close to this.

What is implied by this program theory of the genome in developmental contexts? John Maynard Smith and Eörs Szathmáry accurately summarize the current view in biology when they state:

„What is transmitted from generation to generation is not the adult structure, but a list of instructions for making that structure.“ (Smith/Szathmáry 1999, 2)

The genetic information is not naively to be understood as a plan or blueprint in the sense of a picture of the adult structure that is somehow encoded in gene language, whose three- (or four-) dimensional realization would then be the goal of all developmental processes. Rather, genetic information is thought of as a series of „instructions“ that must be „understood“ (in a mechanistic sense) by the cells of the body and that guides them in their processes of differentiation and morphogenesis.

But how could genes and their role in development be understood differently? What is the alternative pattern of interpretation? To identify the fundamental choice leading to the program view, we must look at the concept of genetic information. Organisms happen to be able to extract information out of DNA. They build a variety of polypeptides (proteins) in a way that corresponds to a certain combination of stretches of DNA in their chromosomes. The sequence of the amino acids in the proteins represents the sequence of nucleotides in an mRNA in a regular and predictable way. Each triplet of nucleotides can be correlated with one of 20 different amino acids. Moreover, the order in which different proteins are synthesized seems to depend on regulatory devices whose key elements are regulatory proteins, themselves corresponding to defined genes. Information is order, not chaos. We have mentioned several levels of order: the order of the amino acid sequence of proteins,

the function of any protein in a given situation within the multicellular context, and the order of the gene activation sequence in development. The resulting structure, the visible form of the organism, also contains, of course, information. But, as said before, this final type of order is not directly prescribed by the genes; it is, according to the available scientific evidence, the result of the realization by the developing system of all relevant genetic instructions, although not itself encoded in DNA.

This process of extracting information from DNA can be imagined in two complementary and fundamentally different ways: either the information is *already there* in the DNA from which it is extracted, or the information is *produced* during, and by, this very process of extraction. In both images, structure is realized out of macromolecular interactions with DNA. Information that was not initially present becomes discernible as structure. In my view, this is indeed the most fundamental theoretical choice involved in the present understanding of the role of genes in development. The program view clearly favors the first idea: Information is already there in the sequence of DNA. This sequence is the material basis of those „instructions“ that form the program. But what about the alternative account?

One of the earliest attempts to rethink development in terms of the second possibility is Susan Oyama's 1985 book *The Ontogeny of Information*.<sup>7</sup> The significance of DNA, according to her, is neither a prescription for developmental steps that is transmitted in chromosomes, nor is it similar to Smith/Szathmáry's „instructions“.

„What is transmitted is macromolecular form, which, though it is necessary for the development of phenotypic form, neither contains it nor constitutes plans for it, and developmentally relevant aspects of the world.“ (Oyama, 1985, 22)<sup>8</sup>

The structures of proteins, the order of gene regulation and the organismic form are constructed in developmental processes. According to this view, they are a *result of interactions* taking place between parts or processes within the organism and between elements or processes of the environment. Both classes of factors are equally important; neither of them is ontologically privileged *a priori* as being more essential than the other. All factors together form a system of causal interdependence. Oyama takes up the notion of a *developmental system*, which was previously used in a different sense by Conrad Waddington (1957, 31). Her theory of the genome-organism relationship starts as a causalistic

approach interested in an unbiased scientific explanation by all relevant causal factors. It omits the supposition of an underlying genetic program or a „genotype“ underneath the phenotypically occurring processes of organic development. Macromolecules interact in a wide variety of ways but the key aspect that determines the interactions and its outcomes is the form of participating macromolecules. Sequences (of nucleic acids or proteins) appear in the cells not digitalized but sterically, as shapes. Ontogeny is, as Oyama puts it, a „choreography“ of macromolecular interactions. But despite the regularity of the „dance“ performed by the interactants, it has *no prescribed* choreography (Oyama, 1985, 22). DNA is a molecule with an extremely complex macromolecular form and this means that DNA can have a diversity of functions. Nevertheless, DNA is just one of the interactants in a developmental system. The significance of any part of the DNA sequence or of the genome as a whole does not slumber in a latent form before it is actualized, but is a result of a continuous interactive process, which happens to be regular within certain limits. The logic of this kind of succession has been characterized by Gunther S. Stent (1981) as a „historical“ process, where each of the steps depends on the previous steps. The process continues, each step resulting from a complex constellation of causes leading to the next constellation of causes and correspondingly to the next step.<sup>9</sup>

These sketched lines of thought illustrate the beginning of a fascinating alternative way of interpreting empirical findings. They point towards a coherent total view of genes and genomes in their relation to the developing organism and in an environmental context. The key elements of this *systemic view* of DNA can be summarized and contrasted to the program view in four points (cf. Table 1); a fifth point is discussed below. (i) The organism develops with a „historical logic“ of successive steps: each step is determined by the structure and dynamics of previous steps, which establish complex constellations of causes or a causally relevant *situation* in which new steps are effected. The program view, on the other hand, sees development as the realization of information, or as the implementation of a predetermined set of instructions. (ii) Neither DNA nor any other type of factor, whether „internal“ or „external“, is privileged *a priori* as a superior cause. In the program view, extrachromosomal factors have some importance but they are subordinated as necessary conditions for the adequate expression of the genetic information encoded in DNA. (iii) Genetic information is *generated* by interactive processes

between DNA and other factors in the organism and its surroundings. The program view assumes the preexistence of genetic information. (iv) The dynamic microstructure of the organism, i. e. the form „seen“ from a place within the developmental system, appears as one distinct type of cause in the explanation of developmental steps. Causally determined processes involving genes are *placed* within a dynamic microstructure, which has biochemical, biophysical and cell morphological elements. In the program view, structural elements belong to the conditions of gene expression.

Both of these views claim to be consistent with the empirical evidence. However, the empirical facts of developmental genetics elucidated by molecular biological methods, such as the „multiple use“ of the same DNA sequences by the same organism (alternative splicing, multiple promoters, mRNA editing), render the program view of genomes less and less plausible and favor the systemic view.<sup>10</sup> On the other hand, I don't see a clearcut empirical refutation of one of these sets of assumptions, because it can always be said that all the nongenetic (in the sense of ‚non-DNA‘) causes are mere conditions while the ‚real‘ causes are genetic. This, however, is not an empirical statement. It is an ontological assumption, a prioritization that may serve certain metaphysical goals or give support for certain metaphysical expectations of a controlling inner essence, which seem deeply rooted in dominant occidental traditions (Nelkin/Lindee, 1995). These views differ considerably in their implications for human identity and for attitudes to the biosphere in general (Rehmann-Sutter, 2002, 2003 a/b, 2006). I want to emphasize here that they also relate genes, organisms and environments in dramatically different ways.

## II Environmental relations

The place of development is represented in genetic theory as the „environment“. Obviously, this is a limited perception of place: it appears only through isolated environmental „factors“ or „influences“. But however small this epistemic window to the place is, the way environmental relations are modeled when looking through that window is an important element in understanding the *topology*, i.e. the account of emplacement, inherent in developmental biology. With which rationales are topological relations recognized? Many examples of environmental factors mak-

ing a difference to development are already well known.<sup>11</sup> For instance, sex determination in many reptiles is dependent on the temperature. In some turtle species, development produces females at low temperatures, males at higher ones; in other species it produces males at lower temperatures and females at higher ones; in a third category development always produces females except within a narrow range of moderate temperatures (Gilbert, 1997, 817). Another example is the wasp *Trichogramma semblidis*, which is an egg parasite. It can develop in the eggs of either Lepidoptera or *Sialis*. Depending on the host, the outcomes are strikingly different: wings and bushy antennae when reared in the eggs of Lepidoptera, no wings and naked antenna when reared in the eggs of *Sialis* (Wigglesworth, 1964, 99 f.).

Exchanges with the environment are important not only in these unsuspected cases where environmental influences lead to different forms of an animal or a plant, but also in cases where environmental conditions provide vital cues in the process of normal development. If these cues are absent, development fails. The red abalone *Haliotis rufescens*, for instance, has larvae that settle only when they physically contact coralline red algae. A brief contact is all that is required for competent larvae to stop swimming and begin metamorphosis. An algal peptide is presumably the inducing agent (Gilbert, 1997, 807). In such cases environmental cues are important developmental factors as well. This occurs in a broad variety of ways.

The two views of the DNA-organism relationship outlined in the preceding section also differ in the way they situate the developing organism-DNA complex in relation to such environmental factors. The „program“ and „systemic“ theories of DNA imply different models of the significance of environmental relations. Both types of theory accept that such relations are important. But they differ in *how* they relate environmental to genetic factors. As an empirical fact, we find correlations only between certain environmental parameters and developmental outcomes. Let us take as an example the temperature dependence of sex determination in turtles mentioned above. The correlation has an S- shape, indicating a very narrow temperature interval in which the offspring contain comparable numbers of both sexes. Clearly, the temperature at which development takes place at a specific stage affects the sex of a given animal. Temperature is among the set of conditions causally relevant to sex determination. Other conditions, mainly internal ones, are also promi-

ment among them, according to both the program and the systemic views, the DNA.

Now, each causal explanation introduces an element of selection among the causally relevant factors. One type of factor will be considered to be „the cause(s)“ and others as mere „conditions“. <sup>12</sup> Both groups of factors are necessary conditions, and usually no single one is sufficient by itself. But for particular reasons, the explanation is more interested in one group and focuses its attention on it. These factors possess a specific explanatory interest. Interest is, of course, a *practical* not a theoretical category. Interests may be meaningfully connected with other elements of practice, or depend directly on the situation where the need for the explanation arose.

In our case, temperature will figure among the causally relevant factors but whether it will acquire the status of a *cause*, or even *the* cause for sex determination, depends on a general view of the function of genes and genomes in organisms. The „program view“ treats all extragenetic factors as conditions that might be more or less necessary for the genome to exert its influence on the developing organism. Temperature is obviously one of the necessary conditions. Other concepts connected to the program view make this correlation intelligible: the „norm of reaction“ concept and „polyphenism“. The shape of the curve in the diagram correlating sex ratio and temperature is believed (somehow) to be set by the genes, and temperature acts within this reaction norm as a *cue* for sex determination. A cue is a factor that can make a difference but does not contribute to genetic information. The DNA alone contributes genetic information and this *confers on* the temperature the role of a cue. <sup>13</sup>

Scott Gilbert (1997, 813f.) speaks more precisely of polyphenism and reaction norms as two types of „phenotypic plasticity“. Polyphenism is discontinuous, whereas a reaction norm describes a continuous range of phenotypes expressed by a single genotype across a range of environmental conditions. In cases of polyphenism, he says, the „genome encodes a potential *range* of phenotypes, and the environment selects“ (813). The sex of a turtle embryo, which is clearly an either/or case, would therefore be an example of polyphenism. Another dramatic case is the moth *Nemoria arizonaria*, whose caterpillars can hatch either in spring or in summer. Those that hatch in spring eat oak *flowers* (catkins) and develop a cuticle that mimics these flowers. Summer-hatched caterpillars eat oak *leaves* and develop a cuticle that resembles year-old oak twigs. In both

types of phenotypic plasticity, however, the role of the environment is to realize differences, the nature and possibility of which are present in the genes.

This account for the gene-environment relation is what Susan Oyama wanted to highlight critically in the passage quoted above. In her view, the DNA sequence „neither contains nor constitutes plans“ for the development of phenotypic form, „*and developmentally relevant aspects of the world*“. The program view – from which she distances herself – determines which aspect of the environment is developmentally relevant and how it will become relevant. In other words, the genes set the stage and write the libretto for a production in which certain environmental factors have an influence. Light is not a ‚cause‘ for the plants growing towards it on the same level of ontological status that the genes. They, the genes, are the ‚causes‘ that ensure that the plant can and will be sensitive to light and will grow in the direction registered by its light-sensitive receptors.

The systemic view, on the other hand, deliberately refrains from establishing this difference in status among the causally relevant factors. This approach nevertheless also involves a choice and a specific interest. The choice is to take *all* factors as necessary and to give no *a priori* privilege to genetic factors. For the reasons just given, its conceptual tool for making this relation intelligible cannot be the norm of reaction or phenotypic plasticity. It must rather be a *correlatory function* (see Table 1 (v)). This function describes the shape of the curve but can be read from both sides: it describes how the environment establishes the situation in which ontogeny (literally) *takes place*. Or, conversely, it describes how phenotypes are specifically and regularly influenced by certain environmental factors.

Let us now look more closely at natural places for organic development. When environments change, no programs can be identified: The change in shape and structure of natural places, which is left behind when moving an organism to the laboratory, is not explained by scripts or instructions.

### III Developing places

Organisms develop naturally as parts of much more complicated biological communities than the mostly homogeneous *in vitro* situations in

which they are kept when used as laboratory models. The development of organisms takes place within developing places. Developing systems are „nested“, one could say. Biological communities are complex, interacting networks of plants, animals and microorganisms whose composition changes over time and whose characteristics interact with nonliving elements and processes as well. Those communities, together with their environments, also „develop“ in a certain sense but for explaining place development we haven't got any reasons to invoke a prescribed program or a series of instructions encoded in parts of the place. Why are the logics of development so different? How can regularities and irregularities of place-development be understood without programs?

In ecology, the „ecosystem“ concept is widely accepted to cover such interacting multi-species communities, together with their matter and energy exchanges with the nonliving environment. I am not using it here to describe nested development, because of the evident arbitrariness of the *boundaries* of what should be regarded as „one“ ecosystem under consideration. In ecology, this arbitrariness is well recognized. „For convenience“, says an introductory textbook, „scientists often consider an ecosystem under study as an isolated unit. However, natural ecosystems rarely have distinct boundaries and are not truly self-contained, self-sustaining systems.“ (Miller, 2002, 76). The boundaries have to be defined – this particular stream, this patch of wood – and reasons for this choice of boundaries are given by the goals of our investigation. We *want to know* something about this stream or this patch of wood. For describing nested developmental phenomena, however, such an approach seems impractical because we would constantly be misled by the arbitrariness of the boundaries. I prefer the term „place“ because it lacks the suggestion of boundaries.

The bank of a slow-moving river for instance contains many smaller or larger places populated by plants, animals and microorganisms, which are continuously being reshaped by changing water influences. Rivers sometimes meander across flat beds through broad valleys, building marshes, swamps, mudflats and other wetland formations that play important ecological roles. Moving water is highly creative. Places develop at riversides: rivers alter the river bed, washing sand, gravel, clay, mud and other materials from one place to another, where they come to rest and dry. Sediments offer hold for plants and deflect the course of the water. Erosion of stone, rock and loamy soil results in new forms. The roots

of trees grow into the ground, holding parts of the bank together more tightly than others, and thereby producing new starting conditions for the flowing water. All these movements obey natural laws that describe the behavior of all parts without exception, but do not predetermine the structure in its concreteness. An infinite abundance of forms is possible and can be brought about by the river. Nobody would suppose that this process is governed by a program like a libretto, hidden behind the stunning scenery of the riverside phenomena. The development of such places occurs step by step through the causal interactions of parts and processes. For its explanation one has to adopt a „historical“ point of view. As in a cascade, where the structure of the water at any spot can be explained by the structure and dynamics of the situation upstream, the structure of a particular place at any time can be explained by the structure and dynamics of the situation preceding that moment.

Seen as a whole there might be some regularity, like the succession of different plant communities after drying out or after fresh inundation. But at the level of the microsphere, where it matters *where* a certain tree begins to grow, *where* it stretches out a certain root branch and *how* this is influenced by interaction with rocks and stones, we cannot recognize regularities so easily. For the character of a certain place at a certain time, however, it is not just the regular parts that matter but all the accidental events that are not precisely reproducible. And also at the macrospheric level predictability is limited. The classic view that succession proceeds until an area is occupied by a generally predictable and stable type of climax community dominated by a few long-lived plant species and in balance with the environment has in the last decades of research been replaced by a view of continuous change, instability and unpredictability: „A close look at almost any ecosystem or community reveals that it consists of an ever-changing mosaic of vegetation patches at different stages of succession. These patches result from a variety of mostly unpredictable small and medium-sized disturbances ... Such research indicates that we cannot predict the course of a given succession or view it as pre-ordained progress toward an ideally adapted climax community.“ (Miller, 2002, 192)

Compare this example of a developmental place with the situation in which genes and their developmental role are usually studied: the scientific laboratory.

## IV Experimentation and Standard Environment

What is the practical function of a laboratory? In principle, laboratories are those places where controlled experiments can be performed. The type of experiments chosen requires certain equipment and a set of skills to be exercised by the persons who perform those experiments. Laboratories, therefore, consist not only of rooms, furniture, instruments, devices and machines, but also of suitably skilled scientists and assistants. Their knowledge and their habits, together with their social interactions with each other and with the world outside, are as essential for the constitution of a laboratory as the things collected there. As everybody who has worked in a laboratory knows, the selection of experiments actually performed depends only partially on the installations, apparatuses, skills etc. that ingenious scientists *think* they should have. Their research budgets are usually limited and so is their need for methodical innovation. Many experiments are planned and exercised *using what they have* in the lab, i.e. simply with those (often extremely expensive) instruments they have to hand, and using those methods in which the personnel have been trained (and which the group is proud of). A meaningful experiment does not always presuppose a theory to be tested. Besides their function in representing or structuring, and constructing or imitating, experiments have also a genuinely productive function: they enlarge the range of experience (Heidelberger, 1998). Karin Knorr Cetina described a laboratory as „a local collection of materialized former selections“ (1984, 28). New problems and new solutions in „making things work“ (24) in laboratories are predisposed by the things that are already there and by the skills and routines already established.<sup>14</sup> The rationality of experimentation is – at least sometimes – „opportunistic“ in the sense that it uses opportunities which are offered in the somewhat idiosyncratic composition of a laboratory as a place of research (125 f.).

A lab is not simply a lab, we might conclude. They are all different, each having a local history and tradition, each having its own set of opportunities and selections, its own kind of relations to the social and cultural world outside, each with different relationships to other places of research in the scientific community. Nonetheless, laboratories have their regularities, not only their particularities. In essence, what Knorr Cetina so impressively describes is the particularities of sets of regularities, not the singular uniqueness of each experimental activity. The very

idea of a scientific experiment has much to do with reproducibility. This is not abandoned by scientists in real life, but it is accomplished within the local circumstances. Sometimes, the reproduction of an experiment in another lab demands training, the purchase of special chemicals and apparatus, perhaps even for a visit to the lab where the experimental technique was originally used. Particularities are supposed to be transcended. This norm is directly bound to the ideas about scientific experiments and experimental knowledge that were originally developed in physics and then adopted by other fields of science as well.

The experiments currently done in developmental biology do not fit the passive-contemplative picture of „experiments“, most authoritatively expressed by Pierre Duhem in 1906. According to him, an experiment is the precise observation of a group of phenomena, together with their interpretation. A much more accurate picture was suggested in the 1920s by Hugo Dingler, who considered experimentation as a technical practice for the production of a certain type of experience specific to modern science. Holm Tetens (1987) identifies the central methodological demand to be met by a (physical) experiment as *person-independent reproducibility*. This can be explained as follows. Experiments should always follow the same course if they start from the same explicitly defined conditions. Only if those conditions are *changed* should the results differ. All the features of the experimental setting that make an experiment reproducible can be called the „general conditions“ of an experiment (Tetens, 1987, 30). Such „general conditions“ do not usually exist in nature. The laboratory represents a practical *device* to achieve the required general conditions.

One of its essential features is *isolation*. A laboratory is designed to guarantee that the experimental setting can be isolated from other conditions that are also causally relevant to the course of the experiment, but that could not be controlled or held constant by the experimenters during the experiment, not least simply because they might be unknown (ibid., 31). In this view, the laboratory setting is itself an instrument to enable the collection of a special type of experience.

In such conditions, controlled causal analyses can be performed. A set of causally „relevant“ conditions – in our case, primarily DNA – is defined and its definition embodied in the experimental set-up. The definition means that other conditions falling outside the selected set are systematically put into the background. The laboratory is a facility

of systematic and intended, active isolation from such „other conditions“.

Therefore, the experience that occurs in labs must be somehow different from the experience that occurs in open natural contexts. Some parts of the natural context are reproduced in the lab, other parts are excluded.

The laboratory, therefore, should not only be seen as a place where natural phenomena are decontextualized but also as a place where they are again *recontextualized*, i.e. they are put into a new, artificial context (cf. Bonss et al., 1993). A major feature of these artificially created laboratory contexts is that isolation can be standardized. Standardization should guarantee interpersonal reproducibility. Labs represent standardized environments. In other words: labs are places that are construed so as to enact *place neutrality*. An experiment performed in a lab at the Biocenter in Basel should be reproducible in a lab at the Life Sciences Building of the University of California at Berkeley, and anywhere else in the world. Interpersonal reproducibility also implies *interlocal* reproducibility by defining standard environments.

This is not a negative characterization of laboratories as deficient places, but a positive one: Place neutrality characterizes labs as *special* places of experience. A laboratory where certain natural phenomena are relocated is not a defective place but a place with a different set of features than the place where the phenomena would be naturally implaced: standardization, control of outer influences on the phenomena under study and place neutrality. This enabled the collection of experiences needed for modern developmental genetics.

## V The place of research as a selective epistemological factor

The place where research is performed might have influenced the choice which view of DNA-organism-environment complexes was to be preferred. This claim might have some intuitive credibility at this stage of my argument. But how can this dependency between place and theory be understood, and how strong is it? The facts that (i) 20<sup>th</sup> century's developmental geneticists worked predominantly in laboratories and (ii) many of them for a long time favored the program theory of the genome are connected, but this does not need to be a connection in the sense of an

inference. The characteristics of the places of research, even if they differ so dramatically from the natural places of development, do not disqualify or dissolve the systemic theory. The lab does not render it impossible. The connection is rather probable on the level of heuristic factors that make certain ideas plausible at first sight, not on the level of possibilities or impossibilities.

I want to defend the following weaker claim: fact (i), that developmental geneticists worked predominantly in laboratories, made scientists *less resistant* to the program view of genes. The reasons why scientists (and the public perception of genetics, genes and genomes in Western countries) clearly tended towards the program theory are not rooted in the practical arrangement of the laboratory *per se* but in the metaphysical tradition, particularly in a dominant kind of Aristotelianism<sup>15</sup>, which believes development is steered from within by an immaterial, goal-directed entity. This idea – which was undoubtedly a powerful tool for the construction of plausible a priori (speculative) „explanations“ of the phenomena of regular organic development – created the *expectation* that DNA should also work in this way. This expectation however was already in place when DNA has been discovered; it had been created in cultural, philosophical and theoretical discourses, outside the laboratories. It was a cultural preponderance of ontological essentialism vs. ontological processualism. The discovery of DNA has been hailed as the scientific fulfillment of this Aristotelian belief.

„This wonderful man [Aristotle] discovered DNA“, wrote Max Delbrück in 1971.<sup>16</sup> The program view solved the problem of how the regularities of development, the structure-in-process of a living being can be imagined to be transmitted in singular germ cells from one generation to the next. August Weismann's *Keimplasma* contained what he called the *Id*, i.e. the architectural plan of the organism (Weismann, 1892, cf. Griesemer, 1996, Kay, 1997). Erwin Schrödinger used the same kind of Aristotelianism in 1944 when proposing his influential ideas of the role and structure of chromosomes, those subcellular particles which in his time were the successors to Weismann's germ cells as providers of form and structure:

„It is the chromosomes ... that contain in some kind of code-script the entire pattern of the individual's future development and of its functioning in the mature state. Every complete set of chromosomes contains the full code.“ (Schrödinger, 1944, 22)<sup>17</sup>

As long as genetics mainly had to deal with the phenomena of heredity and could neglect the mechanisms of how DNA actually performs its role in the process of development, the picture of a self-actualizing code-script providing the progeny with all the information needed for its development was a powerful *a priori* theoretical device. It generated the feeling that problems in development could in principle be solved without inferring immaterial (metaphysical) life forces or other magic notions, as in the vitalist tradition. It was all in the chromosomes. And chromosomes were essentially an „aperiodic crystal“, as Schrödinger suggested. All natural; absolutely amazing, but not magical. In brief: history was deeply biased towards the set of ideas we have called the program theory of the genome. These, in my view, are the reasons for fact (ii), that scientists favored – and some of them still favor – the program view of the gene.

The place where research is done has a selective role; it is the place where assumptions („pretexts“) from previous history must survive or be rejected. The laboratory, as a practical arrangement which involves its personnel in enactments of standardization of study conditions, isolation from all but the selected and controlled outer influences and place neutrality provided few reasons for resisting the idea of a self-actualizing code-script steering the whole process of development. There is an *analogy* between the scripts of laboratory practice and genetic scripts: Both assume that the important effects are brought about by simple mechanisms that need for their operation other things, factors or milieu as conditions. And the triumph to have the essential mechanism and DNA as its key constituent in our hands, re-placeable from one cell to another, from one organism to another without corroborating its power to control certain biochemical steps that are important for development, was not beatable by another view which made much less promises for the secrets of life being solved, the book of life opened etc., and which would have challenged the whole arrangement of the laboratory as being inherently reductionistic. Hence, the laboratory is a *permissive environment* for the program view.

One other element of it is that the genetic code-script also defines the selection of aspects of the environment that are developmentally relevant stimuli. The concepts of the reaction norm and of polyphenism turn the place where development proceeds into something like a standard environment: *only predetermined things count*. All other aspects of the

environment are not relevant factors in the mud of causal irrelevance. They are only „background environments“ (Cor van der Weele’s term, 1999, 115), necessary for successful development but not making a difference to phenotypic outcomes. The environment in the lab is placed in the background by the standardization practices, by experimental conditions, by excluding personal involvement (the feelings, the body) of the experimenter. The environment of the organisms studied in the lab is placed in the background by the idea of a genome in which all genetic information is already present and available within the cell nuclei. The environment is only necessary to actualize all this genetic information into material reality.

This mindset also had consequences for the conception of the internal environment of the DNA: the organism. The organism has been modeled in an instrumentalistic way: as a functional structure providing the means to the realization of prescriptions provided by DNA. The program view of the genome has its corresponding organism concept. This organism concept, on the other hand, was a key to the understanding of the human body and to the understanding of nature: The body is the organism we ourselves happen to be, and we take nature to be a sphere of other living beings. The choice, therefore had deep anthropological consequences and influenced the view of living nature in general.

If it is recognized that some environments are permissive to certain theories, particularly that the laboratory plays a role in the selection of general approaches to genetics, a space for considering more seriously the alternatives to the program view, which I have characterized rather boldly in this essay, might open.

It may however not make sense to ask for genetic research to be displaced away from the laboratories and into „free nature“ (also Systems Biology labs are laboratories), but it does make sense to look closely at the theoretical implications of the recontextualization of organisms in labs. Laboratory-born ideas cannot be projected back onto nature without being aware of the implications of the shift in places.

		program theory of DNA	systemic theory of DNA
(i)	Regularity is explained as the ...	realization of genetic information/implementation of predetermined sets of instructions.	„historical“ succession of complex constellations of causes.
(ii)	Causal order:	DNA needs other factors for its adequate expression.	All factors are necessary; DNA is not privileged as superior cause.
(iii)	Genetic information ...	preexists development.	is generated in developmental interactions.
(iv)	Microstructure, the „place“ of DNA-interactions ...	is subordinated, as one of the necessary conditions for gene expression.	matters per se, as one distinct kind of cause in developmental systems.
(v)	Environmental influences are described by a ...	norm of reaction/phenotypic plasticity.	correlatory function.

Tab. 1: Two contrasting views of genes and the genome-organism relationship

*Notes*

- 1 Although they do exist. See Holdrege (1999) for striking examples in plants.
- 2 The question discussed here would not have been posed this way without Christopher Preston's inspiring (2000) paper. For comments I thank Eva M. Neumann-Held, for language editing Jackie Leach Scully and Monica Buckland. Early stages of this work have been supported by grant F 42/95 „Genome and Organism“ of the Mensch-Gesellschaft-Umwelt Foundation (MGU) at the University of Basel, Switzerland.
- 3 This refers to Quine-Duhem's under-determination thesis. But whereas Quine looked at the effect of single contrary experiences on the re-evaluation of a scientific theory as a whole, I focus on a case where more than one interpretive pattern is available for integrating (the same) empirical evidence into understandable whole theories (cf. Quine, 1951, 296).
- 4 Keller (1995, 3) characterizes the position advocated by Müller as the „discourse of gene action“.
- 5 On the use of metaphors in developmental genetics see also Haraway, 1976; Oyama, 1985, ch. 5 and Hellsten, 2002, ch. 7.

- 6 This is analogous to the Aristotelian *to ti èn einai* (what it means to be this), which for Aristotle was the *ousia* (essence) present as the *eidos* (form, developing structure, idea) of living beings.
- 7 For more recent discussions see her collection of essays (Oyama, 2000) and Neumann-Held/Rehmann-Sutter (2006), Oyama/Griffiths/Gray (2001).
- 8 The emphasis is in the original. The next section will discuss the significance of the point emphasized at the end of the quote.
- 9 The comparison with history, however, has its limits. Developments in (political) history, for instance, are typically not predictable. For an elaboration of the developmental systems approach to a new theory of the gene („process molecular gene concept“) see Neumann-Held (1999 and 2006), Griffith/Neumann-Held (1999).
- 10 Neumann-Held (1999; cf. Griffith/Neumann-Held, 1999) understands the „multiple use“ phenomena as evidence for the adequacy of a new concept of the gene as a multifactorial *process* leading to one polypeptide: the „process molecular gene concept“. Fogle (2000) prefers a plurality of gene models for describing the many different kinds of transcription sites and points to „the inseparable intertwining of causation between the genotype and the biochemical phenotype“ (23).
- 11 For a survey see van der Weele (1999, 103–119); Gilbert (1997, ch. 21).
- 12 See the classical treatment of this difference in the legal context by H. L. A. Hart and Tony Honoré (1959). Cf. also Garfinkel (1981) and van der Weele (1999), ch. 3.
- 13 I differ here from van der Weele (1999), who does not attribute the norm of reaction to the program view of genes. Primarily interested in encouraging the study of environmental causes in ontogeny, she approaches the norm of reaction concept as a way of recognizing the importance of environmental causes: „I see the study of reaction norms as very useful in this era of genetic dominance“ (97). I prefer to analyze the multiple ways in which environmental causes can be combined with „genetic“ factors.
- 14 Andrew Pickering (1995) describes this practice of making things work, which is the performative side of science, as „mangle of practice“: „a dialectic of resistance and accommodation, where resistance denotes the failure to achieve an intended capture of agency in practice, and accommodation an active human strategy of response to resistance, which can include revisions to goals and intentions as well as to the material form of the machine in question and to the human frame of gestures and social relations that surround it“ (22).
- 15 For an alternative reading of Aristotle’s concept of *entelecheia* see Rehmann-Sutter (1996 and 2006).
- 16 Delbrück (1971, 51). More references in Rehmann-Sutter (1993/94).
- 17 Schrödinger attributed even more to the chromosomes: they are not only the governing code but also themselves the „executive power“ (cf. Keller 1995, 47).

*References*

- Bonss, Wolfgang; Hohlfeld, Rainer; Kollek, Regine (Hrsg.), 1993: *Wissenschaft als Kontext – Kontexte der Wissenschaft*. Hamburg: Junius.
- Delbrück, Max, 1971: Aristotle-totle-totle. In: Monod J.; Borek E. (Hrsg.): *Of Microbes and Life*. New York/London: Columbia Univ. Pr., S. 50–55.
- Fogle, Thomas, 2000: *The Dissolution of Protein Coding Genes in Molecular Biology*. In: Beurton, Peter; Falk, Raphael; Rheinberger, Hans-Jörg (Hrsg.): *The Concept of the Gene in Development and Evolution*. Cambridge: Cambridge Univ. Pr., S. 3–25.
- Garfinkel, Alan, 1981: *Forms of Explanation*. New Haven etc.: Yale Univ. Pr.
- Gilbert, Scott F., 1997: *Developmental Biology*. Sunderland: Sinauer, 5th ed.
- Gottlieb, Gilbert, 1992: *Individual Development and Evolution*. New York etc.: Oxford Univ. Pr.
- Griesemer, James R., 1994: *Tools for Talking. Human Nature, Weismannism, and the Interpretations of Genetic Information*. In: Cranor, Carl F. (Hrsg.): *Are Genes Us? The Social Consequences of the New Genetics*. New Brunswick: Rutgers Univ. Pr., S. 69–88.
- Griffith, Paul; Eva M. Neumann-Held, 1999: *The Many Faces of the Gene*. In: *BioScience* 49: S. 656–662.
- Halder, Georg; Callaerts, Patrick; Gehring, Walter J., 1995: *Induction of Ectopic Eyes by Targeted Expression of the Eyeless Gene in Drosophila*. In: *Science* 267: S. 1788–1792.
- Haraway, Donna J., 1976: *Crystals, Fabrics and Fields*. New Haven: Yale Univ. Pr.
- Hart, H.L.A.; Honoré, Tony, 1959: *Causation in the Law*. Oxford: Clarendon Pr. (2nd. ed. 1985).
- Heidelberger, Michael, 1998: *Erweiterung der Wirklichkeit im Experiment*. In: Heidelberger, Michael; Steinle, Friedrich (Hrsg.): *Experimental Essays – Versuche zum Experiment*. Baden-Baden: Nomos, S. 71–92.
- Hellsten, Iina, 2002: *The Politics of Metaphor. Biotechnology and Biodiversity in the Media*. Tampere: Tampere University Press.
- Holdrege, Craig, 1999: *Der vergessene Kontext. Entwurf einer ganzheitlichen Genetik*. Stuttgart: Verlag freies Geistesleben.

- Kay, Lily E., 1997: *Cybernetics, Information, Life. The Emergence of Scriptural Representations of Heredity*. In: *Configurations* 5, S. 23–91.
- Keller, Evelyn Fox, 1995: *Refiguring Life. Metaphors of Twentieth-Century Biology*. New York: Columbia Univ. Pr.
- Knorr Cetina, Karin, 1984: *Die Fabrikation von Erkenntnis. Zur Anthropologie der Naturwissenschaft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Miller, G. Tyler, 2002: *Living in the Environment. Principles, Connections and Solutions*. Belmont, Cal.: Wadsworth, 12th ed.
- Müller, Werner A., 1997: *Developmental Biology*. New York etc.: Springer.
- Nelkin, Dorothy; Lindee, M. Susan, 1995: *The DNA Mystique. The Gene as a Cultural Icon*. New York: Freeman.
- Neumann-Held, Eva M., 1999: *The Gene is Dead – Long Live the Gene! Conceptualizing Genes the Constructivist Way*. In: Koslowski, Peter (Hrsg.): *Sociobiology and Bioeconomics*. Berlin etc.: Springer , S. 105–137.
- Neumann-Held, Eva M., 2006: *Genes – Causes – Codes. Deciphering DNA's Ontological Privilege*. In: Neumann-Held, Eva M. and Rehmann-Sutter, Christoph (eds.): *Genes in Development. Re-reading the Molecular Paradigm*. Durham: Duke Univ. Pr., pp. 238–271.
- Oyama, Susan, 1985: *The Ontogeny of Information. Developmental Systems and Evolution*. Cambridge: Cambridge Univ. Pr. (2nd, exp. ed. Durham: Duke Univ. Pr. 2000).
- Oyama, Susan, 2000: *The Evolution's Eye. A Systems View of the Biology-Culture Divide*. Durham: Duke Univ. Pr.
- Oyama, Susan; Griffiths, Paul; Gray, R. D., 2001: *Cycles of Contingency*. Cambridge, MS: Duke Univ. Pr.
- Pickering, Andrew, 1995: *The Mangle of Practice. Time, Agency and Science*. Chicago/London: Univ. of Chicago Pr.
- Preston, Christopher J., 2000: *Environment and Belief: The Importance of Place in the Construction of Knowledge*. In: *Ethics and the Environment* 4, S. 211–218.
- Quine, Willard V., 1951: *From a Logical Point of View*. (Reprinted in Curd, Martin; Cover, J.A., 1998: *Philosophy of Science. The Central Issues*. New York/London: Norton, S. 280–301.)
- Raff, Rudolf A.; Kaufmann, Thomas C., 1983: *Embryos, Genes and Evolution*. New York/London: Macmillan.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 1993/94: *Was ist ein Lebewesen? Zur phi-*

- losophischen Herausforderung durch die Molekularbiologie. In: *Scheidewege* 23, S. 142–159.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 1996: *Leben beschreiben. Über Handlungszusammenhänge in der Biologie*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 2002: *Genetics, embodiment and identity*. In: Grunwald, Armin; Gutmann, Mathias; Neumann-Held, Eva M. (Hrsg.): *On Human Nature. Anthropology, Biological and Philosophical Foundations*. New York etc.: Springer, S. 23–50.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 2003a: *DNA – Organismen – Körper. Zur Mensch-Natur-Beziehung in der Molekularbiologie*. In: Maurer, Margarethe; Höll, Othmar (Hrsg.): *Natur als Politikum*. Wien: RLI Verlag, S. 231–259.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 2003b: *Körpernatur, Genom und genetische ‚Defekte‘*. In: Opitz Belakhal, Claudia; Stebler, Esther (Hrsg.): *Körperkonzepte*. Münster: Waxmann, S. 281–297.
- Rehmann-Sutter, Christoph, 2006: *Poiesis and Praxis. Two Modes of Understanding Development*. In: Neumann-Held, Eva M. and Rehmann-Sutter, Christoph (eds.): *Genes in Development. Re-reading the Molecular Paradigm*. Durham: Duke Univ. Pr., pp. 313–334.
- Rolston III, Holmes, 1999: *Genes, Genesis and God. Values and their Origins in Natural and Human History*. Cambridge, UK/New York: Cambridge Univ. Pr.
- Schrödinger, Erwin, 1944: *What is Life?* Cambridge, England: Cambridge Univ. Pr.
- Smith, John Maynard; Szathmáry, Eörs, 1999: *The Origins of Life. From the Birth of Life to the Origins of Language*. Oxford: Oxford Univ. Pr.
- Tetens, Holm, 1987: *Experimentelle Erfahrung. Eine wissenschaftstheoretische Studie über die Rolle des Experiments in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik*. Hamburg: Meiner.
- Van der Weele, Cor, 1999: *Images of Development. Environmental Causes in Ontogeny*. New York: SUNY Press.
- Waddington, Conrad, 1957: *The Strategy of the Genes. A Discussion of Some Aspects of Theoretical Biology*. London: Allen & Unwin.
- Weismann, August, 1892: *Das Keimplasma. Eine Theorie der Vererbung*. Jena: G. Fischer.
- Wigglesworth, V.B., 1964: *The Life of Insects*. London: Weidenfeld & Nicolson.

Kristian Köchy

## Lebewesen im Labor

### Das Experiment in der Biologie<sup>1</sup>

#### Zusammenfassung

Im Fokus dieser Untersuchung zum biologischen Labor steht die Analyse des Experiments. Durch konfrontative Gegenüberstellung der realen Forschungsbedingungen in den Lebenswissenschaften mit dem Idealkonzept vom Experiment – gekennzeichnet durch die sechs Vorannahmen der Separation, Manipulation, Kontrolle, Distanz, Wiederholbarkeit und Homogenität – wird die spezifische Ausgestaltung des biologischen Methodenarsenals deutlich. Diese ist auch als eine Reaktion auf die besonderen Forschungsbedingungen der Biologie zu interpretieren. In einem koevolutiven „trial and error“-Verfahren der Optimierung biologischer Laborhandlungen prägt sich bei aller Künstlichkeit auch eine „natürliche“ Vorgabe in den methodischen Vollzug ein. Dieses spezielle Verhältnis von „Natur“ und „Kunst“ kann in Analogie zu Merleau-Pontys Konzept des „Chiasmus“ interpretiert werden.

#### Abstract

This study of biological laboratory is focussed on the biological experiment. By confronting the real conditions of life science experiments with an ideal canon of experimental principles – which is constituted by the six preconceptions of separation, manipulation, control, distance, reproduction and homogeneity – the differences and specialities of biological experimentation are examined. This special constitution of biological experiments in the laboratory is a reaction of the special conditions of biological phenomena too. In a co-evolutionary process of trial-and-error improvement of laboratory actions not only technical points but also natural conditions are impressed on the methodical executions. This special relation between „nature“ and „art“ can be described in the terms of Merleau-Pontys „chiasm“.

## 1. Von der Wissenschaft im Kopf zur Wissenschaft im Labor

Klassische methodologische Rekonstruktionen von Wissenschaft sind zumeist durch eine gewisse Theorienzentriertheit gekennzeichnet. Entsprechend der Vorgabe des Logischen Empirismus, der auch Poppers Kritischer Rationalismus folgt, ist Wissenschaftstheorie vor allem Forschungslogik (Carnap, 1992, 90; Popper, 1994, 72 ff.). Analog zum klassischen Topos Hegels, Philosophie sei die Anstrengung des Begriffs, fordert man für Gegenstand, Methode und formale Gestalt einer wahrhaft wissenschaftsphilosophischen Untersuchung eine strikte Ausrichtung auf die Theorie: Mögliche Gegenstände der Wissenschaftsphilosophie sind dann Begriffe, Aussagen, Erklärungen oder Theorien der Wissenschaften. Es geht methodisch darum, die Geltung wissenschaftlicher Theorien, deren empirische Gültigkeit die Naturwissenschaften belegen, nach logischen und formalen Kriterien zu ergründen. Ziel des Verfahrens ist es, zu einer Theorie wissenschaftlicher Theorien zu gelangen. Im Vergleich zu den als Gegenstand gewählten Naturwissenschaften kann diese Form der Wissenschaftsphilosophie lediglich Interpretationen naturwissenschaftlicher Interpretationen der Natur liefern.

Die genannte Schwerpunktsetzung ist insofern sinnvoll als wissenschaftliche Theorien eine Transzendierung von Datenmengen darstellen und damit den Bereich des Umfassenden, Allgemeinen und Notwendigen repräsentieren, dem sich Wissenschaft per definitionem zu widmen hat (Hagner, Laubichler, 2006). Dennoch ist mit dem obigen Ansatz eine Einengung des Feldes wissenschaftsphilosophischer Aufmerksamkeit verbunden, die der Realität der modernen Erfahrungswissenschaften – vor allem der Naturwissenschaften und der technischen Disziplinen – nur bedingt gerecht wird. Insofern ist es nur folgerichtig, wenn die Philosophie der Wissenschaften in den letzten Dekaden eine umfassende Modifikation und Umstrukturierung ihres bisherigen Konzeptes erfahren hat. Während die klassische theorienzentrierte Wissenschaftsphilosophie Beobachtungssätzen einen unabhängigen Status gegenüber Theorien einräumte, da sie als verifizierende oder falsifizierende Einheiten fungierten, wurde zunächst unter dem Leitgedanken der theoriengeladenen Beobachtung deutlich, daß die Beobachtung selbst erst im Kontext von Theorien Gestalt annimmt und von theoretischen Vorannahmen infiltriert ist. Als nächstes wurde im Zuge des *practical turns* anerkannt

(Cartwright, 1983; Hacking, 1996), daß naturwissenschaftliche Beobachtung keinesfalls den Status einer passiven und distanzierten Schau besitzt, sondern sich zumeist als technisch-experimentelles Handeln vollzieht. In Abkehr vom allzu grobmaschigen Verständnis der Theoriegeladenheit erlangte so die Sphäre der Beobachtung – nun allerdings als technische Gestaltung – neue eigenständige Bedeutung. Auf der Suche nach Verbindungen im komplexen Netz von Praxis und Theorie wurde schließlich die wissenschaftsphilosophische Aufmerksamkeit nicht nur auf methodologische Elemente von unterschiedlichem Formalisierungsgrad gelenkt, sondern es wurden vor allem auch Modelle als mögliche Vermittlungsinstanzen diskutiert. In diesem Kontext ist ein *iconic turn* (Majetschak, 2002) der Wissenschaftsforschung zu verzeichnen, in dessen Zusammenhang Kuhns Votum, die Herstellung von Bildern gehöre lediglich zum Nebengeschäft der Wissenschaftler (Kuhn, 1977, 448), nicht mehr sachgerecht erscheint.

Mit Experimenten, Instrumenten, Protokollen, Modellen, Bildern, Fotografien, Grafiken, Simulationen usw. sind dann die Ausstattungselemente und methodologischen Substrukturen eines komplexen Feldes beschrieben, das man den *Kontext des Labors* nennen könnte. Dieser Kontext des Labors umfaßt die naturwissenschaftlichen „Forschungsobjekte“ und deren technisch-experimentelle Untersuchung, Gestaltung und Darstellung in speziellen instrumentellen und institutionellen Arrangements. Er greift jedoch auch auf soziologische Aspekte der Methodologie über, die unterschiedlich weit gefaßt sein können, wie es die mikro- und makrokontextualistischen Programme von Woolgar und Latour (1979), Holmes (1985), Pickering (1984), Galison (1987), Lenoir (1992) und anderen deutlich machen. In den Kontext des Labors gehören aber auch methodologische Sonderformen, wie sie etwa durch die speziellen Untersuchungsgegenstände der Biowissenschaften gegeben sind. Diese erscheinen zwar unter lebensweltlichen Gesichtspunkten – mit den Worten des Aristoteles als das für uns Erste – als Lebewesen im Freiland. Für die moderne Biologie und Medizin ist diese Freilandsituation jedoch in großem Umfang durch das Labor ersetzt (Cunnigham, Williams, 1992). In ihm werden Labortiere und Modellorganismen – als Biofakte (Karafyllis, 2003) – unter besonderen Hälterungsbedingungen gezüchtet, verändert und aufgezogen, sie werden in Laborarrangements untersucht, zerteilt, fraktioniert und in technischen Settings untersucht (Knorr-Cetina, 2002, 56 ff.).

Diese Sphäre der Modellorganismen und ihre Laborumwelt (Lederman, Burian, 1993; Kohler, 1994; Brookes, 2002) besitzt nochmals eine eigenständige methodologische Dignität. Das Labor als Gesamtheit soziologischer, theoretischer, anschaulicher, praktischer und gegenständlicher Elemente der modernen Naturwissenschaften stellt jene Einheit dar, der sich eine heutige Wissenschaftsforschung zu widmen hat, wenn sie ein adäquates Bild dieser naturwissenschaftlich-technischen Erfahrungswissenschaften zeichnen möchte. Zugleich ist der Kontext des Labors jedoch derjenige Bereich, der noch am wenigsten einer systematischen wissenschaftsphilosophischen Untersuchung unterzogen wurde.

Wenn der methodologische Blick in dem angedeuteten Sinn erweitert wird und man etwa nach der Bedeutung von „Experimentalsystemen“ fragt, wie es Rheinberger und Hagner (1997) tun, dann wird man zudem feststellen, daß die adäquate Analyse eine bereichswissenschaftliche Differenzierung erforderlich macht. Statt einer universalen Theorie von Wissenschaft *überhaupt* oder auch nur einer vergleichbaren Konzeption für alle *Naturwissenschaften* ist eine differenzierte und abgewogene Betrachtung und Deutung der Besonderheiten der einzelnen Fachwissenschaften gefordert. Auch wenn damit die prinzipielle Ausrichtung der Philosophie auf allgemeingültige und grundsätzliche Aussagen in gewissen Hinsichten abgeschwächt wird, so gewinnt man doch auf der anderen Seite an Relevanz der philosophischen Bestimmung. Es besteht dann die begründete Hoffnung, daß eine solchermaßen konkretisierte wissenschaftsphilosophische Bemühung nicht weiter durch die gegenseitige Nichtbeachtung von Fachwissenschaft und Philosophie bestimmt wird.

Auf dem Weg zur differenzierten Bestandsaufnahme des Kontextes des Labors macht es wegen der aufgezeigten Fülle unterschiedlicher Elemente Sinn, sich zunächst auf einzelne Aspekte des umfassenden Laborgeschehens zu konzentrieren, um dann sukzessive die Verbindungen zwischen den diversen methodologischen Binnenbereichen zu rekonstruieren und so den Rahmen für zukünftige Detailuntersuchungen abzustecken. Im Fokus der nachfolgenden Untersuchung steht das Experiment in den Biowissenschaften (vgl. auch Lange, 1999; Graßhoff et al., 2000; Rheinberger, 2001; Weber, 2005). Ich werde diesen Teil des Laborkontextes durch konfrontative Gegenüberstellung des gängigen Idealkonzepts vom Experiment (etwa extrahierbar aus den Darstellungen in Duhem, 1978, 188 ff., 238 ff.; Mach, 2002, 180 ff.; Popper, 1994, 71 ff.; Hacking, 1996,

249 ff.; Gooding, 1990) mit den realen Bedingungen biologischer Laborforschung näher bestimmen. Dazu werde ich von einem Set von sechs Vorannahmen im Idealkonzept vom Experiment ausgehen (Abschnitt 2), die dann hinsichtlich ihrer Relevanz und Realisierbarkeit in der biologischen Laborforschung analysiert werden (Abschnitt 3). Zugleich bietet diese Analyse einen spezifischen Ansatz zur Beantwortung der Leitfrage des vorliegenden Themenschwerpunktes nach dem Verhältnis von Labor und Natur, denn die aufzuzeigende besondere Ausgestaltung des Experiments in der Biologie stellt auch eine Reaktion auf die besonderen Bedingungen des untersuchten biologischen Phänomenbereichs dar (Abschnitt 4). Das methodische Handeln der Biowissenschaftler im Experiment ist damit das Resultat einer steten Auseinandersetzung mit den Gegebenheiten und Widerständen biologischer Phänomene (Knorr-Cetina, 2002, 132 f.). Während auf der einen Seite solche Phänomene mit dem Status von „Forschungsobjekten“ der Biologie im Experiment allererst hergestellt werden, ist auf der anderen Seite die Art der erfolgreich eingesetzten Experimente das Ergebnis einer Konfrontation mit den spezifischen Bedingungen des biologischen Gegenstandsfeldes. In dieser Hinsicht kann man von einer „Koevolution“ zwischen biologischer Methode und biologischem Phänomenbereich sprechen, die eine komplexe Dialektik zwischen „Entdecken“ und „Erfinden“ offenbart (Köchy 2003).

Im Folgenden wird jedoch weder eine methodologische Feinanalyse von einzelnen Experimentalanordnungen und Experimentalkontexten vorgelegt, noch geht es primär um die wissenschaftshistorische Frage nach deren Genese oder die wissenschaftssoziologische Frage nach den sozialen Bedingungen und Folgen ihrer Implementierung. Vielmehr geht es zunächst um die grundsätzliche Dimension der Bedingungen der Möglichkeit experimentellen Handelns in den Laboren der Lebenswissenschaften. Um diese Grundlagenreflexion dennoch mit dem gesetzten Ziel einer differenzierten Analyse der Fachwissenschaft und ihrer Binnendisziplinen in Einklang zu bringen – und gerade in den Lebenswissenschaften ist die Existenz einer Vielfalt von Binnendisziplinen offensichtlich, sie ist methodologisch bedeutsam, darf also nicht vernachlässigt werden –, werden die nachfolgenden Reflexionen möglichst eng an die Befunde und Verfahren der einzelnen Subdisziplinen rückgebunden.

Es bleibt abschließend zu betonen, daß das gewählte Verfahren durch Überhöhung von Unterschieden gekennzeichnet ist. Es setzt pointiert auf

Differenzen, während mögliche Gemeinsamkeiten zunächst ausgeklammert werden und versteht sich bewußt als Gegenpol (und Ergänzung) zu einheitswissenschaftlichen Ansätzen. Um dennoch die Bedingungen der Biowissenschaften durch dieses Verfahren nicht zur Karikatur verkommen zu lassen, ist schon hier hervorzuheben, daß die Biologie gerade in ihren derzeit führenden Disziplinensträngen (Neurobiologie, Bioinformatik oder Biotechnologie) unbezweifelbar als experimentell-technische Laborwissenschaft erkennbar ist, die sich zunehmend durch Anwendungsorientiertheit ihrer Forschung auszeichnet.

## 2. Das Idealkonzept von Experiment

Das Idealkonzept von Experiment geht etwa von folgender Bestimmung aus: Ein Experiment ist ein zumeist apparativ vermittelter künstlicher Eingriff in bestimmte Naturprozesse, der die Funktion hat, durch gezielte Eingrenzung herrschender Randbedingungen auf eine überschaubare und kontrollierbare Anzahl und durch künstliche Variation dieser Randbedingungen die komplexe natürliche Situation so zu vereinfachen und zu manipulieren, daß die funktionellen Verknüpfungen der Einzelfaktoren erkennbar, theoretisch erklärbar, praktisch nachvollziehbar und technisch nutzbar werden. Das Experiment dient nach diesem Idealkonzept zudem erstens der kritischen Prüfung theoretischer Entwürfe, zweitens der künstlichen Isolation einzelner Naturfaktoren, drittens der Reproduzierbarkeit spezifischer Abläufe und Effekte sowie viertens der Manipulation und Beherrschung von Naturprozessen. Dabei unterscheidet es sich von „bloßer“ Beobachtung durch seine invasive Tendenz und durch die Kontrolle, die der Experimentator im Experiment über den Gegenstand und dessen Umgebung gewinnt. In dieses Idealbild ist eine Reihe von Vorannahmen eingeflossen, die sowohl den epistemischen Status des Experiments als auch den ontologischen Status des experimentell Untersuchten betreffen. Das Amalgam dieser de facto eng miteinander verschmolzenen Vorannahmen läßt sich in sechs getrennte Einzelaspekte aufgliedern:

1) Der *Vorannahme der Separation* liegt die Vorstellung zugrunde, es sei ohne Informationseinbuße möglich, eine komplexe natürliche Situation im Labor zu untergliedern und die einzelnen Elemente und Funktionen zu entkoppeln. Das Experiment folgt damit dem reduktionisti-

schen Ideal und der analytischen Methode. Man sucht eine komplexe Situation durch Eingrenzung der Randbedingungen zu vereinfachen. Es wird weiter angenommen, daß die Reaktion der Teilsysteme in der „künstlich“ isolierten und vereinfachten Situation Aussagen über deren Reaktion im ursprünglichen „natürlichen“ komplexen Zusammenhang erlaubt. Dieses muß zumindest dann unterstellt werden, wenn nicht primär die Manipulation und Konstruktion von Objekten im Sinne technischer Gestaltung, sondern auch die naturwissenschaftliche Erklärung und Deutung von „Natur“ mittels des Experimentes für möglich erachtet wird.

2) Die *Vorannahme der Manipulation* besagt, eine künstlich-experimentelle Manipulation von Natur im Labor sei möglich und im naturwissenschaftlichen Kontext fruchtbar einsetzbar. Das Experiment muß dabei auch die Forderung nach Bedingungsvariation erfüllen. Der Experimentator hat die Aufgabe, die Bedingungen unter denen das zu untersuchende Phänomen steht, künstlich zu modifizieren und zu variieren, um so die Gesetzmäßigkeiten und Regularitäten der Beziehungen zwischen den einzelnen Komponenten des komplexen Geschehens zu erforschen. Die Variation der experimentellen Bedingungen und Abläufe bedeutet zugleich den Versuch, das gleiche Phänomen unter neuen Bedingungen zu erzeugen und es so zu „stabilisieren“.

3) Die *Vorannahme der möglichen Kontrolle* ist eng mit der der Manipulation verbunden. Ihr liegt die Vorstellung zugrunde, das experimentell-wissenschaftliche Vorgehen repräsentiere eine Form durchweg rationalisierten, methodisch und systematisch geleiteten Handelns. Die experimentellen Handlungsmuster sind damit spezifischer Ausdruck der wissenschaftlichen Rationalität und folgen einer bestimmten Handlungsordnung entsprechend vorgegebener Zwecksetzungen. Kontrolle meint in diesem ersten Sinn den kontrollierten, systematischen Ablauf eines methodischen Verfahrens. Das geglückte Experiment ist dann Ausdruck einer gelungenen Kontrolle über die Naturphänomene durch den Experimentator und Beweis für die Richtigkeit wissenschaftlichen Denkens. Kontrolle in diesem zweiten Sinne bezieht sich auf den Gegenstand der wissenschaftlichen Untersuchung und dessen Verhältnis zur Umgebung. Ein Aspekt dieser Kontrolle ist auch die Herstellung einer künstlichen, vereinfachten und kontrollierten Umgebung im Labor. Zwischen diesen beiden Aspekten der Kontrolle, derjenigen der eigenen Handlungen und derjenigen über den Gegenstand, ist zu differenzieren. Dennoch

ist eine Beziehung zwischen der kontrollierten methodischen Handlung einerseits und der mittels dieser Handlung kontrollierten Objekte andererseits ebenso unleugbar: Die Möglichkeit, mittels systematischem und experimentellem Vorgehen, gezielt bestimmte Effekte zu erzeugen, impliziert dann gerade die Möglichkeit von Kontrolle über den Gegenstandsbereich und verweist zudem nach Meinung einiger Interpreten auf die Existenz eines grundsätzlich geordneten und regelmäßigen Kausalgeschehens in der Natur. Mit der praktischen Kontrolle ist dann auch eine erhöhte Prognosekompetenz der Theorie verbunden.

4) Die *Vorannahme der notwendigen Distanz* bringt einen besonderen Aspekt der Separation zum Ausdruck und besteht in der Forderung, daß die genannte Trennung auch zwischen dem Experimentator und seinem Gegenstand vorzuliegen hat. Wie das gesamte klassische Konzept von Naturwissenschaft durch die Maxime einer Distanzierung und Objektivierung geprägt ist, so steht auch der aktive, experimentelle Eingriff in den Naturvollzug unter dem *prima facie* kontraintuitiven Primat der Distanz zwischen Natur und Mensch, Forschungsgegenstand und Forscher. Gerade die einzuhaltende Distanz ist es, die allererst die Ausübung von Macht gegenüber der Natur erlaubt. In dieser Hinsicht erweist sich die Distanz als Form der Autorität und Priorität. Die Einstellung und Vorlieben des Experimentators – als subjektive und private Momente – werden deshalb nicht zu den das Experiment bestimmenden Variablen gerechnet. Die wissenschaftliche Intention ist es vielmehr, solche subjektiven Faktoren entweder auszuschalten oder aber möglichst zu Konstanten des Forschungsvollzugs umzugestalten. Dieses äußert sich darin, daß vom Forscher eine bestimmte wissenschaftlich-nüchterne und in dieser Hinsicht „objektive“ Einstellung gefordert ist, eine analytische und distanzierte Beobachterhaltung, die im Experiment nicht durch andere private Interessen überlagert werden darf. In diesem Sinne ist der Experimentator zwar gemeinsam mit seinem Untersuchungsobjekt im Labor, darf aber im Stadium der Datenaufnahme in das Experiment nicht eingreifen, respektive sollten alle notwendigen Eingriffe wieder regelgeleitet erfolgen.

5) Die *Vorannahme der Wiederholbarkeit*: Sowohl wegen der theoretischen Forderung nach Allgemeingültigkeit, intersubjektiver Mitteilbarkeit und Objektivität von wissenschaftlichen Aussagen und Theorien als auch wegen der praktischen Forderung nach Reproduzierbarkeit, technischer Nutzbarkeit und Prognosesicherheit ist das Idealbild vom Expe-

riment auf Bedingungskonstanz hin angelegt und mit der Annahme einer prinzipiell unbegrenzten Wiederholbarkeit des Versuchsdurchgangs verbunden. Der im Experiment erzielte Effekt gilt als in Versuchsreihen reproduzierbar, wenn durch Standardisierung die Rahmenbedingungen der Einzelversuche beibehalten werden. Experimentell belangvolle Effekte sind deshalb regelmäßige und typische Effekte. Dabei wird diese Forderung zumeist nicht in strenger Weise so ausgelegt, daß die individuellen Bedingungen dieses einen Experiments exakt reproduzierbar sein müssen, sondern vielmehr wird eine Übertragung vorgenommen, so daß im Sinne des wissenschaftlichen Allgemeinheitsanspruchs das Experiment auch an anderen Orten, zu anderen Zeiten und von anderen Experimentatoren als wiederholbar gilt.

6) Die *Vorannahme der Homogenität*: Die letzte Überlegung zeigt, daß die Wiederholbarkeit implizit oder explizit auf der Annahme einer Regelmäßigkeit oder Homogenität des Naturgeschehens basiert. Diese Homogenität ebnet alle Besonderheiten und individuellen Wesenszüge der Naturglieder ein oder überführt die regellose und vielfältige Natursituation in eine regelhafte und einfache Laborsituation. Bei der Forderung nach Wiederholbarkeit wird davon ausgegangen, daß a) unabhängig von möglichen Besonderheiten der gleiche Teilprozeß an einem anderen Ort und zu einer anderen Zeit in vergleichbarer Weise und mit vergleichbarem Resultat einem experimentellen Eingriff unterworfen werden kann oder aber, daß b) ein vergleichbarer Teilprozeß diesem Experiment mit vergleichbarem Ergebnis unterworfen werden kann. Wird der Versuch im Labor als aussagekräftig für die Situation in der Natur angesehen, dann muß die postulierte Regularität und Homogenität auch in der Natur vorliegen. Diese Homogenität wird dann entweder als natürliche Vorgabe gedacht (im Sinne einer verborgenen und durch das Experiment erst entdeckten Gesetzmäßigkeit und Einfachheit der Natur) oder aber sie gilt als durch das Experiment künstlich erzeugter Effekt (im Sinne einer Umgestaltung von der freien und ungebundenen Natur (*naturae liberae ac solutae*) in die gebundene und bezwungene Natur (*naturae constrictae et vexatae*) (Bacon, 1999, 55).

### 3. Das Experiment in der Biologie

Ein Blick auf die tatsächlichen Forschungsbedingungen in den biologischen Einzelwissenschaften zeigt zunächst, daß Labor und Experiment eine wichtige Rolle in nahezu allen Teildisziplinen spielen und den täglichen Arbeitsalltag des Biologen, der Biologin ebenso bestimmen wie etwa die Ausbildungssituation von Studierenden. Fokussiert man im obigen Sinne das wissenschaftsphilosophische Erkenntnisinteresse auf die Spezifität der Lebenswissenschaften, dann werden jedoch Aspekte deutlich, die zu Abstrichen, Modifikationen oder Neuformulierungen des obigen Idealkonzepts von Experiment Anlaß geben:

#### *Die Vorannahme der Separation*

Gesteht man beispielsweise im Sinne der modernen systemtheoretischen Überlegungen zu, daß Biosysteme komplexe „Ganzheiten“ mit extremer interner „Wechselwirkung“ der Teilsysteme und Teilfunktionen sind, deren Systemganzheit spezifische unreduzierbare Systemgesetze (constitutive characteristics) (Bertalanffy, 1970, 18; Hassenstein, 1972) kennzeichnen, dann wird die Einlösung der Separation aus mehreren Gründen problematisch. Eine folgenlose Abtrennung und isolierte Betrachtung einzelner Parameter sowie deren Neukombination findet in diesem Fall in engen Grenzen statt, denn die Loslösung von Teilstrukturen und -funktionen aus dem Systemganzen ist stets mit der Gefahr einer Veränderung nicht nur des Ganzen, sondern auch des isolierten Teils verbunden. Das bedeutet nicht, daß eine solche Trennung und Neukombination grundsätzlich ausgeschlossen wäre oder gar keinerlei neue Einsichten über die Interaktion von Teilsystemen vermitteln könnte. Im Gegenteil: die Isolation von Parametern, die Setzung künstlicher Defekte, die Hinzufügung neuer Elemente oder der Austausch von Systemteilen gehören zum gängigen Methodenarsenal der Biologie von der Molekulargenetik über die experimentelle Entwicklungsforschung bis hin zur Physiologie oder – als Experiment im Freiland – der Ökologie. Es ist jedoch stets zu berücksichtigen, daß die experimentelle Separation im Labor zu gravierenden Änderungen der biologischen Ausgangssituation führen kann. Die Frage, welche Parameter künstlich vernachlässigt oder ausgeschaltet werden können, ist in der Biologie deshalb nicht stereotyp zu beantworten. Rosenberg (1985, 27) betont aus diesem Grund, die Bedenken gegenüber der Relevanz von Laborverfahren für die natür-

liche Situation beruhten in der Biologie darauf, daß die Unkenntnis „of the degree to which these experiments isolate relevant variables and are closed to interfering forces“ deutlich größer sei als in anderen Naturwissenschaften.

Wenn unter technischen Maßgaben lediglich die zweckgerichtete Herstellung einer artifiziellen Situation gefordert ist, dann kann man diese Sachlage solange außer Acht lassen, wie es gelingt, dieses Ziel zu erreichen. Will man etwa die Stoffwechselvorgänge von Mikroorganismen technisch nutzen, um bestimmte Pharmaka herzustellen, dann reicht es aus, daß die eingesetzten Mikroorganismen entweder überhaupt über die Fähigkeit verfügen, die gesuchten Stoffe herzustellen oder daß sich solche Fähigkeiten durch künstliche Manipulation der Stoffwechselwege der Mikroorganismen erzeugen lassen (Aharonowitz, Cohen, 1984). Die Grenze der vorgenommenen Separation und Manipulation ergibt sich dann lediglich aus den notwendigen Voraussetzungen für die Weiterexistenz des eingesetzten „Biosystems“, ohne die auch die Stoffproduktion unterbliebe oder die Überführung der Produktion in Kontexte, die völlig unabhängig von der Existenz von Organismen sind. Soll jedoch über die Minimalbedingung technischer Produktion hinaus eine Einsicht in die Bedingungen des Stoffwechsels von Mikroorganismen gewonnen werden, dann ist dieses bei prinzipieller Änderung der Ausgangslage durch das Experiment allerdings nicht zu erreichen. Im genannten Fall der Stoffwechselwege von Mikroorganismen wird man etwa zu fragen haben, welche Mechanismen diesen Lebewesen unter bestimmten ökologischen Bedingungen biologisch zur Verfügung stehen, unter welchen Umweltbedingungen und in welchen Lebensphasen der Organismen welche Stoffwechselwege zum Einsatz kommen oder wie weit diese biologischen Mechanismen durch künstliche Eingriffe veränderbar sind, ohne daß die Organismen sterben – wie groß also deren biologische Variabilität und Anpassungsfähigkeit ist. Unter dem Aspekt der Separierbarkeit – aber auch unter den Aspekten der Manipulation oder der Homogenität – kann sich dann eine vereinfachende Untersuchungssituation im Labor als nicht mehr aussagekräftig für die Freilandsituation erweisen. Wieder kann dieses sowohl unter rein wissenschaftlichen als auch unter technisch-industriellen Hinsichten bedeutsam werden. Will man etwa die Abbaufähigkeiten nutzen, die einige Mikroorganismen gegenüber Kohlenwasserstoffen besitzen, um dadurch Altlasten im Boden zu beseitigen, dann kann man versuchen, mittels experimenteller Manipulation

künstliche Mikroorganismen als Abbauperten im Labor zu erzeugen. Solche manipulierten Organismen weisen jedoch möglicherweise nur in der besonderen Situation des Labors hohe Abbauraten auf, während sie in der natürlichen Situation des mit Altlasten verunreinigten Bodens auf ein – über menschlich industrielle Eingriffe erzeugtes – Ökosystem stoßen, in dem sie gegenüber der mikroorganismischen Konkurrenz vor Ort keine Überlebenschance mehr besitzen (Hoffmann, Viedt, 1998, 72 ff.). So ist natürlich allgemein auch in der Ökologie – und in anderen Freilandforschungen – die Möglichkeit einer Isolation von Parametern in Form von Präferenda- und Toleranzversuchen gegeben (Tischler, 1993, 18) – ähnlich wie auch Isolationsexperimente im Freiland durchgeführt werden können, etwa Wachstumsversuche bei Pflanzen. Dennoch ist es bezeichnend, wenn Fachvertreter der Ökologie betonen, es komme in der Ökologie im Gegensatz etwa zur Physiologie nicht so sehr auf die quantitative Erfassung jeder Veränderung an, sondern vielmehr auf das Herausarbeiten einer „Gesamtrendenz“. Dies sei „weniger in größtmöglicher Genauigkeit“ eines Einzelversuchs als vielmehr durch große „Vielfalt von Versuchen“ zu erreichen (Tischler, a.a.O.).

Die Frage nach dem Einsatz von Experimenten unter dem Gesichtspunkt einer Analyse und Separation gehört aus den genannten Gründen zu den zentralen Streitpunkten, die im Zuge der Ausbildung der heutigen Methodologie im Verlauf der Geschichte der Biologie immer wieder neu aufbrachen. So wurde etwa in der konstituierenden Phase der Biologie (Jahn, 1990, 298; Kanz, 2000; Kanz, 2002) zu Ende des 18. Jahrhunderts vor allem unter dem Gesichtspunkt der organischen Ganzheit Kritik am Einsatz des analytischen Verfahrens und des Experiments geübt (Köchy, 1997).

#### *Die Vorannahme der Manipulation*

Die Grenzen der Vorannahme der Manipulation werden erkennbar, wenn man für den Bereich lebendiger Bildungen eine selbstorganisierende oder gar intentionale Kapazität konstatiert, wie es in verschiedenen aktuellen Theorien unter Rückgriff auf die Konzepte der Selbstorganisation, Selbstreferentialität oder Autopoiese geschieht (Roth, 1986, 152 ff.; Fischer, 1993, 18 ff.; Mocek, 1996; Maturana, 1998, 26 ff.). Die Theorie der Selbstorganisation natürlicher Systeme geht dabei letztlich über genuin biologische Phänomene hinaus und wurde an unterschiedlichen paradigmatischen Modellen entwickelt. Das Spektrum der Ansätze

reicht von der physikalischen Sphäre (etwa Hakens Synergetik, deren Paradigma die Organisation des Laserlichts ist), über die physikochemische Sphäre (Prigogines Ordnung durch Fluktuationen, deren Paradigma die Autokatalyse chemischer Reaktionen ist), die biochemische Sphäre (Eigens Hyperzyklus, deren Paradigma die präbiotische Evolution im Form zyklischer Autokatalyse ist) bis hin zur genuin biologischen oder gar psychologischen Sphäre (Maturanas und Varelas Autopoiese, deren Paradigma die operationale Geschlossenheit des Sinnessystems Auge ist).

Charakteristisch für die selbstorganisierenden Eigenschaften von Lebewesen (Roth, 1986) ist dann etwa, daß Lebewesen aufgrund ihrer Plastizität und Regenerationsfähigkeit in der Lage sind, auf künstliche Störungen und Manipulationen ihres Systemgefüges mit der Reetablierung der vorherigen Organisation zu reagieren. Die Störung wird in diesem Fall gemäß den Binnenbedingungen des Lebewesens beantwortet und wenn möglich kompensiert. In diesem Sinne sind Organismen autonome Einheiten, da sie befähigt sind, ihre Gesetzmäßigkeiten oder das ihnen Eigene zu spezifizieren (Maturana, Varela, 1991, 55). Hans Jonas hat dieses Argument auf die Gentechnologie angewandt. Das Ausmaß des „Herstellens“ ist nach ihm in der Gentechnik im Gegensatz zur üblichen Ingenieurstechnik stark eingeschränkt. Es gehe hier stets nur um „Abwandlung“ bestehender Organisation, welche unter der Bedingung weiterer Lebensfähigkeit nicht unumschränkt möglich sei (Jonas, 1987, 163 f.). Eine weniger technisch-praktische, sondern eher moralisch-praktische Grenze für die experimentelle Manipulation entsteht darüber hinaus durch die „Unumkehrbarkeit“ organischer Prozesse, was mögliche Eingriffe wesentlich folgenreicher und in ihren Konsequenzen nicht mehr zurücknehmbar gestaltet.

So schlägt die experimentelle Situation auch dann prinzipiell um, wenn der manipulative Eingriff ein bestimmtes Ausmaß überschreitet oder essentielle Funktionen betrifft, so daß in der Folge die künstliche Störung nicht mehr nach den Binnenvorgaben behoben werden kann, sondern destruktiv wirkt. Maturana und Varela (1984, 108) unterscheiden aus diesem Grund „Zustandsänderungen“ als solchen Strukturänderungen, die ein Lebewesen ohne Veränderung seiner Organisation toleriert, von „destruktiven Veränderungen“, die zum Verlust der Organisation einer Einheit führen. Im extremen Fall – wenn auch unerwünscht, da es zumeist um die experimentelle Untersuchung lebendiger Funktionen

geht – kann der experimentelle Eingriff zur Abänderung des natürlichen Geschehens in einem Grad führen, der als Verlust des „Lebens“ – als „Tod“ – zu bezeichnen ist. Für diese Situation gibt es in anderen Naturwissenschaften nichts Vergleichbares. Zu diesem Punkt verweist etwa Elsasser in seinem Buch *Atom and Organism* (1966, 30) auf die Überlegungen Bohrs:

„According to Bohr we must limit our measurements on a highly complex system such as one which we consider empirically to be alive. If we did not so limit the measurements we would kill the organism.“

Die Konsequenz beschränkt sich übrigens nicht auf die experimentellen Laborverfahren, sondern sie betrifft auch eine ganze Reihe bloß darstellender Verfahren. Auch dieses Faktum belegt, daß die Kennzeichnung „invasiv“ keinesfalls zur vollständigen Disjunktion von experimentellen und darstellenden Verfahren geeignet ist. Wie schon Ludwik Flecks Untersuchungen zur Mikroskopie deutlich machten (Fleck, 1983, 65 ff.; vgl. auch die Überlegungen von Schäfer in diesem Band), sind auch darstellende Laborverfahren invasiv und konstruktiv. So funktionieren etwa viele klassische histologische und zytologische Techniken und Methoden nur mittels künstlicher Separation bestimmter Subsysteme des Lebewesens, welche dann über spezifische Verfahren chemisch fixiert, gefärbt und mittels optischer Instrumente untersucht werden. Beispielsweise geht die in ihrer Bedeutung für die biologische Feinstrukturforschung klassisch gewordene Elektronenmikroskopie aus apparativen und präparativen Gründen mit einer Veränderung der zu untersuchenden biologischen Phänomene einher, die den Verlust des Lebens bedeuten. Daß echte Vitalbeobachtungen im Elektronenmikroskop ausgeschlossen sind, stellt aber nicht nur „ein schwerwiegendes Hemmnis“ (Sitte, 1973, 14) der Forschung dar, sondern es muß unter metatheoretischen Aspekten als grundlegendes Paradoxon der Lebenswissenschaften angesehen werden, was vor allem von Kritikern hervorgehoben wird (Chargaff, 1981, 18). Neuere Techniken – wie die über Konfokalmikroskopie sichtbar gemachte Fluoreszenzfärbung lebender Zellen oder die ESEM-Methode (environmental scanning electron microscope) – ermöglichen allerdings die Beobachtung, Manipulation und Exploration von Strukturen und Funktionen in lebenden Systemen im Labor, so daß die Einwirkung experimentell verabreichter Reiz- oder Pharmakagaben auf submikroskopischem Niveau „live“ verfolgt werden kann.

*Die Vorannahme der Kontrolle*

Die der Vorannahme möglicher Kontrolle zugrunde liegenden Idealisierungen und die Differenzen zur realen Situation der biologischen Laborforschung werden deutlich, wenn man erneut die Komplexität biologischer Systeme, die „Wechselwirkung“ von Subsystemen in ihnen, die zusätzlichen Wechselwirkungen mit der Umwelt, die innere Dynamik von Lebewesen, die Binnenbestimmtheit von Änderungen und andere Eigenschaften lebendiger Systeme berücksichtigt. In all diesen Fällen ist die Rede von Kontrolle im experimentellen Eingriff deutlich einzuschränken. Hinzu kommt, daß in biologischen Vorgängen eine besondere „Pluralität“ im Spiel ist, die sich u. a. darin zeigt, daß biologische Reaktionen selten eindeutige Antworten auf einen einzelnen äußeren Faktor darstellen, sondern stets als kombinierte und vielfältige Antworten auf mehrere Faktoren anzusehen sind. Schon Schopenhauer hatte in seiner Doktorarbeit *Über die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde* auf diese Tatsache reagiert, indem er für den Werdegrund zwischen „Ursache“, „Reiz“ und „Motiv“ unterschied. Mit „Reiz“ bezeichnet er die spezifische Kausalität im Bereich des Organischen, die sich – bei Beibehaltung aller Strenge und Sicherheit, die mit dem Konzept der Kausalität für Schopenhauer unabdingbar verbunden sind – vor allem darin von der „Ursache“ im Bereich des Anorganischen unterscheidet, daß „Wirkung und Gegenwirkung einander nicht gleich“ sind und insofern die Intensität der Wirkung nicht leicht mit der Intensität der Ursache korrelierbar ist (Schopenhauer, 1988, 59).

Diese Vielfältigkeit von Verursachung einerseits und von biologischer Reaktion andererseits erzeugt statt linearen Ursache-Wirkungs-Ketten komplexe Netzwerke von Wechselbeziehungen (Toepfer, 2006) – von der wechselwirkenden Hierarchie von Subsystemen in Organismen (Weiss, 1970, 46, Abb.6), bis zu den Nahrungskettengeflechten und Beziehungsgefügen im biozönotischen Konnex (Bick, 1998, 31 und 95) –, die die Sicherheit von Prognosen einschränken. Der Erfolg der experimentellen Laboruntersuchung komplexer Phänomene, wie etwa höherer Verhaltensleistungen von Tieren oder aber spezifischer komplexer Wechselbeziehungen zwischen Organismus und Umwelt hängt also stets davon ab, ob und in welchem Umfang es gelingt, möglichst das gesamte Aktionssystem einer Tierart unter bekannten und kontrollierten Bedingungen sich abspielen zu lassen (Lorenz, 1992, 309). Vor diesem Hintergrund verweist etwa Konrad Lorenz darauf, daß für die Verhaltensforschung

selbst die Frage der Tierhaltung zu einer Frage der Methode wird und somit in den Kontext des Labors hineingehört. Die analytische Sphäre der biologischen Laborforschung ragt somit über die eigentliche experimentelle Laboranordnung weit hinaus. Bereits die Frage, ob und in welchem Umfang es gelingt, Tiere in künstlichen Situationen zu halten und aufzuziehen, bedeutet damit ein analytisches Eindringen in das Verhaltensrepertoire von Organismen und deren Wechselbeziehungen zur Umwelt. Umgekehrt kommt es bei der Anpassung der künstlichen Beobachtungs- und Aufzuchtssituation an die ursprüngliche Freilandsituation, etwa durch Hinzufügung von Parametern im Freilandlabor, um die komplexe Wechselwirkung einzelner Umweltfaktoren so realistisch wie möglich zu gestalten, auch in der erweiterten Laboranordnung zu einer „Beschränktheit der Möglichkeiten zum Experiment“ (Lorenz, 1992, 308). Mit der Zunahme an zu berücksichtigenden Parametern sinkt in der immer noch künstlichen Umwelt nicht nur der Grad möglicher Kontrolle durch den Experimentator, es wird auch die genannte Idealvorstellung von Experiment verlassen. Es verwundert deshalb nicht, wenn die von Lorenz für die Ethologie getroffenen Aussagen von Burian für alle Versuchsorganismen generalisiert und auch auf die molekularbiologische Erfahrungssphäre übertragen werden (Burian, 1993; Burian 1995, 124).

#### *Die Vorannahme der Distanz*

Als eine zentrale Vorannahme aller Wissenschaft stellt die Vorstellung von Distanz auch die unhinterfragte Leitidee der Lebenswissenschaften dar. Aus mehreren Gründen ist diese Idealforderung jedoch stets nur bedingt umsetzbar. Blendet man die spezifische Forschungssituation in der Biologie zunächst aus, dann sind beispielhaft zwei Punkte zu nennen, die auf einer allgemeinen Ebene die Forderung nach Distanz relativieren. Zunächst ließe sich fragen, ob die im Prinzip der Distanz formulierte epistemologische These, nur das vom Beobachter Distanzierte – gewissermaßen das Fremde – sei objektiv und mit naturwissenschaftlichem Wahrheitsanspruch erkennbar, die einzig mögliche epistemologische Option für den naturwissenschaftlichen Forschungsvollzug darstellt. Ein Blick in die Geschichte zeigt, daß dem keinesfalls so ist. Neben dem heute gängigen – und erfolgreichen – Forschungsprogramm ist im Verlauf der Geschichte immer wieder eine alternative Konzeption vertreten worden, wonach Gleiches von Gleichem erkannt wird, was als Prinzip der Forschung die Teilnahme erfordern würde. Gerade bei der Untersuchung lebendiger Phä-

nomene hat sich lange als Gegenkonzeption zur naturwissenschaftlichen Erklärung die These von der Möglichkeit der verstehenden Teilnahme des Menschen am Lebensprozeß gehalten. Dabei wurde auch innerhalb naturwissenschaftlicher Forschungsprogramme zeitweise auf das Konzept der Teilnahme gesetzt – dazu im Folgenden mehr. Zu einer zweiten allgemeinen Einschränkung der Distanzforderung gelangt man, wenn man diese methodologische Forderung mit den Konzepten einer theoriengeleiteten Beobachtung in den Naturwissenschaften konfrontiert (Popper, 1994, 72; Lakatos, 1970, 99; Feyerabend, 1978, 161). Man muß dann zugestehen, daß stets eine Wechselbeziehung zwischen der Tatsachenfeststellung und deren Interpretation vorliegt. Diese Einsicht unterläuft das Konzept einer strikten objektivierenden Distanz im Sinne wertfreier Beobachtung, denn jede wissenschaftliche Beobachtung erfolgt dann stets unter den Restriktionen eines vorher festgelegten Rahmens von epistemologischen, methodologischen oder ontologischen Vorannahmen.

Neben diesen grundsätzlichen, für alle wissenschaftlichen Unterfangen geltenden hermeneutischen Rahmenbedingungen der Forschung sind jedoch speziell im Fall der Lebenswissenschaften zusätzliche Bedingungen zu berücksichtigen. Schon der erste der beiden obigen Einwände verweist darauf, daß die in diesem Fall vorliegende epistemologische Situation in manchen Aspekten mit derjenigen der Geschichts- und Gesellschaftswissenschaften vergleichbar ist. Offensichtlich wird dies, wenn der Mensch auf beiden Seiten der wissenschaftlichen Verhältnisbeziehung ins Spiel kommt. Als Lebewesen einer bestimmten Art kann er im naturwissenschaftlichen Experiment auf der Seite des invasiv Untersuchten stehen und zum Gegenstand der biologischen Forschung werden. Dieser Aspekt wird seit der evolutionären Einbindung des Menschen in die Kette der Lebewesen zum Grundansatz der Biologie des Menschen. Als Wissenschaftler ist er zugleich jedoch andererseits immer auch der Erlebende, Beobachtende und Untersuchende von menschlichen Funktionen und Strukturen. Wie es Humberto Maturana in seiner *Biologie der Realität* deutlich macht, stehen diese beiden Aspekte zudem im Verhältnis der Selbstbezüglichkeit zueinander (Maturana, 1998, 23):

„Der Beobachter ist ein menschliches Wesen, d.h. ein lebendes System, und alles was lebende Systeme kennzeichnet, kennzeichnet auch ihn.“

Weiterhin sind es weniger „passive“ Beobachtungen als vielmehr körperliche Handlungen, die in experimentellen Vollzügen im Labor eine

wissenschaftliche Erfahrung von dem Untersuchungsgegenstand allererst möglich machen. Im Gegensatz zu der klassischen Konzeption einer theoretischen *Wissenschaft im Kopf* versteht die Konzeption einer praktischen *Wissenschaft im Labor* Wissenschaft als eine in Raum und Zeit vollzogene technische Handlung (etwa Knorr-Cetina, 1984; Knorr-Cetina, 2002, 45 ff.). Wenn jedoch Wissenschaft in diesem Sinne verstanden wird, dann sind die körperlich-leiblichen Akte des Wissenschaftlers nur bedingt auszuklammern und das strikte Konzept der Distanz ist nur schwer zu halten. Wie schon Dewey deutlich macht, führt ein technisch-instrumentelles Verständnis von Wissenschaft notwendig zu einem Konzept der Teilnahme, die klassische Zuschauertheorie der Erkenntnis wird durch eine Mitspielertheorie ersetzt (Dewey, 1995, 94 und 325 f.).

In diesem Zusammenhang wird dann nicht nur die leibliche Konstitution des Wissenschaftlers bedeutsam, sondern im Fall der Lebenswissenschaften kommt zusätzlich die leibliche Konstitution des Untersuchungsgegenstandes zum Tragen. Für diesen Punkt ist dann allerdings die grundsätzliche Doppelaspektivität lebendiger Systeme entscheidend, wie sie für den menschlichen Leib innerhalb der Philosophie etwa von Schopenhauer, Husserl, Jonas oder Merleau-Ponty gewürdigt wurde (Schopenhauer, 1987, 70 ff.; Husserl, 1993, 149 ff.; Jonas, 1973, 37 ff.; Merleau-Ponty, 2004, 172 ff.). Häufig ist die naturwissenschaftliche Thematisierung genuin leiblicher Qualitäten als nicht umsetzbare Forderung eingeschätzt worden. Die moderne Naturwissenschaft – also auch die moderne Biologie – ist in diesem Sinne durch eine systematische Ausklammerung des Leibes, auch des Leibes des Naturwissenschaftlers (Kutschmann, 1986), gekennzeichnet. Einen in dieser Hinsicht aussagekräftigen Sonderfall für die spezifischen Bedingungen biologisch-medizinischer Laborforschung stellt jedoch die über die gesamte Geschichte der modernen Psychologie kontrovers diskutierte Rolle psychologischer Experimente dar, eine Debatte die im Zuge der Diskussionen über die Aussagekraft von Laborversuchen in den kognitiven Neurowissenschaften neue Brisanz gewonnen hat.

Die klassischen psychophysischen Ansätze – etwa bei Fechner oder Wundt – unterscheiden sich vom naturwissenschaftlichen Experiment in einem gewichtigen Punkt: Hier wird die Introspektion, die Selbstbeobachtung, zum einem Element des Ansatzes (Ziche, 1999). Nicht nur, daß damit ein individuelles Bewußtsein in seiner Individualität zum Gegenstand wird, auch entsteht zwischen dem wissenschaftlichen Beobach-

ter und seinem Gegenstand eine neue Relation jenseits der Distanz: die Relation der Selbstbeziehung. Diese spezifische Bedingung prägt auch die aktuellen Versuche einer labormäßigen Erforschung höherer kognitiver Leistungen von Lebewesen (Köchy, 2006). Während die klassische experimentelle Neurowissenschaft, wie sie etwa Eric Kandel in Kombination mit der Molekularbiologie etabliert hat, betont auf alle introspektiven Elemente verzichtet und sich auf meßbare Ereignisse in Raum und Zeit beschränkt (Kandel, 1976, 3 ff.), ist es das Ziel der neuen kognitiven Neurowissenschaften, die interne Repräsentation mentaler Ereignisse zu untersuchen. Bei diesem Versuch, die erlebten Begleitzustände von Wahrnehmen, Erkennen, Vorstellen, Erinnern und Handeln auf neuronale Bedingungen zurückzuführen, klammert man offiziell zwar weiterhin die Introspektion aus (Roth, Menzel, 1996, 328), ist aber de facto – so machen es etwa die Überlegungen zum *Introspektiven Physikalismus* durch die anerkannten Kognitionsforscher Jack und Shallice (2001) deutlich – darauf angewiesen, die Introspektion in den Kontext der neurowissenschaftlichen Laborforschung einzubinden. Dabei zeigt sich im Zusammenhang der Messung von Prozessen der Aufmerksamkeit, daß die Annahme, man benötige objektive Meßverfahren, um subjektive Aussagen über die Aufmerksamkeit zu validieren, ein historisch durch den Behaviorismus bedingter Fehler ist. Vielmehr ist es genau umgekehrt: Man benötigt subjektive Evidenz dafür, um überhaupt entscheiden zu können, welche objektive Messung im Labor tatsächlich eine Messung der „Aufmerksamkeit“ ist. Das bedeutet jedoch, daß in diesem Fall die Introspektion in Form von verbalen Protokollen der Versuchspersonen nicht nur eine Methode in einem Set von neurowissenschaftlichen Verfahren ist, sondern daß sie vielmehr eine *notwendige Voraussetzung* zur Validierung aller späteren wissenschaftlichen Aussagen darstellt. Die Introspektion erfüllt demnach nicht allein Funktionen bei der Hypothesenbildung, sondern ist maßgebliches Moment der Hypothesenprüfung.

Überträgt man diese spezifischen Bedingungen der laborwissenschaftlichen Erforschung von Erlebnisqualitäten des menschlichen Leibes – wobei die Biologie in diesem Fall auf der Basis der Erkenntnisse der Evolutionstheorie agiert und von einfachen zu komplexen Lebensfunktionen aufsteigt – auf die besondere empirische Situation der Lebenswissenschaften insgesamt, dann bedeutet dieses, daß *mutatis mutandis* Vergleichbares für die Erforschung aller Lebensphänomene im Labor gilt. Damit wäre prinzipiell die Möglichkeit eines zwiefachen Zugangs

zum Lebendigen gegeben (Sachsse, 1968, 2 ff.; Sachsse, 1970, 213 ff.). Auch wenn sich die biowissenschaftliche Laborforschung gezielt auf eine der Optionen, nämlich die „Außenperspektive“, beschränkt – was im genannten Fall zur Ausblendung der subjektiven Elemente der Introspektion und zur Konzentration auf meßbare Äußerungen in Form von Verhaltensleistungen im Sinne einer „psychology in terms of objects“ (Brunswik, 1992, 219) führt –, so entsteht mit der prinzipiellen Möglichkeit einer Wahl zwischen mehreren Optionen doch eine besondere Situation für die biologische Laborforschung. Dieses wirkt sich nicht nur auf der Seite des Beobachters aus, sondern auch auf der Seite des Beobachteten. Für den Beobachter besteht die Wahlmöglichkeit, welche Beziehung zum Untersuchungsobjekt „Leben“ er wählt. Damit trifft er vor aller innerwissenschaftlichen Theorie und Praxis eine methodologische Rahmenentscheidung. Diese Wahl prägt dann alle nachfolgenden theoretischen und praktischen methodischen Schritte und Einstellungen zum Untersuchungsobjekt und bestimmt damit auch die Erkenntnisgrenzen des gewählten Zugangs. Auf der Seite des Beobachteten zeigt sich die genannte Doppelaspektivität u. a. darin, daß im biologischen Versuch häufig nicht ein passiv allen Manipulationen im Labor ausgesetztes Untersuchungsobjekt vorliegt, sondern vielmehr ein aktives und intentionales System, das gegen die vorgenommene Manipulation anstreben kann. Im biologischen Experiment ist deshalb nicht nur der Experimentator der Akteur gegenüber einem passiven Material. Biologische Technik ist vielmehr – so schon Hans Jonas – auf Kollaboration mit der Selbsttätigkeit eines aktiven, von Natur funktionierenden biologischen Systems angewiesen.

Wird diese Aktivität des „Untersuchungsmaterials“ aus Gründen der Quantifizierbarkeit und Objektivierbarkeit wissenschaftlicher Befunde im Labor eingeschränkt, so können durchaus biologisch unbrauchbare Ergebnisse resultieren. Wenn beispielsweise das gesamte Verhaltensrepertoire einer Tierart, deren Anpassungsfähigkeit auf sich wandelnde Umweltsituationen, die Komplexität von Wahrnehmungsleistungen etc. auf dem Spiel stehen, so ist es nahe liegend, daß die Ergebnisse solcher Untersuchungen von der Aktivität und dem Handlungsspielraum des „Untersuchungsgegenstandes“ abhängen. So wurden etwa die komplexen Fähigkeiten zur Verarbeitung visueller Informationen bei Tauben – einer der gängigsten Versuchsobjekte der experimentellen Psychologie und Sinnesphysiologie – erst entdeckt, als man sich von historisch

gewachsenen anthropozentrischen Vorannahmen befreite, die diesen Tieren nur simple, mechanische Reaktionen zubilligten und von einfachen zu komplexen Versuchs- und Dressuraufbauten wechselte (Delius, 1990). Für die Verhaltensforschung zieht beispielsweise Konrad Lorenz aus dieser Tatsache den Schluß, adäquate Verhaltensuntersuchung bestehe in einem Kompromiß zwischen Annäherung und Distanzierung. Demnach kann man Tiere und ihr Verhalten nicht kennenlernen, wenn man sie nur „in einen engen Laboratoriumskäfig sperrt und ihnen nur Gelegenheit zu ganz bestimmten Reizantworten gibt.“ Andererseits sei es aber auch verfehlt „aus übergroßem Respekt vor der Ganzheit von Organismus und Umwelt“ ausschließlich auf die Beobachtung im natürlichen Lebensraum zu setzen. Im ersten Fall habe man zu wenig, im zweiten zu viel Distanz. Im ersten Fall bekomme man nur einen kleinen Teilausschnitt aus der Ganzheit der Verhaltensweisen in den Blick, im zweiten Fall sehe man gerade die ‚Mikro-Details‘ des Verhaltens nicht mehr deutlich. Hinsichtlich der Beziehung zwischen Forschungsobjekt und Untersuchungsobjekt zeigt sich in diesem Fall ein äußerst komplexes Verhältnis von Distanz und Nähe. Die Fokussierung der Details im Nahfeld des Labors erfolgt unter der Zielstellung einer objektivierenden naturwissenschaftlichen Distanz, die Betrachtung des ganzen Tieres aus der Ferne im Freiland wird offensichtlich unter dem Leitbild sympathischer Anteilnahme vorgenommen. Man kann diese spezifische Situation mit Heidegger (1986, 105) als eine Spannung deuten, die zwischen der kategorialen Bestimmung „Entferntheit“ (als räumliche Distanz zweier physikalischer Orte) und der existenzialen Bestimmung „Ent-fernung“ (als intentionaler Ausrichtung des Daseins auf Näherung) zu konstatieren ist. Einen Hinweis darauf, daß eine vergleichbare Situation sogar für den abstrakten, hochtechnisierten und auf die Elementarebene biologischer Funktionen ausgerichteten Arbeitsbereich der Laborforschung in der Molekulargenetik konstatierbar ist, gibt die Arbeit von Eveline Fox-Keller (Fox Keller, 1983, 197 ff.), nach der auch zur Konzipierung adäquater Fragestellungen, angemessener Laborarrangements sowie zur Interpretation der Ergebnisse in der Molekularbiologie ein „feeling for the organism“ notwendig ist.

#### *Die Vorannahme der Wiederholbarkeit*

Auch die Vorannahme der Wiederholbarkeit ist in der lebenswissenschaftlichen Laborforschung nicht ohne weiteres und uneingeschränkt

einlösbar. Der Grund dafür liegt darin, daß die „Einzigartigkeit“ ein spezifisches Merkmal biologischer Phänomene darstellt. Trotz übergreifender Gemeinsamkeiten und Regularitäten sind biologische Bildungen sowohl auf der Ebene des Genoms als auch auf der Ebene des Phänotyps, seiner Entwicklung und seiner Umwelt stets einzigartig.

Die Existenz von Einzigartigkeit biologischer Bildungen ist letztlich, auch wenn dieses innerhalb von Wissenschaftsphilosophie und Biologie nicht immer realisiert wird, eine der Grundaussagen der Evolutionstheorie. Die Evolutionstheorie nimmt deshalb eine Sonderstellung innerhalb der Klasse von Aussagen mit dem Status von Naturgesetzen ein (Rosenberg, 1985, 121 ff.; Mayr, 1991, 31 f.; Vollmer, 1995, 92 ff.). Sie beschreibt einen Entwicklungsprozeß, der unter individuellen Anfangsbedingungen an einem bestimmten raumzeitlichen Punkt einsetzt. Wie die meisten physikalischen Gesetze hat die Theorie der natürlichen Selektion keine universale Gültigkeit und ist statistischer Natur. Sie erlaubt so die Feststellung bestimmter wahrscheinlicher Trends für die Beschaffenheit von Kollektiven. Wichtig ist jedoch vor allem, daß es im Zuge der Evolution zu einer Variation und Diversität von Lebewesen kommt, weil Abwandlungen und Fehler im Reproduktionsgeschehen (Ebene des Genoms), eine Verschiedenheit der einzelnen Lebewesen erzeugen (Ebene des Individuums), die sich dann bei bestimmten Selektionsverhältnissen differentiell reproduzieren (Ebene der Population). Biologische Bildungen sind deshalb stets einzigartig. Die Einzigartigkeit betrifft nicht nur die Individuen, sondern auch Ansammlungen von Individuen oder Stadien im Lebenszyklus eines Individuums. Aus diesem Grund unterscheidet etwa Lewontin (1983) die biologische Evolution als Variationsevolution von anderen prozessualen Geschehen (beispielsweise auf der kosmologischen Skala), die lediglich eine Entwicklungs- oder Transformationsevolution darstellen. Nur die Variationsevolution beruht demnach auf der Auslese bestimmter Entitäten aus äußerst variablen Populationen einzigartiger Individuen und dem Entstehen neuer Variation in jeder Generation. In der Biologie hat man es nach diesen Überlegungen nicht mit einer Klasse identischer Entitäten zu tun (wie in vielen physikalischen oder logischen Kontexten), sondern mit Populationen, die aus einzigartigen Individuen bestehen. Nach Mayr (1991, 27) gilt dies auf allen Hierarchieebenen – von der Zelle bis zum Ökosystem. Die evolutive Genese biologischer Strukturen und Funktion bedingt jedoch neben aller Individualisierung auch eine besondere Form der Zusammengehörigkeit und zwar durch

die gemeinsame Abstammung. Neben der unabdingbaren Differenz wird deshalb ein geschichtlicher Konnex in der Biologie relevant. Evolutionäre Erklärungsansätze sind stets historische Erklärungen. All dieses hat zur Folge, daß universale und uneingeschränkte Aussagen vom Status notwendiger Allsätze (unabhängig vom Induktionsproblem) in der Biologie gar nicht zu erwarten sind, denn die mit der Evolutionstheorie beschriebenen Einheiten sind stets raumzeitlich begrenzt, unregelmäßig verteilt und heterogen. Dieser Zusammenhang bedingt auch besondere Voraussetzungen für die biologische Laborforschung: Die gesamte Biologie von der Ökologie bis zur Genetik folgt somit einem case-study-orientierten Forschungsprogramm.

Zu diesem Ergebnis gelangt man auch, wenn man die andere theoretische Säule der Biologie als Ausgangspunkt wählt und die Evolution aus der molekularen Perspektive betrachtet. Die aktuelle Genomforschung etwa ist auf den ersten Blick vom physikalistisch-logischen Wissenschaftsideal bestimmt. Das Humangenomprojekt geht von der Vorstellung einer vollkommenen Analyse aller Grundelemente eines Lebewesens (Mensch) in Form der vollständigen Ermittlung der Nukleotidsequenz seiner DNA aus. Nach dem vorläufigen Abschluß des Projekts zeigt sich allerdings, daß im Zuge der Fortschritte der molekularen Genetik gerade die komplexe Wechselbeziehung zwischen Genom, Proteom, Metabolom und Umwelt immer größere Bedeutung gewinnt (vgl. den Beitrag von Rehmann-Sutter in diesem Band). Das statisch-strukturelle Bild der Gensequenz (lineare Nukleotidkette) wandelt sich so zum dynamisch-funktionellen Bild der Genexpression (differentielle Ablesung im Verlauf der ontogenetischen Individualentwicklung) (Köchy, 2003b). Aus diesem Grund ist mit der Darstellung der Sequenz eines Normgenoms im Labor noch keinesfalls das gesetzte wissenschaftliche Ziel erreicht. Essentielle Einsichten in die Funktion (beispielsweise in Richtung auf ein genetisch mitbestimmtes Krankheitsgeschehen) sind erst bei einer Individualisierung der Daten zu erwarten. Die Bedeutung des Individuellen wird so in vielen aktuellen Trends der Genomik deutlich: in der Etablierung von Mutations-, Variabilitäts- und Polymorphismusdatenbanken (SNPs single nukleotid polymorphisms), der Ergänzung der molekularen Ansätze durch epidemiologische und populationsgenetische Studien, dem Bevölkerungs-Screening und der Individualisierung pharmakologischer Daten („Pharmakogenomik“).

Auch die in biologischen Prozessen vorliegende Unidirektionalität und

Irreversibilität bedingt eine Einschränkung des Prinzips der Wiederholbarkeit. Die strenge Forderung nach Wiederholbarkeit eines identischen Experimentaldurchgangs muß so zumindest dahingehend modifiziert oder abgeschwächt werden, daß tatsächlich im Labor stets nur eine ähnliche oder vergleichbare experimentelle Situation wiedererzeugt werden kann. Obwohl dieses für alle experimentellen Vollzüge unabhängig vom jeweiligen Objektbereich gilt (Duhem, 1978, 216), treten mit der Beschaffenheit des biologischen Objektbereichs besondere Probleme auf. Die je einzigartige Biographie eines Lebewesens, die nur diesem Organismus zukommende Erfahrung, schließen ein identisches Reiz-Reaktions-Verhältnis in biologischen Experimenten nahezu aus.

Diese Bedingungen betreffen zunächst jedoch vor allem die Untersuchungen von Lebewesen außerhalb des Labors oder der Übertragung von Freilandbefunden ins Labor. Rosenberg (1985, 27) spricht in diesem Zusammenhang von der Widerspenstigkeit (*recalcitrance*) der Wiederholung im Freiland beobachteter ethologischer Phänomene im Labor. Auch Mahner und Bunge (1997, 188) betonen:

„Another problem that arises from complexity and diversity of ecological systems is the difficulty of making field experiments [...]. In particular, field studies may not be exactly replicable, and the variables and parameters are hard or not at all to control. Furthermore, as the conditions in the field are much more complex and varied than in the laboratory, it remains always contentious whether the results of laboratory experiments also hold for in certain respects equivalent yet, in fact, much more complex systems in nature“.

Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Etablierung von Experimenten im Labor gerade den Versuch dar, mit dieser Heterogenität von Untersuchungssituationen umzugehen und eine Form der Standardisierung und Normierung zu erreichen. So formuliert etwa schon Rensch (1968, 12):

„Im Bereich der meist komplex verursachten biologischen Prozesse bietet das Experiment zudem den besonderen Vorteil, daß die Prämissen weitgehend auf die unerläßlichen und entscheidenden Faktoren eingeschränkt werden und die Ursachenketten verhältnismäßig eindeutig beurteilt werden können.“

Wie bereits oben deutlich wurde, ist es jedoch eines der größten Probleme biologischer Laborforschung herauszufinden, welches diese unerläßlichen und entscheidenden Faktoren sind. Vor allem jedoch schlägt die genannte Vielfalt und Einzigartigkeit unweigerlich auch in experimentellen Standardsituationen durch. Bei Untersuchungen an einem

Organismus sind Phänomene wie Lernen und Habituation zu berücksichtigen, bei Versuchen an mehreren Organismen sind die Unterschiede in Geschlecht, Alter, Erfahrung, Ernährungszustand häufig ausschlaggebend für das Resultat. Die Auswirkung der Heterogenität der untersuchten Objekte läßt sich selbst in modernsten rechnergestützten Laborexperimenten der Biologie verfolgen. Betrachtet man etwa den Fall der bildgebenden Verfahren in der Neurobiologie, dann besteht ihre Funktion darin, eine möglichst präzise Wiedergabe der anatomischen Lokalisation und des zeitlichen Verlaufs von elektrischen Ereignissen im Gehirn zu ermöglichen. Dabei werden die gewonnenen Daten – um Artefakte auszuschließen, das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern und wegen des wissenschaftlichen Verallgemeinerungsanspruchs – durch Mittelung von Einzelversuchen aus einer ganzen Probandengruppe gewonnenen (Averaging) und dann auf ein per Simulation generiertes Standardhirn übertragen. Da es (in Folge der Evolution) zu erheblichen interindividuellen Unterschieden in der kortikalen Anatomie beim Menschen kommt, kann dieser Allgemeinheitsanspruch jedoch nur bedingt umgesetzt werden und es zeigt sich derzeit gerade ein Trend zur Individualisierung: Man arbeitet verstärkt mit Datensätzen einzelner Probanden (Münste, Heinze, 2001, 305).

Diese Verschiedenheit organischer Reaktionen auf gleiche Reize etwa bringt allerdings kein Defizit der biologischen Experimentierkunst zum Ausdruck, sondern ist vielmehr eine Grundbedingung lebenserhaltender Anpassung. Wird aufgrund der wissenschaftlichen Forderung nach Verallgemeinerung und Quantifizierung im Labor eine Situation geschaffen, die ausschließlich auf Wiederholbarkeit ausgerichtet ist, so wird diese biologische Grundbedingung außer Acht gelassen. Dieses kann in manchen Fällen und auf manchen Phänomenebenen unproblematisch sein und folgenlos bleiben, es kann aber in anderen Fällen die biologische Aussagekraft des Experiments in Frage stellen.

#### *Die Vorannahme der Homogenität*

Aus den angeführten Gründen ist auch die Vorannahme der Homogenität eine ideale Abstraktion. Betrachtet man die Situation aller Wissenschaften mit Blick auf deren Objektbereich, so ist davon auszugehen, daß stets ein Kontinuum je unterschiedlich einfacher Phänomene vorliegt. Letztlich wird in allen Wissenschaften die Ordnung und Regularität des Gegenstandsbereichs im Zuge der wissenschaftlichen Arbeit künstlich

überhöht. Jedoch konfiguriert gerade in den Lebenswissenschaften dieses Verfahren mit der gesteigerten Heterogenität des Objektbereichs, der biologischen Vielfalt (vgl. etwa die Zahlenangaben in Wilson, 1992, 165 ff.). Dieses biologische „Mannigfaltigkeitswunder“ (Bertalanffy, 1937, 20) betrifft nicht nur die Ebene der biologischen Arten. Auf der Ebene der Individuen wirkt sich die oben genannte evolutionäre Tendenz auf Diversifikation ebenso aus – Wilson nennt die eindrucksvolle Tatsache, daß in der Überfamilie der Ameisen zu jedem Zeitpunkt etwa  $10^{15}$  gleichzeitig lebende Individuen existieren, von denen wegen des hohen Grades an genetischem Polymorphismus keine zwei Vertreter genetisch identisch sein dürften (Wilson, 1992, 23) –, wie auf der Ebene der zellulären Glieder eines Vielzellers – Sitte verweist auf die  $10^{13}$  Einzelzellen des menschlichen Körpers (Sitte, 1978) – oder der Ebene der zellulären Substrukturen – für einen Kubikmillimeter der Großhirnrinde einer Maus nennen Braitenberg und Schütz eine Milliarde Synapsen, die Gesamtzahl aller Synapsen in der menschlichen Großhirnrinde schätzen sie auf  $10^{14}$  (Braitenberg, Schütz, 1990, 189).

Allerdings basiert der Experimentalvollzug in der Biologie zunächst auf der Grundannahme, daß trotz möglicher Variationen und Abweichungen eine gewisse Gemeinsamkeit zwischen einzelnen Biosystemen besteht und eine Klassenbildung möglich ist. Wenn man jedoch die oben dargelegte biologische Bedeutung von „Individualität“ und „Vielfalt“ berücksichtigt, dann wird klar, daß die Homogenität in der Biologie eher eine „Familienähnlichkeit“ im Sinne Wittgensteins darstellt. Neben artbildenden Gemeinsamkeiten treten immer individuelle Unterschiede auf, denen gerade in der Biologie – denkt man an die deszendenztheoretischen Überlegungen zur Variabilität – eine essentielle Rolle zukommt. Obwohl stets eine forschungspraktische Entscheidung zugunsten der Seite der Gemeinsamkeit oder zugunsten der Seite der Unterschiede möglich ist, und sich aus bestimmten Gründen die Gemeinsamkeit anbieten mag, haben die Unterschiede in der Biologie eine besondere Bedeutung. Diese Tatsache besagt nicht nur, daß man sich begründet für die Untersuchung dieser Seite entschließen kann, sie besagt auch, daß die alternative Entscheidung für die Seite der Gemeinsamkeiten immer nur unter Einschränkungen möglich ist. Im Experimentalvollzug des Labors schlägt sich dieses in der Tatsache nieder, daß eine Homogenität und Klassenbildung der untersuchten Phänomene immer nur bedingt erreichbar ist. Dieses wirkt sich entweder auf den Geltungsumfang theoretischer Aus-

sagen, auf die Sicherheit von Prognosen oder auf den Stichprobenumfang der durchgeführten Versuche aus.

#### 4. „Erfinden“ und „Entdecken“ im biologischen Experiment

Die obigen Überlegungen zeigen, daß das Experiment – als spezifischer aktiver Vollzug – einen invasiven und konstruktiven Aspekt der gesamten Laborforschung zum Ausdruck bringt. Im Experiment wird eine artifiziell vereinfachte Situation geschaffen, die es erlaubt, ein komplexes Gesamtgeschehen in viele einfache Teilgeschehen aufzuspalten, diese unter künstlichen Bedingungen zu beobachten, Mechanismen der Interaktion zwischen ihnen und deren Regularitäten zu erforschen und dieses Wissen zur Gestaltung technischer Produktion einzusetzen. Insbesondere das Experiment unterstreicht somit den artifiziellen Status der gesamten Laborforschung. Insofern ist es nicht einfach ein Vorgefundenes oder Natürliches, das im naturwissenschaftlichen Labor begegnet; schon gar nicht geht es der Wissenschaft im Labor darum, die Prinzipien der Natur in einem kontemplativen Akt etwa im Sinne Platons zu „schauen“. Experimentelle Laborforschung setzt vielmehr auf den aktiven, praktischen Eingriff. Provokant formuliert: In der artifiziellen Umwelt des Labors wird unter künstlich erzeugten Bedingungen ein künstliches Geschehen erschaffen. Die produktive und konstruktive Potenz des Experiments unterstreicht so scheinbar, daß es der Naturwissenschaft im Labor gar nicht eigentlich um die „Natur“ gehen kann. Gegenstand der experimentellen Naturwissenschaft wäre vielmehr stets das „Künstliche“ – ein Produkt menschlicher Handlungen (Tetens, 1987, 12). Es ginge damit nicht um das „Gefundene“, sondern um das „Erfundene“ – Dabei bleibt zu beachten, daß eine vergleichbar aktive Konstruktionskraft auch den „bloß“ beobachtenden und darstellenden Laborverfahren zukommt, wie es die kurze Bemerkung zur mikroskopischen Beobachtung bereits andeutete (vgl. dazu die umfassenderen Überlegungen in Köchy, 2005).

Andererseits gilt jedoch gerade das Experiment seit der Neuzeit als das Verfahren der Wahl für die naturwissenschaftliche Erkundung der Natur. Nicht mehr die Platonische noesis, sondern Galileis techné vermittelt nach neuzeitlichem Verständnis Einsichten in die Prinzipien der Natur. Es ist der experimentelle Zugriff, der die Interaktion der Natur-

glieder erschließt und der die natürlichen Gesetzmäßigkeiten, die diesen Interaktionen zugrunde liegen, entdeckt. Aus diesem Grund kann es dem Naturwissenschaftler, der ein Experiment im Labor einsetzt, gar nicht vorrangig darum gehen, nur künstliche Situationen durch instrumentelle Eingriffe zu erzeugen und zu verändern, vielmehr muß es ihm immer möglich sein, mit seinen künstlichen Eingriffen und selbst im künstlichen Arrangement des Labors etwas über das natürlich Gegebene herauszufinden.

Für das Experiment in der Biologie machen die obigen Überlegungen jedoch deutlich, daß eine solche strikte Gegenüberstellung von „Kunst“ und „Natur“ oder von „Erfinden“ und „Entdecken“ ein zu einfaches Bild von der komplexen Interaktion dieser beiden Glieder eines Ganzen vermittelt. Dadurch, daß die obige Untersuchung das Verhältnis von „Erfindung“ und „Entdeckung“ in einer ganz spezifischen Weise beleuchtet, indem sie Idealforderungen mit Realbedingungen des Experiments konfrontiert, zeigt sich, daß die konstruktive Kraft des Experiments, seine Freiheitsgrade an manipulativer Potenz, nicht unbegrenzt erweiterbar sind, wenn der naturwissenschaftliche Sinn des experimentellen Eingriffs erhalten bleiben soll. Will man mittels eines biologischen Experiments Erkenntnisse nicht über die eigenen manipulativen Möglichkeiten, sondern über die biologischen Wirklichkeiten gewinnen, dann sind diese Grenzen zu beachten. Die obige Darstellung belegt, daß hinsichtlich aller gängigen Idealforderungen an ein Experiment in den Lebenswissenschaften unter bestimmten Fragestellungen und bei bestimmten Untersuchungsobjekten Abstriche zu machen sind. Das bedeutet jedoch nicht, daß Experimente oder der Ansatz einer Laborbiologie gänzlich verfehlt wären – eine solche Konsequenz würde offensichtlich die gesamte reale Entwicklung der modernen Biologie als verfehltes Unternehmen hinstellen und stünde damit in Gegenläufigkeit zum verwirklichten Trend der maßgeblich experimentell verfahrenen Lebenswissenschaften. Die angeführten Beispiele für die Grenzen der Umsetzung idealer methodologischer Forderungen in den Biowissenschaften belegen deshalb vielmehr, daß die Art und Weise wie experimentelle Verfahren in der Laborbiologie umgesetzt werden, oder ob sie etwa durch andere Verfahren – auch Untersuchungen im Freiland – ergänzt oder ersetzt werden müssen, jeweils auch von den besonderen Untersuchungsbedingungen in der Biologie abhängt. Zu diesen Bedingungen zählen insbesondere auch die speziellen Merkmale, die gerade die Typik biologischer Objekte und

Phänomene ausmachen, also etwa deren Vielfältigkeit und Komplexität, deren systematische Ordnung, die wechselseitige Beziehung zwischen Teilstrukturen und -funktionen in hierarchischen Organisationen etc. (Rensch, 1968, 54f.). In diesem Sinne kann Karin Knorr-Cetina (2002, 132 ff.) sogar an den Praxen des molekularbiologischen Labors belegen, daß sich angesichts des Umgangs mit den widerständigen Materialien und Lebewesen ein Verfahren der blinden Variation von Experimentalstrategien und deren Selektion im Umfeld möglicher Fehlschläge als erfolgreiche Strategie erweist.

Dieses Faktum macht jedoch auch deutlich, daß experimentelle Laborbiologie nicht als bloßes „Erfinden“ von neuen artifiziellen Wirklichkeiten interpretiert werden darf, sondern daß sie, indem sie als praktisches Verfahren „Wirkungen“ auf die Natur ausübt, umgekehrt stets entsprechenden „Gegenwirkungen“ der Natur ausgesetzt ist. So ist es erklärlich, daß ein solchermaßen aktiver Forschungsvollzug immer seine reaktiven Momente aufweist und in seiner speziellen Ausformung gerade durch diese mitgeprägt ist. Methodische Verfahren der Laborwissenschaft erweisen sich als Handlungsvollzüge, die stets der Widerständigkeit des Untersuchungsmaterials ausgesetzt sind und die – zumal wenn das „Untersuchungsmaterial“ wie aufgezeigt eine spontane Eigendynamik aufweist – als Reaktion auf diese Widerständigkeit Modifikationen unterworfen sind. In einem koevolutiven „trial and error“-Verfahren der Optimierung von Laborhandlungen prägt sich somit bei aller Künstlichkeit auch eine „natürliche“ Vorgabe in den Vollzug mit ein. Die Spezifität der Labortechniken der Biologie ist damit immer auch ein Ausdruck für die besonderen Bedingungen bei der Erforschung lebendiger Phänomene.

Dieses spezielle Verhältnis von „Natur“ und „Kunst“ oder von „Entdeckung“ und „Erfindung“ in den experimentellen Verfahren des biologischen Labors kann in Analogie zu Merleau-Pontys Konzept des Chiasmus (Merleau-Ponty, 2004, 172 ff.) gefaßt werden. Wie dieser eine Verflechtung von subjektiver Konstruktion und objektivem Gegebensein konstatiert, indem er die leiblich-lebensweltlichen Akte als verflochten mit und in der Welt erkennt, so kann man in übertragener Weise auch instrumentelle Akte im Labor als eine Verflechtung mit der Natur deuten. Insbesondere ist diesbezüglich der – von Husserl übernommene – Gedanke Merleau-Pontys weiterführend, daß sich diese Verflechtung nicht auf die leiblichen Akte des Berührens und Manipulierens beschränkt, sondern

sich vielmehr auf Akte des scheinbar passiven Sehens ebenso erstreckt. Wie sich für Merleau-Ponty im lebensweltlichen Kontext Sehen und Berühren untereinander und mit der Welt verflechten, so verflechten sich im Kontext des Labors das „armierte“ Sehen des Mikroskops etwa mit dem instrumentellen Berühren und Manipulieren im Experiment und beide sind ihrerseits verflochten mit dem zu untersuchenden biologischen Objekt. So ist es etwa im Fall der im Labor begegnenden Organismen Ausdruck der genannten Verflechtung, daß solche Modellorganismen zwar im Experiment technisch hergerichtet werden und insofern „allen vorstellbaren Eingriffen ausgesetzt“ sind (Knorr-Cetina, 2002, 128). Auf der anderen Seite sind jedoch die paradigmatischen Untersuchungsverfahren und selbst biologische Theorien auf die besonderen Bedingungen bestimmter Modellorganismen abgestimmt und Modellorganismen werden damit gleichzeitig zu symbolhaften Darstellungsformen für typische biologische Phänomene, sind ihrerseits Meßinstrumente und Werkzeuge in neuen Versuchen und konstituieren damit die Wissenschaft Biologie (Burian, 1993, 365; Kohler, 1993, 309). Als Lebensformen im „Laboratop“ (Amann, 1994) sind sie mehr als bloße Untersuchungsobjekte, die im experimentellen Ansatz geformt oder allererst hergestellt werden, sie sind vielmehr ebenfalls „Laboranten“ (vgl. den Beitrag von Jutta Weber) und formen die Laborwissenschaft Biologie auf ihre je eigene Weise.

### *Anmerkung*

- 1 Die vorliegende Untersuchung beruht auf den umfassenden Vorüberlegungen in meinem Buch „Perspektiven des Organischen“ (Paderborn 2003).

### *Literatur*

- Aharonowitz Yair, Cohen, Gerald, 1984: Medikamente. In: Industrielle Mikrobiologie. Mit einer Einführung von Heinz Schaller, Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 84–97.
- Amann, Klaus, 1994: Menschen, Mäuse und Fliegen. Eine wissenssoziologische Analyse der Transformation von Organismen in epistemische Objekte. In: Zeitschrift für Soziologie 23(1), S. 22–40.
- Bacon, Francis, 1999: Neues Organon. Teilband 1. Hamburg: Meiner.
- Bertalanffy, Ludwig, 1937: Das Gefüge des Lebens. Leipzig, Berlin: Teubner.

- Bertalanffy, Ludwig, 1970: *Biologie und Weltbild*. In: Lohmann, Martin (Hrsg.): *Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Kolloquium*, München: Hanser, S. 13–31.
- Bick, Hartmut, <sup>3</sup>1998: *Grundzüge der Ökologie*. Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm.
- Braitenberg, Valentin, Schütz, Almut, 1990: *Cortex: hohe Ordnung oder größtmögliches Durcheinander?* In: *Gehirn und Kognition*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 182–194.
- Brookes, Martin, 2002: *Drosophila. Die Erfolgsgeschichte der Fruchtfliege*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Brunswig, Egon, 1992: *Eingliederung der Psychologie in die exakten Wissenschaften, 1937*. In: Schulte, Joachim, McGuinness, Brian (Hrsg.): *Einheitswissenschaft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, S. 215–233.
- Burian, Richard M., 1993: *How the Choice of Experimental Organism Matters: Epistemological Reflections on an Aspect of Biological Practice*. In: *Journal of the History of Biology* 26 (2), S. 351–367.
- Burian, Richard M., 1995: *Comments on Rheinberger's 'From Experimental Systems to Cultures of Experimentation'*. In: Wolters, Gereon, Lennox, James G., McLaughlin, Peter (Hrsg.): *Concepts, Theories, and Rationality in the Biological Sciences*. Konstanz: Universitätsverlag, S. 123–136.
- Carnap, Rudolf, 1992: *Die Aufgabe der Wissenschaftslogik, 1934*. In: Schulte, Joachim, Mc Guinness, Brian (Hrsg.): *Einheitswissenschaft*. Frankfurt a. M: Suhrkamp, S. 90–117.
- Cartwright, Nancy, 1983: *How the Laws of Physics Lie*. Oxford: Oxford University Press.
- Chargaff, Erwin, <sup>2</sup>1981: *Unbegreifliches Geheimnis. Wissenschaft als Kampf für und gegen die Natur*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Cunnigham, Andrew, Williams, Perry (Eds.), 1992: *The laboratory revolution in medicine*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Delius, Juan D., 1990: *Komplexe Wahrnehmungsleistungen bei Tauben*. In: *Gehirn und Kognition*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 106–119.
- Dewey, John, 1995: *Erfahrung und Natur, 1929*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Duhem, Pierre, 1978: *Ziel und Struktur der physikalischen Theorien, 1908*. Hamburg: Meiner.

- Elsasser, Walter M., 1966: *Atom and Organism. A new approach to theoretical biology.* Princeton: Princeton University Press.
- Feyerabend, Paul, 1978: Kuhns Struktur wissenschaftlicher Revolutionen. In: ders.: *Der wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaften.* Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, S. 153–204.
- Fischer, Hans R., <sup>2</sup>1993: Murphys Geist oder die glücklich abhanden gekommene Welt. Zur Einführung in die Theorie autopoietischer Systeme. In: ders. (Hrsg.): *Autopoiesis. Eine Theorie im Brennpunkt der Kritik.* Heidelberg: Carl-Auer-Systeme, S. 9–40.
- Fleck, Ludwik, 1983: Über die wissenschaftliche Beobachtung und die Wahrnehmung im Allgemeinen, 1935. In: ders.: *Erfahrung und Tatsache.* Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 59–83.
- Fox Keller, Evelyn, 1995: *Barbara McClintock. Die Entdeckerin der springenden Gene.* Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser.
- Galison, Peter, 1987: *How Experiments End.* Chicago: University of Chicago Press.
- Gooding, David, 1990: *Experiment and the making of meaning.* Dordrecht, Boston, London: Kluwer.
- Graßhoff, Gerd, Casties Robert, Nickelsen, Kärin, 2000: *Zur Theorie des Experiments. Untersuchungen am Beispiel der Entdeckung des Harnstoffzyklus.* Bern: Bern Studies in History and Philosophy of Science.
- Hacking, Ian, 1996: *Einführung in die Philosophie der Naturwissenschaften.* Stuttgart: Reclam.
- Hagner, Michael, Laubichler, Manfred (Hrsg.), 2006: *Der Hochsitz des Wissens. Das Allgemeine als wissenschaftlicher Wert.* Zürich, Berlin: diophanes.
- Hassenstein, Bernhard, 1972: Element und System – geschlossene und offene Systeme, In: Kurzrock, Ruprecht (Hrsg.): *Systemtheorie.* Berlin: Colloquium Verlag, S. 29–38.
- Heidegger, Martin, <sup>16</sup>1986: *Sein und Zeit.* Tübingen: Max Niemeyer Verlag.
- Hoffmann, Johannes, Viedt, Heike, 1998: *Biologische Bodenreinigung. Ein Leitfaden für die Praxis.* Berlin, Heidelberg: Springer.
- Holmes, Frederik, 1985: *Lavoisier and the Chemistry of Life. An Exploration of Scientific Creativity.* Madison: University of Wisconsin Press.

- Husserl, Edmund, 1993: *Arbeit an den Phänomenen. Ausgewählte Schriften*. Herausgegeben und mit einem Nachwort versehen von Bernhard Waldenfels, Frankfurt a. M.: Fischer.
- Jack, A. I., Shallice, T., 2001: Introspective physicalism as an approach to the science of consciousness. In: *Cognition* 79, S. 161–196.
- Jahn, Ilse, 1990: *Grundzüge der Biologiegeschichte*. Jena: Gustav Fischer Verlag.
- Jonas, Hans, 1973: *Organismus und Freiheit. Ansätze zu einer philosophischen Biologie*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Jonas, Hans, 1987: *Laßt uns einen Menschen klonieren: Von der Eugenik zur Gentechnologie*. In: ders.: *Technik, Medizin und Ethik. Praxis des Prinzips Verantwortung*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 162–203.
- Kandel, Eric W., 1976: *Cellular Basis of Behavior. An Introduction to Behavioral Neurobiology*. San Francisco: Freeman.
- Kanz, Kai Torsten, 2000: *Zur Frühgeschichte des Begriffs ‚Biologie‘. Die botanische Biologie (1771) von Johann Jakob Planer (1743-1789)*. In: Höxtermann, Ekkehard et al. (Hrsg.): *Berichte zur Geschichte der Hydro- und Meeresbiologie*. Berlin: VWB, S. 269–282.
- Kanz, Kai Torsten, 2002: *Von der Biologia zur Biologie – Zur Begriffsentwicklung und Disziplinengese vom 17. zum 20. Jahrhundert*. In: Hossfeld, Uwe, Junker, Thomas (Hrsg.): *Die Entstehung biologischer Disziplinen II*, Berlin: VWB, S. 9–30.
- Karafyllis, Nicole (Hrsg.), 2003: *Biofakte. Versuche über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen*. Paderborn: Mentis.
- Knorr-Cetina, Karin, 1984: *Die Fabrikation von Erkenntnis*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Knorr-Cetina, Karin, 2002: *Wissenskulturen. Ein Vergleich naturwissenschaftlicher Wissensformen*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Köchy, Kristian, 1997: *Ganzheit und Wissenschaft. Das historische Fallbeispiel der romantischen Naturforschung*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Köchy, Kristian, 2003: *Perspektiven des Organischen. Biophilosophie zwischen Natur- und Wissenschaftsphilosophie*. Paderborn, München, Wien, Zürich: Schöningh.
- Köchy, Kristian, 2003b: *Vom Genom zum Proteom: Kündigt sich ein Paradigmenwechsel an?* In: *Vom Genom zum Proteom. GID Spezial, Genetischer Informations Dienst*, Nr. 4, S. 13–20.
- Köchy, Kristian, 2005: *Zur Funktion des Bildes in den Biowissenschaften*.

- ten. In: Majetschak, Stefan (Hrsg.): *Bild-Zeichen. Perspektiven einer Wissenschaft vom Bild*, München: Wilhelm Fink Verlag, S. 215–240.
- Köchy, Kristian, 2006: Was kann die Neurobiologie nicht wissen? Bemerkungen zum Rahmen eines Forschungsprogramms. In: Köchy, Kristian, Stederoth, Dirk (Hrsg.): *Willensfreiheit als interdisziplinäres Problem*. Freiburg: Verlag Karl Aber, S. 145–164.
- Kohler, Robert E., 1993: *Drosophila. A Life in the Laboratory*. In: *Journal of the History of Biology* 26 (2), S. 281–310.
- Kohler, Robert E., 1994: *Lords of the Fly. Drosophila Genetics and the Experimental Life*. Chicago, London: University of Chicago Press.
- Kuhn, Thomas S., 1977: Bemerkungen zum Verhältnis von Wissenschaft und Kunst. In: ders.: *Die Entstehung des Neuen. Studien zur Struktur der Wissenschaftsgeschichte*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, S. 446–460.
- Kutschmann, Werner, 1986: *Der Naturwissenschaftler und sein Körper. Die Rolle der ‚inneren Natur‘ in der experimentellen Naturwissenschaft der frühen Neuzeit*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.
- Lakatos, Imre, 1970: *Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes*. In: Lakatos, Imre, Musgrave, Alan (Hrsg.): *Criticism and the Growth of Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, S. 91–197.
- Lange, Rainer, 1999: *Experimentalwissenschaft Biologie. Methodische Grundlagen und Probleme einer technischen Wissenschaft vom Lebendigen*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Lederman, Muriel, Burian, Richard M. (Hrsg.), 1993: *Special Section: The Right Organism for the Job*. In: *Journal of the History of Biology* 26 (2), 1993, S. 233–367.
- Lenoir, Timothy, 1992: *Praxis, Vernunft und Kontext. Der Dialog zwischen Theorie und Experiment*. In: ders.: *Politik im Tempel der Wissenschaft*. Frankfurt a. M.: Campus, S. 172–208.
- Lewontin, R. C., 1983: *The organism as the subject an object of evolution*. In: *Science* 118, S. 63–82.
- Lorenz, Konrad, 1992: *Die Naturwissenschaft vom Menschen*. München, Zürich: Piper.
- Mach, Ernst, 2002: *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung, 1926*. Berlin, Düsseldorf: Parerga.
- Mahner, Martin, Bunge, Mario, 1997: *Foundations of Biophilosophy*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Majetschak, Stefan, 2002: ‚Iconic Turn‘ Kritische Revisionen und einige

- Thesen zum gegenwärtigen Stand der Bildtheorie. In: Philosophische Rundschau 49, S. 44–64.
- Maturana, Humberto R., 1998: Biologie der Realität, Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Maturana, Humberto R., Varela, Francisco J., <sup>3</sup>1991: Der Baum der Erkenntnis. Biologische Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern, München: Goldmann.
- Mayr, Ernst, 1991: Eine neue Philosophie der Biologie. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Merleau-Ponty, Maurice, <sup>2</sup>2004: Das Sichtbare und das Unsichtbare. München: Wilhelm Fink Verlag.
- Mocek, Reinhard, 1996: Ganzheit und Selbstorganisation: Auf den Spuren eines biologischen Grundproblems. In: Küppers, Günter (Hrsg.): Chaos und Ordnung. Formen der Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft. Stuttgart: Reclam, S. 61–96.
- Münste, Thomas F., Heinze, Hans-Jochen, 2001: Beitrag moderner neurowissenschaftlicher Verfahren zur Bewußtseinsforschung. In: Paunen, Michael, Roth, Gerhard (Hrsg.): Neurowissenschaften und Philosophie. Eine Einführung. München: UTB, Wilhelm Fink Verlag, S. 238–268.
- Pickering, Andrew, 1984: Constructing Quarks: A Sociological History of Particle Physics. Edinburgh.
- Popper, Karl R., <sup>10</sup>1994: Logik der Forschung. Tübingen: J. C. B. Mohr.
- Rensch, Bernhard, 1968: Biophilosophie auf erkenntnistheoretischer Grundlage (Panpsychistischer Identismus). Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
- Rheinberger, Hans-Jörg, Hagner, Michael, 1997: Plädoyer für eine Wissenschaftsgeschichte des Experiments. In: Theory in Bioscience 116, S. 11–31.
- Rheinberger, Hans-Jörg, 2001: Experimentalsysteme und epistemische Dinge. Eine Geschichte der Proteinsynthese im Reagenzglas. Göttingen: Wallstein.
- Rosenberg, Alexander, 1985: The Structure of Biological Science. Cambridge, London, New York: Cambridge University Press.
- Roth, Gerhard, 1986: Selbstorganisation – Selbsterhaltung – Selbstreferentialität: Prinzipien der Organisation der Lebewesen und ihre Folgen für die Beziehung zwischen Organismus und Umwelt. In: Dress, Andreas, Hendrichs, Hubert, Küppers, Günter. (Hrsg.): Selbstorga-

- nisation. Die Entstehung von Ordnung in Natur und Gesellschaft. München, Zürich: Piper, S. 149–180.
- Roth, Gerhard, Menzel, Randolph, 1996: Neuronale Grundlagen kognitiver Leistungen. In: Dudel, Josef, Menzel, Randolph, Schmidt, Robert F. (Hrsg.): Neurowissenschaft. Vom Molekül zur Kognition. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, S. 539–560.
- Sachsse, Hans, 1968: Die Erkenntnis des Lebendigen. Braunschweig: Vieweg.
- Sachsse, Hans, 1970: Über den zwiefachen Zugang zum Verständnis des Lebendigen, in: Lohmann, Michael (Hrsg.): Wohin führt die Biologie? Ein interdisziplinäres Symposium. München: Hanser, S. 213–240.
- Schopenhauer, Arthur, <sup>2</sup>1987: Metaphysik der Natur, Philosophische Vorlesungen III, 1820. Herausgegeben von Volker Spierling. München, Zürich: Piper.
- Schopenhauer, Arthur, 1988: Ueber die vierfache Wurzel des Satzes vom zureichenden Grunde, 1847. In: Arthur Schopenhauers Werke in fünf Bänden, III, Kleinere Schriften, Zürich: Haffmans, S. 9–168.
- Sitte, Peter, 1973: Methodengefüge und Erkenntnisfortschritt. In: Verhandlungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte 1972, Berlin, S. 12–18.
- Sitte, Peter, 1978: Die lebende Zelle als System, Systemelement und Übersystem. In: Nova Acta Leopoldina NF 47, 226, S. 195–216.
- Tetens, Holm, 1987: Experimentelle Erfahrung. Hamburg: Meiner.
- Tischler, Wolfgang, <sup>4</sup>1993: Einführung in die Ökologie. Stuttgart, Jena, New York: Gustav Fischer.
- Toepfer, Georg, 2006: Linien, Bäume, Kreise, Netze – und die Gegenstände der Biologie. In: Kaasch, Michael et. al. (Hrsg.): Netzwerke. Berlin: VWB, S.79–94.
- Vollmer, Gerhard, 1995: Biophilosophie. Stuttgart: Reclam.
- Weber, Marcel, 2005: Philosophy of Experimental Biology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Weiss, Paul A., 1970: Das lebende System. Ein Beispiel für den Schichtendeterminismus. In: Koestler, Arthur, Smythies, J. R. (Hrsg.): Das neue Menschenbild. Die Revolutionierung der Wissenschaften vom Leben. Wien, München, Zürich: Fritz Molden, S. 13–59.
- Wilson, Edward O., 1997: Der Wert der Vielfalt. Die Bedrohung des Artenreichtums und das Überleben des Menschen. München: Piper.

Woolgar, Stephen, Latour, Bruno, 1979: *Laboratory Life. The Construction of Scientific Facts*. Princeton: Princeton University Press.

Ziche, Paul (Hrsg.), 1999: *Introspektion. Texte zur Selbstwahrnehmung des Ich*. Wien, New York. Springer.

Jutta Weber

## Mannigfaltige Techno-Naturen

### Von epistemischen Modellsystemen und situierten Maschinen

#### Zusammenfassung

Mannigfaltige Techno-Naturen an der Schnittstelle von Sozialem, Technischem und Natürlichem entstehen in den und durch die Diskurse und Praktiken der neuen Technowissenschaften. Entgegen der verbreiteten These von der Entkörperung und Dekontextualisierung von Modellorganismen im Labor zeige ich in meinem Beitrag auf, wie auf je unterschiedliche Weise ontische Dimensionen von Modellorganismen und Technofakten in der Artificial Life-Forschung und Robotik sichtbar bzw. unsichtbar gemacht werden.

Gerade die Untersuchung der Konstruktion der ontischen Dimension nicht-menschlicher Akteure in unterschiedlichen Forschungspraktiken eröffnet Möglichkeiten, nichtmenschliche Akteure ernst zu nehmen, erlaubt ein genaueres Verständnis des Un/Sichtbarmachens von spezifischen ontischen Dimensionen nichtmenschlicher Akteure und zeigt Wege für kritische Interventionen in unsere Technowissenschaftskultur auf. Sie vermeidet jene bauchrednerischen Erzählpraktiken, die mit der Stimme aus dem Off den nichtmenschlichen Akteuren Eigenschaften verordnen und sie damit einmal mehr zum Verstummen bringen.

#### Abstract

A multitude of techno-natures emerge through discourses and practices of the new technosciences. While some philosophers and science studies scholars argue that model organisms and artefacts are getting more and more disembodied and decontextualised in the laboratory, I want to show how ontic dimensions of model organisms and artefacts are made invisible as well as visible in different practices of technosciences like Artificial Life and robotics.

This analysis opens up possibilities for an understanding of how ontic dimensions of non-human actors are made visible and invisible in technoscientific practices. At the same time it allows the development of a concept of non-human actors beyond reifying, velontriquist practices of representation as well as a critical intervention in the co-construction of our technoculture.

„Natur als Fremdes zu denken heißt, in spielerischer Weise darauf gefaßt zu sein, daß einem der Himmel auf den Kopf fallen könnte.“ *Volker Schürmann*

Mannigfaltige Techno-Naturen, Entitäten an der Schnittstelle von Sozialem, Technischem und Natürlichem, entstehen in den und durch die Diskurse und Praktiken der neuen Technowissenschaften. In meinem Beitrag werde ich aufzuzeigen, wie ontische Dimensionen von Modellorganismen und Technofakten in der Artificial Life-Forschung und Robotik auf je unterschiedliche Weise sichtbar oder unsichtbar gemacht werden – unter anderem auch durch erkenntnistheoretische und ontologische Grundlagen und Forschungsinteressen der jeweiligen Forschungsbereiche.

Die Fokussierung auf Differenzen der ontologischen Politik (Mol 1999) in unterschiedlichen technowissenschaftlichen Praktiken erscheint mir aussichtsreicher als ein entfremdungstheoretischer Ansatz, der von einer ‚natürlichen Natur‘ ausgehend auf Momente der Entkörperung und Dekontextualisierung von Modellorganismen im Labor fokussiert und die Zurichtung der Organismen beklagt, aber konträre Bewegungen in technowissenschaftlichen Praktiken ausblendet. Gerade die Untersuchung der Konstruktion der ontischen Dimension nichtmenschlicher Akteure in unterschiedlichen Forschungspraktiken eröffnet Möglichkeiten, nichtmenschliche Akteure ernst zu nehmen, erlaubt ein genaueres Verständnis des Un/Sichtbarmachens von spezifischen ontischen Dimensionen nichtmenschlicher Akteure und zeigt Wege für kritische Interventionen in unsere Technowissenschaftskultur auf. Sie vermeidet jene bauchrednerischen Erzählpraktiken, die mit der Stimme aus dem Off den nichtmenschlichen Akteuren Eigenschaften verordnen und sie damit einmal mehr zum Verstummen bringen.

Ontologie verstehe ich dabei im Folgenden als jene unumgängliche Annahmen jeglicher Theorie in Bezug auf die Existenz gewisser Konstellationen von Dingen, Entitäten, Systemen, AgentInnen etc. Ontologische Setzungen sind also jene Annahmen, die „normieren, was – im Rahmen einer Theorie – seiende Sachverhalte sind.“ (Ritsert 1996, 160 f.).<sup>1</sup> Der Begriff des Ontischen bezeichnet Seiendes bzw. seiende Sachverhalte.

## 1. Der Modellorganismus als epistemisches Objekt

Neuere Technikforschung und -philosophie beschreibt als zentrale Funktion des Labors die Produktion von epistemischen (Ersatz-)Objekten. Sie ermögliche es der Forschung, von den Objekten der (Freiland-)Natur unabhängig zu werden:<sup>2</sup>

„Die Technofakten der dritten Natur<sup>3</sup> bilden im Kern die Referenzobjekte des Labors; darauf – nicht auf Lebewesen der ersten Natur – richten sich die Aussagen über Ergebnisse von Experimenten oder die Diskurse der Forschungsgemeinschaften. Der Modellierung dient der immense Apparatpark der materiellen Infrastruktur des Labors.“ (Ritsert 1996, 338)

Dieses Verfahren würde durchgeführt, um die Aneignung natürlicher Objekte zu vereinfachen. In den High-Tech-Laboren der Mikrobiologie spitzt sich dies soweit zu, dass die Organismen teilweise selbst zum Mikro-Labor, sozusagen zum Labor im Labor werden.<sup>4</sup> *Natürliche Entitäten stehen modellhaft für Prozesse ein, die die unterschiedlichsten Lebewesen charakterisieren sowie für Eingriffsmöglichkeiten in diese. Sie haben Stellvertreterfunktion und werden in den technowissenschaftlichen Theorien auf ihren rein epistemologischen Status reduziert. Sie sind Erkenntnismodelle, deren eigener ontischer Status, ihre spezifische Verkörperung, Beschaffenheit und Situiertheit<sup>5</sup> jenseits ihrer epistemologischen Funktion ausgeblendet werden soll, um so als unbeschriebenes Blatt für die Experimente und Simulationen in den High-Tech-Laboren fungieren zu können. An ihnen werden Eingriffe vorgenommen, die bei anderen Organismen wie z. B. Menschen oder auch anderen großen Säugetieren aus ethischen, methodischen oder ökonomischen Gründen nicht durchgeführt werden können oder sollen.<sup>6</sup> Beispiel hierfür wäre die transgenische OncoMouse<sup>TM</sup>, ein gezüchtetes Tiermodellsystem für die Krankheit Brustkrebs, das heute in großem Maßstab kommerziell erzeugt und in der medizinischen Forschung für Versuche vertrieben und benutzt wird. Diese Tiere sind jenseits des Labors nicht überlebensfähig, und ihr ‚natürliches‘ Habitat ist das Labor.<sup>7</sup>*

Die *entscheidende Frage* hier ist nun: Inwieweit gelingt die intendierte Dekontextualisierung dieser Organismen, inwieweit werden sie zu puren epistemischen Objekten?

Die – partiell entfremdungstheoretisch anmutende – These von der Umwandlung natürlicher Entitäten in dekontextualisierte, epistemische

Objekte wurde primär von Technowissenschaftsforscherinnen<sup>8</sup> im Feld der Biowissenschaften entwickelt. Angesichts der umfassenden Funktionalisierung von Labororganismen und der Patentierung von Lebewesen erscheint dies vermutlich erst einmal intuitiv als einleuchtend, andererseits erinnert sie an das altvertraute Muster innerhalb der Technikphilosophie, welche Technik und Leben, Kultur und Natur diametral gegenüberstellt.<sup>9</sup> In letzterer finden sich Ansätze, die angesichts aktueller technowissenschaftlicher Entwicklungen das Verschwinden des Realen, des Natürlichen oder des Körpers prognostizieren (vgl. u. a. Baudrillard 1978, Böhme 1992, Virilio 1994).<sup>10</sup> Diese Interpretation setzt implizit – interessanterweise in ähnlicher Weise wie fortschrittsgläubige Ansätze – voraus, dass Natur, Organismen und Körper beliebig verfügbar sind. Sie erscheinen dann als flexibel formbare Objekte aus beliebig zurechtbarer ‚Trägersubstanz‘. Die völlige Dekontextualisierung von Organismen würde voraussetzen, dass in sie beliebige und unterschiedlichste Zwecke eingeschrieben bzw. unterschiedlichste Muster und Strukturen aufgebracht werden können. Mehr oder weniger problemlos scheint man sie von natürlichen, lebendigen Organismen in entkörperte oder eindimensionale Technofakte verwandeln zu können. Interessanterweise würde das implizit auch voraussetzen, dass der umgekehrte Prozess – die Verwandlung von eindimensionalen, entkörpernten Technofakten in Lebendiges – möglich wäre. Eine Vorstellung, die alte Allmachtsphantasien, die man gerade kritisieren möchte, unfreiwillig affirmiert.

Vor diesem Hintergrund ist z.B. auch Nicole Karafyllis skeptisch bezüglich der beliebigen Herstellbarkeit und Modellierung von Organismen als auch hinsichtlich der Modellierung von Lebendigem auf der Basis von Technofakten. Mit Blick auf die Artificial Life-Forschung verweist sie darauf, dass es

„keine *Generatio spontanea* [gibt; JW]. Im Bereich der Modellierung des Lebendigen müssen wir immer mit dem leben, was schon da ist. Dies gilt auch im biotechnisch arbeitenden Labor, in dem Organe, Gewebe, Zellen, Gene von existierenden Lebewesen verarbeitet und verändert werden. Technisches Handeln als Werkzeughandeln mit Lebewesen ist möglich, Herstellungshandeln als Konstruktion des Lebens [...] ist ohne immer schon vorhandene Lebewesen unmöglich.“ (Karafyllis; unveröffentl. Manuskript)

Die andere Option wäre nun, davon auszugehen, dass Organismen (und vielleicht jegliche ontische Entitäten) eine eigene Aktivität besitzen.

Im folgenden möchte ich die ‚ontologische Politik‘ (Mol 1999) in der

neueren Wissenschafts- und Technikforschung skizzieren, die versucht, Optionen für eine symmetrische Behandlung<sup>11</sup> von menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren zu entwickeln. Insofern diese Option in alte reduktionistische Muster der Techniktheorie zurückfällt, weil sich hinterrücks eine Präferenz von gewissen menschlichen Akteuren (Wissenschaftler und Ingenieure) und nicht-menschlichen Akteuren (Maschinen) einschleicht, werde ich meine Argumentation an die ‚Trickster‘-Ontologie von Haraway anschließen. Diese hat eine umfassendere Symmetrie zum Ziel, die auch nicht-maschinelle nicht-menschliche Akteure wie z. B. Modellorganismen berücksichtigt. Eine solche Ontologie ermöglicht es, entfremdungstheoretische Interpretationen der Entkörperung von Modellorganismen in Frage zu stellen, ohne dabei Natur *konkrete* ontische Beschaffenheiten zuspochen zu *müssen*. Im Anschluß werden technowissenschaftliche Ansätze und Praktiken der Artificial Life-Forschung und der neueren Robotik bei der Modellierung von künstlichen Systemen verglichen, die radikal bzgl. des Stellenwerts von Situiertheit, materialer Beschaffenheit und Körperlichkeit<sup>12</sup> differieren. Dieser Vergleich soll deutlich machen, dass zum einen die Isolation und Dekontextualisierung von Objekten nicht immer erkenntnisfördernd ist und dies auch zunehmend in den Technowissenschaften selbst thematisiert wird. Zum anderen verweisen die Unterschiede zwischen differenten technowissenschaftlichen Theorien und Praktiken darauf, dass je nach methodologischem Ansatz und technowissenschaftlichen Praktiken ganz unterschiedliche ontische Dimensionen von Modellorganismen bzw. -systemen sichtbar und unsichtbar gemacht werden (können).

## 2. Eine Rückkehr der Dinge? Zur Ontologie-Debatte in den neueren Science & Technology Studies

Die Frage danach, ob (Modell-)Organismen vollständig dekontextualisiert und auf ihre epistemische Funktion reduziert werden können, ist letztlich eine der ‚ontologischen Politik‘ (Mol 1999). Welche Entitäten gelten einer Theorie als einflußreich, handlungsfähig, als Bedeutung produzierend oder auch eigenaktiv? Was für Evidenzen gibt es im Zuge der Veränderungen unserer Technowissenschaftskultur dafür, dass nicht-menschliche Entitäten auch Akteure sein können?

Die Debatte über die angemessene(n) Ontologie(n) im Zeitalter der Technoscience dominiert seit einiger Zeit die Science & Technology Studies – auch wenn der Begriff der Ontologie hier nur bei einigen Vertretern explizit gemacht wurde.<sup>13</sup> Doch die Frage der Grenzziehung zwischen verschiedenen ontischen Bereichen und ihre Beschaffenheit ist heftig umstritten in der „postkonstruktivistischen“ bzw. „postsozialen“ Technikforschung (Degele 2002, 126). Aufgrund der radikalen Auflösung der Grenzen zwischen Natur und Kultur, zwischen Organischem und Nicht-Organischem, zwischen Menschlichem und Nicht-Menschlichem in unserer Technowissenschaftskultur ist die Frage nach der Eigenaktivität von nicht-menschlichen Entitäten auch zunehmend in das Zentrum der Theoriebildung gerückt.

Aufgrund einer forcierten Politik der Vermischung bzw. ‚Übersetzung‘ zwischen dem Sozialen, Technischen und Natürlichen wird eine ‚symmetrische Anthropologie‘ (Latour 1995a) bzw. Ontologie attraktiv. Insofern Mischwesen, Hybride aus Natur und Kultur einen wesentlichen Gegenstandsbereich heutiger Techno-Naturen bzw. Techno-Kulturen ausmachen, wird eine allein sozial- oder technikdeterministische Beschreibung von Welt als unzureichend empfunden. Die Hybriden aus Natürlichem, Sozialem und Technischen gelten nun als der Stoff, aus dem die moderne Welt in all ihren Vernetzungen gemacht ist. Der Technikforscher Bruno Latour fordert deshalb eine komplexe(re) Betrachtungsweise unserer Welt, die sich nicht auf die Betrachtung einzelner (sozialer oder technischer) Phänomene beschränkt.<sup>14</sup>

Die Modellorganismen des Labors sind klassische Vertreter des Bereichs des Hybriden und Vermischten. So gilt die erwähnte transgenische OncoMouse™ als Cyborg, als eine Zusammensetzung „aus dem Organischen, Technischen, Mythischen, Textuellen und Politischen“ (Haraway, 1995b, 116), insofern sie zugleich Tiermodellsystem und epistemisches Objekt, eine käufliches wissenschaftliches Instrument und das erste patentierte Tier der Welt, eine Waffe (gegen den Krebs), aber auch ein selbstbewegtes (!) und lebendiges Tier ist. Aufgrund seiner chimärischen Existenz bewegt sich dieses hybride Wesen fließend zwischen Metapher und materialem Fakt – gewissermaßen im „Reich der Untoten“ (Haraway 1995a, 113).

Angesichts der zunehmenden Bedeutung von soziotechnischen Systemen in denen immer unklarer ist, wer Effekte zeitigt und Bedeutungen produziert (und wer nicht) sowie der ubiquitären Vermischung von Natur-

lichem und Künstlichen und der Auflösung der Grenzen der traditionellen ontischen Bereiche werden alte Subjekt-Objekt-Verhältnisse und die hierarchische Unterscheidung von erster, zweiter und dritter Natur in Frage gestellt:

„The subject-object-dichotomy distributed activity and passivity in such a way that whatever was taken by one was lost to the other. If Pasteur makes up the microbes, that is, invents them, then the microbes are passive. If the microbes ‚lead Pasteur in his thinking‘ then it is he who is the passive observer of their activity. We have begun to understand, however, that the pair human-nonhuman does not involve a tug-of-war between two opposite forces. On the contrary, the more activity there is from one, the more activity there is from the other. ... The subject-object-dichotomy had another disadvantage. Not only was it a zero-sum game, but there were, by necessity, only two ontological species: nature and mind (or society).“ (Latour 1999, 147)

Konsequenterweise sind in den postkonstruktivistischen Ansätzen der Akteur-Netzwerk-Theorie (ANT)<sup>15</sup> die handelnden und Bedeutung produzierenden Akteure nicht mehr primär der Mensch und / oder die Natur, sondern man möchte alle Entitäten dynamisieren. Menschliche und nicht-menschliche Entitäten werden als Akteure und Aktanten<sup>16</sup> interpretiert, die in einem „Quasi-Universal“ (Latour 1997, 45) namens Netz bzw. Kollektiv operieren. Bei der Konstitution der vielschichtigen Netzwerke<sup>17</sup> bzw. bei dem, was Latour ‚Kollektiv‘<sup>18</sup> nennt und alle ontologischen Bereiche durchziehen bzw. umfassen soll, sind klassisch soziale Akteure genauso mit von der Partie wie natürliche, kulturelle oder diskursive. Natur, Diskurs und Gesellschaft sollen gleichermaßen berücksichtigt werden, wobei sich diese ontologischen Bereiche gleichzeitig kaum (noch) voneinander trennen lassen.<sup>19</sup> Gemäß der symmetrischen Anthropologie gibt es nicht-menschliche wie menschliche, technische wie soziale Akteure – und vor allem aber hybride, organisch-technische Akteure.

Nimmt man die Postulate der postkonstruktivistischen Technikforschung ernst, wären die Modellorganismen nicht nur als tabula rasa für und Produkt der technowissenschaftlichen Praktiken vorzustellen, sondern es wäre von einem eigenen Anteil der Entitäten an den Experimenten, den Forschungsergebnissen und der Herstellung von Bedeutung auszugehen, insofern sie auch Akteure im Netzwerk sind. Und so schreibt dann auch Latour mit Bezug auf die Mikrobe Louis Pasteurs:

„Wenn sie keine Wesenheit ist, diese Mikrobe, wie wäre sie dann zu definieren? Nun, als *die vorläufige Form* der Netze, welche die Definition sämtlicher

Akteure, die an der Komposition der Mikrobe beteiligt sind, punktuell oder dauerhaft – je nachdem – abwandeln können. Hat Pasteur die Mikroben entdeckt? Aber nein, er hat sie geformt. Was? Er hätte sie [...] erfunden? Aber nein, denn die Mikroben haben ja ihn geformt, [...] Wie? Es sollte sich um eine Koproduktion, eine Komposition handeln? Nein, es handelt sich um viel mehr, da die Akteure, die in Beziehung treten, nicht dieselben sind wie jene, die Sie vorher isolieren würden, um sie in Beziehung treten zu lassen. Es gibt keine endliche Liste von Faktoren zur Erklärung der Geschichte, weder der Wissenschaftsgeschichte noch der Geschichte überhaupt. Lassen wir das Wesen des Konservatismus und das Wesen der Mikrobe. Lassen wir die Vernunft. Halten wir uns nur an die Netze.“ (Latour 1995b, 787)

Offensichtlich gibt es im Netzwerk die unterschiedlichsten Akteure. Allerdings bleibt in diesem Ansatz unklar, wie entschieden wird, wer oder was als Akteur gilt, wessen Position im Netzwerk von Bedeutung ist, wer Macht hat – und wer nicht. In den konkreten Einzelanalysen der postkonstruktivistischen Technikforschung findet die Produktion von kultureller Intelligibilität bzw. von Nicht-Intelligibilität statt, die jedoch – gegen die eigenen epistemologischen Forderungen – kaum reflektiert und hinsichtlich der Bestimmung von Akteuren und ihrer Aktivität und Passivität diskutiert wird, insofern die Bestimmung der Akteure in einem eher naiv realistischen Gestus als evident bzw. als beobachtbar betrachtet wird.<sup>20</sup> Und so kritisiert Donna Haraway zu recht, dass im Mainstream der Science & Technology Studies doch eine recht einseitige Konzentration auf menschliche und maschinelle Akteure stattfindet, „die in einem sehr engen zeitlichen und räumlichen Rahmen betrachtet werden.“ (Haraway 1995a, 188f., Fußn. 14) Auch wenn viele postkonstruktivistische Ansätze der Science & Technology Studies auf einer theoretischen Ebene Kultur, Natur und Diskurs als unverzichtbare und vor allem *symmetrisch beteiligte* und niemals rein vorkommende Bestandteile des Kollektivs konzeptionieren, aus denen sich Aktanten und Akteure rekrutieren, so lässt sich doch bei genauerem Hinsehen auf die einzelnen Analysen eine Schiefelage zugunsten der menschlichen und maschinellen Akteure feststellen:

„Latour und andere bedeutende Gelehrte der Science Studies arbeiten mit einem zu armen Begriff von ‚Kollektiv‘. Zwar widerstreben sie richtigerweise einer sozialen Erklärung ‚technischer‘ Praxis, indem sie die binäre Beziehung aufsprengen [von Sozialem und Technischen, J. W.], hinterrücks aber führen sie sie wieder ein, indem sie nur einen der beiden Terme – das Technische – anbeben.“ (Haraway 1995a, 190, Fußn. 14)

Hinterrücks werden dann vor allem wieder Wissenschaftler und Maschinen die zentralen Figuren bei der Konstitution des Kollektivs. Diese übergroße Aufmerksamkeit für das Technische lässt sich aktuell unter anderem schön am großen Interesse für die *Handlungsfähigkeit von Maschinen* in der deutschsprachigen Wissenschafts- und Techniksoziologie ablesen. Diese Debatten werden – meines Wissens nach – nicht von Debatten bzgl. der Handlungsfähigkeit von (Modell-)Organismen und anderen Lebewesen begleitet.<sup>21</sup> Autonome Maschinen aus dem Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien bzw. der Künstlichen Intelligenz werden als sozial mehr oder weniger handlungsfäh eingeschätzt. Im Kontext der Aktivität von nicht-menschlichen Akteuren scheint mir dies primärer Fokus der Techniksoziologie bzw. -forschung zu sein,<sup>22</sup> während sich die Debatten um die Entmaterialisierung, Dekontextualisierung und mangelnde Situierung von Lebewesen eher im Kontext der Lebenswissenschaften und Biotechnologien abspielen.

Die einseitige Fokussierung auf die Handlungsfähigkeit maschineller Akteure und damit des Technischen führt wiederum dazu, dass das Soziale – im Sinne von struktureller Ungleichheit, welche in soziotechnische Systeme ein- und ausgebaut wird – unsichtbar gemacht wird. Die Verdinglichung des Sozialen, wie sie etwa durch den Sozialdeterminismus älterer Ansätze (z. B. Bloors ‚Strong Programm‘) gegeben war, wird nun durch eine Verdinglichung des Technischen abgelöst. Die Techniksoziologin Gesa Lindemann kritisiert am ANT-Ansatz von Bruno Latour und Michel Callon, dass sie nicht wie deklariert, Akteure der Netzwerke ganz offen im Feld ausmachen, sondern dass sie letztlich klassische ‚soziale‘ Akteure präferieren bzw. gegen ihr eigenes Credo andere Akteure kaum in den Blick bekommen: „Latour und Callon gelingt es nämlich nur bis zu einem gewissen Grad, die Grenzen des Sozialen (bzw. den Akteursstatus; J. W.) kontingent zu setzen. Nicht umsonst sind ihr letztgültiger Bezugspunkt, um den Gegenstand ihrer Analyse zu fixieren, die Aktivitäten menschlicher Akteure (scientists and engineers).“ (Lindemann 2002, 63) Wissenschaftler wie Pasteur oder Pouchet, Boyle und Hobbes werden unter der Hand wieder die zentralen Akteure der soziotechnischen Netzwerke, des großen Kollektivs und damit die bevorzugten Objekte der postsozialen Wissenschafts- und Technikforschung – eine Fokussierung wie man sie aus der traditioneller Wissenschaftsforschung und -geschichte schon lange kannte. Neu dazugekommen in der Theoriebildung der ANT sind nun technische Artefakte und

Maschinen – vom Schlüssel, Türöffner, der Schusswaffe bis zu Aufzeichnungsapparaturen und zu autonomen Robotern, die ANT zufolge selbst handeln bzw. Handlungen erzwingen, ermöglichen und ausrichten. Die Rückkehr der Dinge bzw. die größere Aufmerksamkeit für das Nicht-Menschliche, die ANT gefordert hatte, fällt damit recht einseitig aus. Die Verdinglichung des Technischen wie die Ausblendung der nicht-menschlichen und zugleich nicht-technischen Akteure – nämlich die der Natur – reifiziert letztlich hierarchisch organisierte, dichotome Begriffsordnungen und setzt traditionelle epistemologische Ansätze mit klaren Subjekt-Objekt-Trennungen unter der Hand fort.<sup>23</sup>

Der Mainstream von ANT hilft insofern bei der Frage nach der Rolle der nicht-menschlichen, nicht (rein) technischen Akteure wie Tiere, Pflanzen, aber eben auch Mäuse der Familie OncoMouse™ in soziotechnischen Systemen nicht weiter.

„Wir brauchen eine Methode, politisch beurteilen zu können, wie die Herstellung von kultureller Nicht-Intelligibilität unterschiedlich mobilisiert wird, um das politische Feld zu regulieren – wer wird also als ein ‚Subjekt‘ gelten und wem wird abverlangt werden, nicht als ‚Subjekt‘ zu gelten?“  
*Judith Butler*

### 3. Eine Rückkehr der Lebewesen: Zur kulturellen Intelligibilität von nicht-maschinellen & nichtmenschlichen Akteuren

Donna Haraway ist dagegen eine der wenigen postkonstruktivistischen Technikforscher, die ganz offensiv eine andere ‚ontologische Politik‘ (Mol 1999) unterstützt. Sie geht von der Aktivität und Bedeutungsproduktion nichtmenschlicher, nicht-maschinellen Akteure aus: „The corporatization of biology could not have happened if mice and molecules did not cooperate too, and so they and their kind were actively solicited to enter new configurations of biological knowledge.“ (Haraway 1997, 96). Mit ihrem radikalen Statement nimmt sie die These von der Eigenaktivität nicht-menschlicher Akteure beim Wort und gesteht dabei konsequenterweise auch Tieren, Pflanzen, und Cyborgs inklusive Modellorganismen

kulturelle Intelligibilität – und d. h. hier Eigenaktivität und Bedeutungsproduktion – zu. Trotz aller erkenntnistheoretischen Schwierigkeiten (inklusive des Animismus<sup>24</sup>), die auch wieder nur die Repräsentation nicht-menschlicher Akteure durch menschliche vollzieht und damit die Asymmetrien der Repräsentation reifiziert, beharrt sie auf der ‚aktiven Qualität‘ nichtmenschlicher Organismen:

„Ich bestehe darauf, daß sowohl die Menschenwesen, [...] wie auch die ganze nicht-menschliche Natur als lebendig, einflußreich, handlungsfähig, als Akteure und Aktoren – kurz: als Feder- und Regieführende im Spiel der Erkenntnisproduktion – angesehen werden müssen“ (Haraway 1995e, 144).

Wichtig ist hier die Formulierung: ‚angesehen werden müssen‘. Haraway behauptet, dass es konstruktiv ist, von der Eigenaktivität der Natur auszugehen. Dies würde adäquatere Konversationen zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren ermöglichen. Mit der Annahme der Eigenaktivität von Natur, die vermutlich von Autopoiesistheorien oder der Theorie dynamischer Systeme inspiriert ist,<sup>25</sup> anthropomorphisiert sie nicht Natur, sondern formuliert Bedingungen, unter denen unter Umständen „more fruitfully (...) livable politics and ontologies in current life worlds“ (Haraway 2004, 4) möglich werden könnten. Sie setzt auf die Anerkennung der „significant otherness“ (Haraway 2004) der nicht-menschlichen Akteure, die eindeutige Zuschreibungen vermeidet und „emergent ontologies“ (Verran, zit nach Haraway 2004, 7) befördern soll und damit eine weniger hierarchisch und von Projektionen bestimmte Form der Konversation zwischen differenten Akteuren.

Sie arbeitet mit dem Bild einer artefakt(ualist)ischen<sup>26</sup> Natur, die als Trickster symbolisiert wird, etwa als der Coyote aus der Hopi-Mythologie,<sup>27</sup> der ein eigenwilliger und sich permanent wandelnder Agent ist, der sich nicht eindeutig als gut oder böse identifizieren lässt und der immer wieder interveniert.

„Sie [die Tiere; J. W.] bewohnen weder die Natur (als Objekt), noch die Kultur (als Ersatzmenschen), sondern einen Ort namens Anderswo. [...] Doch gibt es in der Coyote-Welt von nicht-maschinellen nichtmenschlichen Wesen mehr als nur Tiere. Der Bereich von maschinellen und nicht-maschinellen nichtmenschlichen Wesen [...] schließt sich den Menschen beim Erbauen des artefaktischen Kollektivs namens Natur an. Keiner dieser Aktanten kann einfach als Ressource/Grund/Matrix/Objekt/Material/Instrument/gefrorene Arbeit betrachtet werden, sie sind *beunruhigender* als das.“ (Haraway 1995a; Hervorhebung J. W.)

Gemeinsam bauen bzw. ko-konstruieren menschliche und nicht-menschliche Akteure ihr Kollektiv, kooperieren, handeln Grenzen aus und machen Politik.<sup>28</sup> Sieht man sich Donna Haraways Arbeiten zu den Biotechnologien, zur Immunbiologie oder zur Primatenforschung genauer an, wird deutlich, dass sie nicht nur auf der theoretischen Ebene die nichtmenschlichen Lebewesen zu zentralen Akteuren des Kollektivs erklärt – wie das auch im Mainstream der Technikforschung geschieht –, sondern dass die Aktivität und Bedeutungsproduktion der nicht-maschinellen, nicht-menschlichen Akteure auch in ihren Analysen Raum bekommen.

Wenn auch diese Form der ontologischen Politik erst einmal vielversprechend erscheint, bleibt doch unklar, wie das jeweilige Verhältnis von menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren konkret zu denken sei. Haben alle Akteure und Agenten die gleichen Möglichkeiten der Bedeutungsproduktion und das gleiche Potential an Eigenaktivität? Manchmal erscheinen menschliche und nicht-menschliche Akteurinnen bzw. Aktanten in ihren Analysen als ebenbürtig. Dezidierte Aussagen hierzu macht Haraway allerdings nicht. Auch wenn sich die ontologischen Bereiche von Diskurs, Kultur und Natur nicht (mehr?) rein bestimmen lassen, bleibt dennoch die Frage, ob wir es hier mit einer gleichberechtigten Beziehung jeweiliger Akteure untereinander zu tun haben – die Begriffe der Kooperation und Ko-Konstruktion scheinen das nahe zu legen.<sup>29</sup>

Andererseits ermöglicht ihr Ansatz, entfremdungstheoretische Interpretationen von der Entkörperung der Modellorganismen (und anderer Entitäten) kritisch zu hinterfragen – ohne dabei Natur *konkrete* ontische Beschaffenheiten zuschreiben zu müssen. Um Natur anders denken zu können, denn als passive Materie und tabula rasa, in die Beliebiges einzuschreiben ist, geht sie von einem Naturbegriff aus, der keine Differenzen zwischen erster, zweiter oder dritter Natur setzt, sondern allgemein nichtmenschlichen nicht-maschinellen Akteuren Bedeutungsproduktion und Eigenaktivität zugesteht. Sie möchte die ontischen Eigenschaften der nichtmenschlichen Akteure möglichst weitgehend offen lassen und damit hierarchische Effekte der Repräsentation – sprich Bauchrednerei – vermeiden, die entstehen, wenn menschliche Agenten einmal mehr für die nichtmenschlichen sprechen. Haraway zieht es vor, anzunehmen, dass eine – wenn auch schwierige – Konversation zwischen menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren möglich ist.<sup>30</sup> In neuerer Zeit hat sie versucht, dies am Beispiel der komplizierten (und spezifischen) Bezie-

hung („compagnionship“) von Mensch und Hund zu explizieren. Eine nicht reifizierende Beziehung basiert ihrer Meinung nach dabei nicht auf Anthropomorphisierung und Zuschreibung, sondern auf „emergent practices; i.e. in vulnerable, on-the-ground work that cobbles together non-harmonious agencies and ways of living that are accountable both to their disparate inherited histories and to their barely possible but absolutely necessary joint futures. For me, that is what significant otherness signifies.“ (Haraway 2004, 7) Diese Konversation ist als offenes Feld, als immer wieder neu zu unternehmendes Unterfangen nach dem Prinzip von trial & error konzipiert, das nicht nur für unser Verhältnis mit Tieren, sondern ganz allgemein für unser Verhältnis zur Welt gilt. Wissen im emphatischen Sinne versteht Haraway als eine suchende Bewegung, die von „inevitable comic and tragic mistakes“ (Haraway 2004, 35) durchzogen ist – egal, ob der oder das Andere tierisch, menschlich oder unbelebt ist.

Damit widerspricht sie Interpretationen, die transgenische Lebewesen allein als epistemische Modelle ohne eigene ontische Eigenschaften interpretieren. Diese Interpretationen wiederholen nur den alten Schöpfungsmythos und das Produktionsparadigma neuzeitlichen Denkens, denn:

„Es ist der leere Raum, die Unentscheidbarkeit, die Gerissenheit anderer Akteure, die ‚Negativität‘, die mich auf die *Wirklichkeit* und damit die letztliche *Nicht-Repräsentierbarkeit* der sozialen Natur vertrauen läßt und mich gegenüber Doktrinen der Repräsentation und Objektivität mißtrauisch macht.“ (Haraway 1995a, 48)

Dagegen setzt Haraway ihre Trickster-Ontologie, welche – ähnlich gewissen Motiven Kritischer Theorie – dem Bilderverbot verpflichtet ist. Zugleich bestimmt sie nichtmenschliche Akteure als unberechenbar und letztlich unrepräsentierbar. Allerdings gelingt es ihr nicht immer diese Leerstelle auch wirklich offen zu halten. Die intendierte Negativität der artefaktischen Natur, die die Figur des Tricksters markiert, wird oft partiell durch die positive Zuschreibung von Eigenschaften wie List, Humor und Widerborstigkeit, die der Coyote in der Mythologie auch traditionell aufweist, unterwandert. Einerseits wird so die Eigenaktivität von (Modell-)Organismen denkbar, andererseits stellt sich die Frage, ob hier nicht hinterrücks eine ‚positive‘ Ontologie eingeführt wird bzw. eine Anthropomorphisierung stattfindet, die Haraway gerade vermeiden wollte. Die Negativität wird nun doch wieder mit Eigenschaften gefüllt.

Eine andere Frage ist, ob und inwieweit diese radikal symmetrische

Ontologie nicht auch den Blick auf verdinglichende Praktiken der Technowissenschaften verstellt. Inwieweit kann sie vor dem Hintergrund der Eigenaktivität noch die Reduktion von menschlichen und nichtmenschlichen Lebewesen auf ihren Objektstatus in technowissenschaftlichen Praktiken thematisieren? Oder sind diese allein aufgrund der (Annahme ihrer) Eigenaktivität geschützt? Inwieweit werden sie sogar wiederum für diese Praktiken verantwortlich gemacht, insofern unterstellt wird, dass sie an ihnen aktiv partizipieren? Und was bedeutet in diesem Kontext die ontologische Nivellierung von Maschinen und Organismen, die gleichermaßen Akteure im Netzwerk werden?

Die Frage des Verhältnisses der menschlichen, maschinellen und nicht-menschlichen nicht-maschinellen Akteure kann ich hier nicht abschließend klären, aber ich möchte im folgenden eine situierte Ontologie entwickeln, um einen neuen, nicht-entfremdungstheoretischen Blick auf die technowissenschaftliche Produktion von Modellorganismen, Hybriden und Technofakten zu gewinnen. ‚Situierter Ontologie‘ heißt hier, dass angesichts der Einsicht, dass jegliche Theorie ontologische Politik betreibt und Grundannahmen über die Verfaßtheit von Welt, Materialität, Natur etc. macht, offensiv mit den eigenen ontologischen Setzungen umgegangen wird.<sup>31</sup> Insofern greife ich Haraways Annahme der Eigenaktivität und damit die von der Unmöglichkeit radikaler Entmaterialisierung und Dekontextualisierung von nichtmenschlichen nicht-maschinellen Akteuren auf, um auf dieser Grundlage die Un/Sichtbarmachung von Modellorganismen und Technofakten in differenter technowissenschaftlichen Praktiken zu verfolgen.

#### 4. Rekonstruktion der Kritik der Entmaterialisierung: Die informationstheoretisch interpretierten Organismen der Artificial Life-Forschung

Die Artificial Life-Forschung wurde immer wieder für ihre Abstraktionsverfahren, ihre dekontextualisierenden und entmaterialisierenden Praktiken von der Technikforschung kritisiert.<sup>32</sup> Im Folgenden möchte ich eine kurze Zusammenfassung dieser Kritik geben, um eine Grundlage zu schaffen für einen Vergleich mit neueren technowissenschaftlichen Praktiken in der Robotik, die zwar partiell an die Artificial Life-Forschung anschließen, aber eine radikale Wendung zu Verkörperung

(Embodiment), Materialisierung und Situierung<sup>33</sup> vollziehen und damit eine Ontologie praktiziert, die die zuvor ausgeblendeten Dimensionen sichtbar macht.

Die Artificial Life-Forschung (AL) ist eine Hybridwissenschaft an der Schnittstelle von Informatik, Künstlicher Intelligenz, Biologie, Kognitionswissenschaften, Mathematik, Physik und Neurophysiologie. Sie möchte mehr oder weniger abstrakt formulierte Prinzipien des Lebens ausarbeiten und diese von kohlenstoffbasierten Organismen auf siliziumbasierte übertragen. Diese Idee gründet zum einem im Konstruktionsprinzip transklassischer Maschinen, die auf der Trennung von Software und Hardware, Programm und Bauplan basiert und deren formale Struktur die Umsetzung der unterschiedlichsten Algorithmen erlaubt. So schreibt Christopher Langton, Mitbegründer der Artificial Life-Forschung: „Since we know it is possible to abstract the logical form of a machine from its physical hardware, it is *natural* to ask whether it is possible to abstract the logical form of an organism from its biochemical wetware.“ (Langton 1996, 55; Hervorhebung J. W.).

Zum anderen basiert diese Forschung auf der informationstheoretischen Beschreibung von Organismen und biologischen Prozessen, die auch die Übertragbarkeit von Prinzipien aus dem Reich der Biologie in die Künstliche Intelligenz bzw. AL-Forschung ermöglichen soll. Dabei wird primär der dematerialisierende Informationsbegriff von Shannon und Weaver verwendet, der als unabhängig von der materialen Grundlage und damit als kontext- und bedeutungsfrei definiert wird: „Shannon’s theory defines information as a probability function with no dimensions, no materiality, and no necessary connection with meaning. It is a pattern, not a presence“. (Hayles 1999, 18) Die Trennung von Information und Materialität sichert die Universalität und Übertragbarkeit von Information zwischen unterschiedlichsten Medien bzw. Agenten.

Ähnlich wie bei der Konstruktion transgenischer Modellorganismen, die als rein epistemische Objekte fungieren sollen, lässt sich hier ein Trend ausmachen, materiale Eigenschaften auszublenden – sei es im Labor oder eben im Computer. Wichtige Bausteine für die informationstheoretische Neudefinition von Leben sind – natürlich neben der Informationstheorie – auch die Theorie dynamischer Systeme und die Selbstorganisations-theorie. Letztere wird dann in der AL-Forschung als Argument für die Präponderanz der Form vor der Materie genutzt:

„Life is a property of form, not of matter, a result of the organization of matter rather than something that inheres in the matter itself. Neither nucleotides nor amino acids nor any other carbon-chain molecule is alive – yet put them together in the right way, and the dynamic behaviour that emerges out of their interactions is what we call life.“ (Langton 1996, 53)

Der Fokus des Interesses liegt auf formalen bzw. formalisier- und mathematisierbaren Strukturen, die Organismen wie Artefakte durchziehen (sollen). Diese lassen sich gut im Computer simulieren und störende, nicht-informationstheoretische Eigenschaften sollen ausgeblendet werden. Zielpunkt dieser Forschung formuliert Christopher Langton folgendermaßen:

„Das endgültige Ziel beim Experimentieren mit Künstlichem Leben wäre es, ‚Leben‘ in einem anderen Medium zu erschaffen, idealerweise in einem virtuellen Medium, wo das Wesentliche des Lebens von den Details seiner Erfüllung in irgendeinem Modell abstrahiert werden kann. *Wir würden gern Modelle bauen, die so lebensecht sind, daß sie aufhören, Modelle des Lebens zu sein, und statt dessen Beispiele für das Leben selbst werden.*“ (Langton zit. nach Levy 1996, 107; Hervorhebung J. W.)

Deutlicher lässt sich der Wunsch nach Identität von epistemischem Objekt und natürlichem Organismus kaum formulieren. Nachdem die Organismen mit Hilfe von Informations- und Selbstorganisationstheorie auf formale Strukturen reduziert und ontische Aspekte (auf der theoretischen Ebene) ausgeblendet wurden, träumt man davon, die durch sie gewonnen, abstrakten Modelle bzw. synthetischen Modellorganismen zum Leben zu erwecken. In gewisser Weise wird die Kopie zum eigentlichen Original, das niemals existiert hat.

*Doch wenn die ontische Beschaffenheit, die Situiertheit und Verkörperung der Technofakte und Modellorganismen anathema wird, heißt dies noch lange nicht, dass sie diese nicht besitzen. Sie werden aufgrund der epistemologischen und ontologischen Grundlagen der Artificial Life-Forschung zum blinden Fleck in ihren Praktiken, die gleichzeitig durchaus materiale Entitäten und Welten ko-konstruieren. Und diese blinden Flecken der Forschung, die durch die jeweilig differenten ontologischen und epistemologischen Setzungen erzeugt werden, die wiederum unterschiedliche ontische Eigenschaften der Entitäten (mehr oder weniger) zum Vorschein bringen, werden interessanterweise zum Thema der technowissenschaftlichen Forschung selbst.*

## 5. Die situierten und verkörperten Modellorganismen der Robotik

Während sich in der Artificial Life-Forschung eher die Tendenz der Dekontextualisierung und Entmaterialisierung verfolgen lässt, entwickelt sich in der Robotik der Achtziger Jahre des 20. Jahrhunderts ein differenter Ansatz. Dieser schließt zwar durchaus an gewisse Elemente der Artificial Life-Forschung an – wie z. B. an das Interesse für die Biologie –, doch gleichzeitig vollzieht sie eine epistemologische und ontologische Wende. In der neueren verkörperten Robotik wird es zum Programm, *Entitäten so zu konstruieren bzw. evolvieren zu lassen, dass nicht von Verkörperung, materialer Beschaffenheit und Situietheit abstrahiert wird*, da nur so die Konstruktion von intelligenten Systemen plausibel erscheint.

Ein wichtiger Protagonist dieser neuen Richtung ist der Robotiker und heutige Leiter des MIT AI Lab Rodney Brooks. Er schreibt schon 1986 in seinem Arbeitsmemo ‚Achieving Intelligence through Building Robots‘:

„There has been considerable philosophical debate on the possibility of ‚human level‘ artificial intelligence, centred around the notion of that it requires as background the totality of practices which make up the human way of being in the world [Dreyfus 72, 86]. In this note we use a technical rather than a philosophical argument that machines must indeed have a rich background of experience of being if they are to achieve human level intelligence“ (Brooks 1986, 1).

Dass ein Robotiker auf philosophische Debatten in einem wissenschaftlichen Arbeitspapier eingeht – wenn auch nur um sich abzugrenzen –, verwundert auf den ersten Blick. Anlass für die Referenz ist seine Kritik an der traditionellen Künstlichen Intelligenz (KI), die ihm zufolge in einer Sackgasse steckt. Dies sei nicht zuletzt darin begründet, dass die traditionelle KI kein bzw. nicht genug Interesse für den Körper bzw. die physische Realisierung von Intelligenz gezeigt hätte.<sup>34</sup> Er plädiert für eine verhaltensbasierte, verkörperte Robotik, da Intelligenz schließlich in der Natur auch nur verkörpert auftreten würde. Rodney Brooks, Luc Steels, Rolf Pfeifer und viele andere jüngere KI-Forscher fordern dementsprechend: „Intelligence must have a body.“ (Pfeifer / Scheier 1999, XII). Es entsteht eine neue Tradition in der KI, die sich als *embodied cognitive science* versteht, aber auch unter Namen firmiert wie ‚Embodied

Robotics‘, ‚Behavior-Based Robotics‘, ‚Situated Robotics‘, ‚Epigenetic Robotics‘ oder ‚Embedded Robotics‘.

Diese neue Richtung der Robotik schließt teilweise an eine theoretische Tradition (in der Biologie, Psychologie, Philosophie und Ethnologie) an, die von der zentralen Bedeutung von Verkörperung und Situiertheit für Erkenntnis bzw. Kognition ausgeht und die innerhalb der Künstlichen Intelligenz-Forschung lange nicht zur Kenntnis genommen wurde – vielleicht auch weil sie zum großen Teil außerhalb der anglo-amerikanischen Tradition steht.<sup>35</sup> Man denke an Martin Heidegger, Jakob von Uexküll, Jean Piaget, Merleau-Ponty, Hubert Dreyfus, Lucy Suchman und andere. Mitte der Achtziger Jahre entdeckte nun die jüngere Generation der Robotikerinnen – die partiell auch im Bereich der Artificial Life-Forschung arbeiteten – die Nachteile einer allein symboltheoretisch orientierten KI, die primär in Spielzeugwelten agiert bzw. mit Simulationen arbeitet. „The main point of criticism for all these critics was artificial intelligence’s exclusive information processing perspective.“ (Pfeifer/Scheier 1999, XVIII) Das kognitivistische Paradigma, das Intelligenz vor allem als Informationsverarbeitung interpretierte, den menschlichen Geist mit dem Computer parallelisierte und den Körper komplett ausblendete und sich dementsprechend auf die Manipulation abstrakter Symbole fokussiert hatte, erschien dieser neuen Generation nicht mehr überzeugend. Entscheidend bei der Konstruktion intelligenter Systeme war für sie die Interaktion mit der realen Welt: „living beings have to interact with the real world, whereas the computer metaphor has focused on abstract virtual or computational worlds and *has neglected their relationship to the real world.*“ (Pfeifer / Scheier 1999, 2). Dafür sollten die Roboter verkörpert und situiert sein.

Verkörperung (embodiment) hat in der Robotik eine zweifache Dimension: Zum einen bezeichnet Verkörperung autonome Agenten, die nicht nur simuliert, sondern physisch verkörpert sind und mit der Umwelt interagieren. Die enge Koppelung von System und (realer) Umwelt wird als essentiell betrachtet, um auf lange Sicht intelligente Roboter entwickeln zu können, denn: „The real world is, in a sense, part of the ‚knowledge‘ the agent needs to behave appropriately. It can merely ‚look at it‘ through the sensors. In a sense, the world is its own best model.“ (Pfeifer/Scheier 1999, 73) Damit zusammenhängend bedeutet Embodiment in der Robotik auch, dass eine Interaktion mit anderen physischen Kräften oder auch mit Gefahren stattfindet, dass die Energiefrage gelöst,

eben jede Beeinflussung durch die Umwelt bewältigt werden muß. Hier wird also ein großer Teil jener Mechanismen zur Ausblendung der Verkörperung, der physischen Beschaffenheit des Modellorganismus', seine Reduktion auf abstrakte mathematische Prinzipien zurückgenommen und eher ein Setting des Trial & Errors und des Tinkerings<sup>36</sup> entwickelt.

Situiertheit wird in der Robotik als Fähigkeit zur selbständigen Informationsbeschaffung über die aktuelle Umwelt via Sensoren verstanden: „An agent is situated if it can acquire information about the current situation through its sensors in interaction with the environment. A situated agent interacts with the world on its own, without an intervening human“ (Pfeifer / Scheier 1999, 72).

Situiertheit ist für die neuere Robotik ein fast noch wesentliches Merkmal als die Verkörperung, da sie auf eine direkte – möglichst in Echtzeit erfolgende – Interaktion mit der Umwelt abzielt. Hier wird nicht primär auf vorformulierte Prinzipien und formalisierte Strukturen abgehoben, sondern es geht darum, in der Auseinandersetzung mit der Umwelt zu lernen, Wissen aus der Umgebung zu gewinnen und sich an dieser mit den eigenen Mitteln abzarbeiten. Verkörperte Agenten, die mit Plänen ihrer Umwelt ausgestattet sind, die das Verhalten des Agenten wesentlich bestimmen, gelten nicht als situiert.<sup>37</sup>

Offensichtlich haben wir es hier mit einer *gegenläufigen Bewegung* zur Konstruktion von Modellorganismen à la OncoMouse<sup>TM</sup> zu tun: Auch in der neueren Robotik werden Hybride bzw. Technofakte konstruiert, um die Natur zu verstehen bzw. besser manipulieren zu können, aber dies soll gerade nicht durch Komplexitätsreduktion, durch den Rückzug ins Labor und die Produktion von Technofakten der dritten Natur bewerkstelligt werden: Brooks kritisiert dementsprechend in seinem Arbeitsmemo Abstraktion als eine „gefährliche Waffe“ (Brooks 1986, 2).

Nachdem die Mathematisierung und Formalisierung in der traditionellen KI nicht zu den erhofften Erfolgen geführt hat, werden die klassischen Wege der Abstraktion, des analytischen Verfahrens in Frage gestellt: In das Zentrum der Aufmerksamkeit rücken nun die *Situiertheit* der Artefakte, die strukturelle Kopplung von System und Umwelt und die Berücksichtigung ihrer physischen Beschaffenheit (embodiment).

Die Dekontextualisierung, die Ausblendung der Materialität und die Distanzierung von Natur wird als Schwachstelle bzw. blinder Fleck der traditionellen Künstlichen Intelligenz-Forschung benannt.

Ein Interesse für die Situiertheit von Entitäten, ihre historische Dimen-

sion und ihre physische Beschaffenheit findet sich interessanterweise spätestens seit den Neunziger Jahren auch in anderen Bereichen. So entdeckt die Kognitionswissenschaft die enge Kopplung von Geist und Emotion<sup>38</sup> und die Gehirnforschung setzt sich mit der Plastizität des Gehirns, seiner Veränderbarkeit in der Zeit auseinander.<sup>39</sup>

In der Robotik ist das Interesse für die intrinsischen Eigenschaften des Materials, die ontische Beschaffenheit der Artefakte, ihre zeitliche<sup>40</sup> und räumliche Situiertheit nicht zu übersehen. Man könnte fast von einem holistischen Ansatz sprechen:

„Rather than focusing on the neural substrate only, the focus is now on the complete organism which includes morphology (shape, distribution and physical characteristics of sensors and actuators, limbs, etc.) and materials. One of the surprising consequences is that often, problems that seem very hard if viewed from a purely computational perspective, turn out to be easy if the embodiment and the interaction with the environment are appropriately taken into account.“ (Pfeifer 2001, 297)

Materialität wird offensichtlich nicht mehr als Leerstelle und *tabula rasa* interpretiert, die es jeweils beliebig zu formen gilt, sondern erhält eine eigene Dignität. Hier scheint sich eine Komplexitätssteigerung<sup>41</sup> – zumindest auf der theoretischen Ebene – bezüglich der Modellierung von Technologiefakten abzuspielen, insofern eine Betonung der ontischen Dimension von Modellorganismen und Artefakten stattfindet. *Der Rückzug in das Labor oder in die Simulation – für die Produktion pflegeleichterer ‚Technofakte der dritten Natur‘ – wird für die eigene Forschung als unproduktiv kritisiert.*

Sicherlich sind viele konkrete Modellierungen – z. B. von Körperlichkeit bzw. Embodiment<sup>42</sup> in der neueren Robotik oft weiterhin reduktionistisch. Dennoch sind in diesem Kontext die Einsicht der neueren Robotik entscheidend, ontische Dimensionen von Organismen zu berücksichtigen, um dadurch bessere künstliche intelligente Systeme konstruieren zu können.

Ein konkretes Beispiel hierfür ist der ‚Passive Dynamic Walker‘ wie er an verschiedenen Instituten entwickelt wird, unter anderem an der Cornell Universität, am Artificial Intelligence Laboratory der Universität Zürich oder an der Delfter Universität. Der Leiter des AI Lab in Zürich, Rolf Pfeifer, beschreibt dieses Artefakt folgendermaßen:

„A passive dynamic walker is a robot capable of walking down an incline without control, i. e. without actuation (Figure 1). *This requires that the dynamics*

*(the physical characteristics) be carefully taken into account. The strategy behind the passive dynamic walker – a bottom-up strategy – is that once the robot can walk down an incline, little control is required to make it walk on a flat surface and once this ability is in place it is again easy to add control to make it go over obstacles. The passive dynamic walker is an example of ‚cheap design‘, meaning that it exploits the physics and the system-environment interaction which makes it cheap and parsimonious ...“ (Pfeifer 2000, 2 f., Hervorhebung J. W.).*

Durch Beobachtung, Bezug auf die Erkenntnisse der Verhaltensforschung und einem geduldrigen Tinkering – dem Herumprobieren mit verschiedenen Materialien und Konfigurationen von Teilen – werden biomimetische Roboter entwickelt. „(D)ie Morphologie der Roboterkörper und ihrer Bewegungsmöglichkeiten ist an biologischen Vorbildern wie Heuschrecken, Ameisen und Schlangen orientiert“ (Christaller et al. 2002, 74) – oder eben auch an denen des Menschen, wenn es um die Konstruktion humanoider biomimetischer Roboter geht.<sup>43</sup>

Wie umfassend dieser Blick auf die Natur, auf die ontische Beschaffenheit der jeweiligen Vorbilder ist, wie weit er geht und inwieweit er nur als Inspirationsquelle für hybride Lösungen dient, ist sehr unterschiedlich. Während es manchmal bei der Rhetorik verbleibt, insofern mit einer dekontextualisierten und quantifizierten Version von Verkörperung gearbeitet wird, wie z. B. bei Quick und Dautenhahn (1999), finden sich auf der anderen Seite gerade auch in der Forschung von Pfeifer und seinen Kolleginnen viele Beispiele für die Aufmerksamkeit für Materialität, Historizität und Situiertheit. Auch wenn also die Umsetzung unterschiedlich gut gelingt, so wird doch deutlich, *dass in der neueren Robotik ein umfassender Rückgriff auf spezifisch ontische Dimensionen von Organismen und Artefakten stattfindet, die in der Artificial Life-Forschung ausgeblendet worden waren, um sie nun in den eigenen Forschungsprojekte nutzbar zu machen.*

„How to ‚figure‘ actions and entities nonanthropomorphically and nonreductively is a fundamental theoretical, moral, and political problem.“ *Donna Haraway*

## 6. Mannigfaltige Techno-Naturen

Man erinnere sich: Auf einer theoretischen Ebene hatte ich im Anschluss an Haraways Trickster-Ontologie für die Option einer Eigenaktivität von Organismen, Cyborgs und Artefakten argumentiert. Letzteren wird Aktivität und Bedeutungsproduktion zugesprochen, wobei es wesentlich ist, dass im Rahmen dieser situierten Ontologie Akteure nicht wieder – wie in den konkreten Analysen des Mainstreams der postsozialen Technikforschung – auf Maschinen und Wissenschaftler reduziert werden.

Der Verweis auf die Komplexitätsreduktion in der Artificial Life-Forschung und konträr hierzu das neue Interesse an ontischen Dimensionen von Organismen und Artefakten in der jüngeren Robotik sollte verdeutlichen, dass je nach technowissenschaftlichen Diskursen und Praktiken ganz unterschiedliche Techno-Naturen mit differenten ontischen Dimensionen – sei es eine informationstheoretische, eine materiale oder auch historische – sichtbar und unsichtbar werden.

In bestimmten Praktiken der Biowissenschaften oder auch in der Artificial Life-Forschung dominieren Formalisierungs- und Mathematisierungsprozesse, und eine *Ausblendung* ontischer Eigenschaften von Organismen ist zu beobachten. Diese Eigenschaften werden aber nicht eliminiert, wie es viele Ansätze aktueller Technikforschung und -philosophie nahe legen. Im Rahmen einer situierten Ontologie ist davon auszugehen, dass durch technowissenschaftliche Diskurse und Praktiken ontische Dimensionen von Entitäten genauso unsichtbar wie sichtbar (gemacht) werden. Im Bereich der neueren Robotik ist genau zweiteres gut zu beobachten. Vor diesem Hintergrund ist die These von zunehmender Produktion entkörperter, epistemischer Objekte im Labor, die die Organismen der ersten und zweiten Natur völlig substituieren, fragwürdig geworden.

Genauer zu untersuchen wäre, welche theoretische Setzungen als auch Praktiken in den Technowissenschaften wiederum welche spezifischen ontischen Dimensionen der Organismen und Artefakte in den Vordergrund rücken. Lassen sich diese überhaupt vollständig ausblenden oder

gälte es nicht, diese Prozesse genauer zu untersuchen mit Blick auf die Wirkmächtigkeit und Bedeutungsproduktion der nichtmenschlichen Akteure? Eine weitere Frage wäre, in welchen Kontexten welche spezifischen ontischen Eigenschaften von Entitäten interessieren und warum.

Vielleicht würde die Untersuchung dieser Fragen auch weiterführen bezüglich des Problems der asymmetrischen Repräsentation von menschlichen und nichtmenschlichen Akteuren und ihrer Eigenaktivität sowie des Problems der ontologischen Nivellierung von Organismen und Maschinen.

Die genauere Analyse der Sichtbarmachung oder Unsichtbarmachung der ontischen Dimensionen von Entitäten könnte kritische Interventionsmöglichkeiten eröffnen in Richtung auf eine umfassendere und vielstimmigere Ko-Konstruktion von Welt. Sie zeigt, wie sehr die technowissenschaftlichen Diskurse und Praktiken bestimmte ontologische Dimensionen von Artefakten und Organismen zum Vorschein bringen und andere eliminieren. Dies aber ist eine zentrale Voraussetzung für eine konstruktive Technikgestaltung, die sich ihrer Intervention und Konstruktionsleistung bewusst ist und einem Technikdeterminismus abschwört. Die Konstruktion von technischen bzw. nicht-menschlichen Systemen wird dann als Ko-Konstruktion diverser Akteure verstanden, wobei die Eigenaktivität der nicht-menschlichen nicht-maschinellen Akteure eben mehr oder weniger Aufmerksamkeit bekommen kann. Dabei muß sich zeigen, inwiefern ein solcher Ansatz die noch radikalere Instrumentalisierung von nicht-menschlichen Akteuren ermöglicht oder ob er primär die Eigenaktivität der nicht-menschlichen Akteure zum Vorschein bringt.

Voraussetzung für derartige Untersuchungen ist eine situierte Ontologie, die mit einer Setzung arbeitet – nämlich der Eigenaktivität und Bedeutungsproduktion aller Akteure und Aktanten –, ohne vorab eine völlige Symmetrie der Akteure zu unterstellen, sondern die es sich zur Aufgabe macht, dieses Verhältnis im je spezifischen Kontext zu analysieren. Die Reinheit oder auch nur Trennbarkeit der ontischen Bereiche gilt es dabei allerdings zu hinterfragen. Eine situierte Ontologie wäre auszuarbeiten, die davon ausgeht, dass auch nicht-technische nichtmenschliche Agenten einflussreich sind und Bedeutung produzieren, aber die zugleich negativ operiert, insofern sie auf dem Bilderverbot beharrt und konkrete(re) Zuschreibungen verweigert. So werden nicht schon vorab die spezifischen ontischen Dimensionen der Akteure und Aktanten fest-

gelegt, was einmal mehr in einer Zuschreibung der Beschaffenheit der nicht-menschlichen, aber organischen Akteure und damit in ihrer Reifizierung und der altbekannten Bauchrednerie münden würde.

Widerspruchsfrei lässt sich eine derart situierte Ontologie sicherlich nicht denken.

Für ihre kritischen Kommentare danke ich herzlich Gregor Schiemann, Kristian Köchy und Nicole Karafyllis.

### *Anmerkungen*

- 1 Zur Begriffsklärung von Ontologie vgl. auch Falkenburg 1995, 44–46.
- 2 Vgl. u. a. Knorr-Cetina 1991, Amann 1994, Felt et al. 1995.
- 3 Der Begriff der ersten Natur bezieht sich bei Ritsert – mit Bezug auf Hegel und die Kritische Theorie – auf die (idealtypische) Vorstellung einer un bearbeiteten Natur, während der Begriff der zweiten Natur auf die Verschränkung von Natur und Gesellschaft zielt. Der Begriff der dritten (artifiziiellen) Natur bezeichnet jene Natur, die durch die epistemischen und ontischen Praktiken der neueren (Techno-)Wissenschaften hervorgebracht wurde; vgl. Ritsert 1996, 337–339.
- 4 Vgl. Rheinberger 2000.
- 5 Zum Begriff der Situietheit und Verkörperung im Kontext der Robotik vgl. Abschnitt 5.
- 6 Vgl. Ritsert 1996, Amann 1994.
- 7 Vgl. Haraway 1997.
- 8 In loser Folge wird im Text sowohl das generalisierte Maskulinum wie Femininum gebraucht, um die nicht immer zufrieden stellende Lösung des großen ‚I‘ zu vermeiden. D. h., dass mit Philosophinnen durchaus auch Philosophen gemeint sind, sowie mit Technikforschern durchaus auch Technikforscherinnen.
- 9 Vgl. kritisch hierzu Karafyllis 2003, Schiemann 2000.
- 10 Kritisch hierzu vgl. auch Bauer 2003, Saupe 2003, Karafyllis unveröffentlichtes Manuskript sowie Karafyllis 2003.
- 11 Latour 1995a.
- 12 Zum Konzept des Embodiment und der Situietheit in der neueren Robotik vgl. Abschnitt 5.
- 13 Vgl. Latour 1995a, Mol 1999, Law / Urry 2003, Weber 2003.
- 14 Vgl. hierzu ausführlicher Weber 2003, 83.
- 15 Vgl. u. a. Callon / Latour 1981, Haraway 1985, Law 1986.
- 16 „Der Begriff des Aktanten hat – neben dem des Akteurs – in der literarischen Semiotik den Begriff der Person oder der dramatis persona ersetzt, denn er umfaßt nicht nur Menschen, sondern auch Tiere, Objekte und Konzepte.“ (Latour 1995a, 116; vgl. auch Felt et al. 1995, 121)

- 17 Zur symmetrischen Anthropologie: „Sie erklärt Wahrheiten und Irrtümer mit denselben Begriffen – das ist das erste Symmetrieprinzip; sie studiert gleichzeitig die Produktion von menschlichen und von nicht-menschlichen Wesen – das ist das verallgemeinerte Symmetrieprinzip; und sie nimmt schließlich eine Zwischenposition zwischen traditionellen und neuen Forschungsfeldern ein, weil sie jede vorgängige Festlegung über einen möglichen Unterschied zwischen den Abendländern und den Anderen suspendiert. Sie verliert zwar den Exotismus, aber sie gewinnt neue Felder, auf denen sie das zentrale Dispositiv aller Kollektive, einschließlich der unsrigen, studieren kann. Sie verliert ihr ausschließliches Festhalten an den Kulturen oder den kulturellen Dimensionen; aber sie gewinnt die Naturen, und das ist unbezahlbar.“ (Latour 1995a, 139).
- 18 Vgl. Latour 1995a, 11; Serres 1987, 344 ff.
- 19 Vgl. kritisch hierzu Weber 2003, 79–102.
- 20 Vgl. Weber 2003, 97ff.
- 21 Debatten bzgl. der Handlungsfähigkeit von Tieren, Pflanzen und anderen Organismen (aber nicht oder kaum von Modellorganismen) finden sich dagegen in aktuellen, meist von analytischer Philosophie geprägten Ethik-Debatten – sei es mit Blick auf den Personenstatus im Kontext von kognitionswissenschaftlichen Debatten oder bzgl. des Status von höher entwickelten Säugetieren im Kontext von Naturschutz-Kontroversen.
- 22 Vgl. Hierzu u.a. Malsch 1998, Rammert / Schulz-Schaeffer 2002.
- 23 Um dies zu vermeiden, arbeiten kritische Theoretikerinnen die Bedeutung des Sozialen im Sinne von strukturellen struktureller Ungleichheit in soziotechnischen Systemen heraus. Ein Beispiel wären die Arbeiten von Geoffrey Bowker und Susan Leigh Star zu den oft unsichtbaren Ein- und Ausschlussmechanismen durch Standardisierungen und Normierungen, die u.a. auch bei der Produktion kultureller Intelligibilität arbeiten (Bowker / Star 1999). Ein anderes ist die Arbeit von Gesa Lindemann, die deutlich macht, wie Diskurse und Praktiken in Medizin und Recht den Cyborg Komapatient im Reich der Lebenden oder Un/Toten situieren (vgl. Lindemann 2002) und damit implizit die Grenzen des Sozialen immer wieder neu ziehen.
- 24 Vgl. Haraway 1995d, 100 f.
- 25 Dieser ‚Ursprung‘ der Idee der Eigenaktivität in neuerer Zeit wäre sicher auch eine kritische Untersuchung wert.
- 26 Vgl. Wöllmann 2005, 155–157.
- 27 Die Figur des Tricksters erscheint abwechselnd als Gauner, Flaneur oder auch guter Geist. Charakteristisch für ihn ist, dass er sich jeglichen Zuschreibungen und Benennungen entzieht und sein ‚wahrer‘ Charakter immer im Dunkeln bleibt; vgl. hierzu Haraway 1995d; Phelan 1996.
- 28 Vgl. auch Weber 2003, 266f.
- 29 Ausführlicher vgl. hierzu Weber 1998.
- 30 „Wir müssen, jenseits von Verdinglichung, Besitz, Aneignung und Nostalgie, ein anderes Verhältnis zur Natur finden. Da sie die Fiktion, entweder Subjekte oder Objekte zu sein, nicht mehr aufrechterhalten können, müssen alle, die an den entscheidenden Konversationen teilnehmen, in denen

- Natur konstituiert wird, eine neue Grundlage finden, auf der sie gemeinsam Bedeutungen produzieren.“ (Haraway 1995d, 82).
- 31 Vgl. ausführlicher Weber 2003, 228.
- 32 Adam 1998, Hayles 1999, Kember 2001, Weber 2001.
- 33 Vgl. Abschnitt 5.
- 34 Vgl. kritisch hierzu Brooks 1986; Dautenhahn / Christaller 1997; Pfeifer / Scheier 1999; Christaller et al. 2002.
- 35 Vgl. Chrisley / Ziemke 2002, 1106.
- 36 Vgl. in diesem Abschnitt weiter unten.
- 37 Vgl. Pfeifer / Scheier 1999, 72.
- 38 Vgl. Damasio 1994.
- 39 Vgl. Schmitz 2003.
- 40 „One of the most fundamental problems with such [expert; JW] systems was the lack of grounding. Grounding means that an expert's skills are built on top of a long history of interaction with a physical and social world during which sensory-motor and perceptual skills have evolved.“ (Pfeifer / Scheier 1999, 295).
- 41 Diese Komplexitätssteigerung ist nicht in einem naiv fortschrittlichen Sinne gemeint, sondern bedingt sich zum einen aus der Perspektive der neueren Forschung auf diesen spezifischen Aspekt sowie wie vermutlich auch auf Entwicklungen im materialen Bereich, die dies überhaupt erst ermöglichen.
- 42 Vgl. Weber 2005.
- 43 Vgl. hierzu die Seite des AI Lab, Zürich unter <http://www.ifi.unizh.ch/ailab/projects/biped/> (last access 1/2005).

### *Literatur*

- Alison, Adam, 1998: *Artificial Knowing: Gender and the Thinking Machine*. London / New York: Routledge
- Amann, Klaus, 1994: Menschen, Mäuse und Fliegen. Eine wissenssoziologische Analyse der Transformation von Organismen in epistemische Objekte. In: *Zeitschrift für Soziologie*, 23. Jg., Heft 1, S. 22–40
- Baudrillard, Jean, 1978: *Agonie des Realen*. Berlin: Merve
- Bauer, Yvonne, 2003: *Sexualität – Körper – Geschlecht: Befreiungskurse und neue Technologien*. Opladen: Leske & Budrich
- Böhme, Gernot, 1992: *Natürlich Natur: über Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit*. Frankfurt a. M.: Suhrkamp
- Bowker, Geoffrey C.; Star, Susan Leigh, 1999: *Sorting Things Out: Classification and Its Consequences*. Cambridge, MA: MIT Press
- Brooks, Rodney, 1986: *Achieving Intelligence through Building Robots*. A.I. Memo 899. In: <http://www.ai.mit.edu/people/brooks/papers/AIM-899.pdf> (last access: 2/2003)

- Callon, Michel; Latour, Bruno, 1981: Unscrewing the Big Leviathans: How Do Actors Macrostructure Reality. In: Knorr, Karin; Cicourel, Aron (Eds.): *Advances in Social Theory and Methodology. Toward an Integration of Micro and Macro Sociologies*. Boston, MA: Routledge & Keagan Paul, S. 277–303
- Chrisley, Ronald; Ziemke, Tom, 2002: Embodiment. *Encyclopedia of Cognitive Science*. London: Macmillan Publishers, S. 1102–1108
- Damasio, Antonio R., 1994: *Descartes' Error : Emotion, Reason, and the Human Brain*. New York: Putnam
- Dautenhahn, Kerstin; Christaller, Thomas, 1997: Remembering, Rehearsal and Empathy – towards a Social and Embodied Cognitive Psychology for Artefacts. In: Ó Nualláin, Seán; Mc Kevitt, Paul; Mac Aogáin, Eoghan (Eds.): *Two Sciences of Mind: Readings in Cognitive Science and Consciousness*. Amsterdam: John Benjamins, S. 257–282
- Degele, Nina, 2002: *Einführung in die Techniksoziologie*. München: Fink
- Dreyfus, Hubert L., 1972: *What Computers Can't Do: a Critique of Artificial Reason*. New York: Harper & Row
- Falkenburg, Brigitte, 1995: *Teilchenmetaphysik: zur Realitätsauffassung in Wissenschaftsphilosophie und Mikrophysik*. Heidelberg / Berlin / Oxford: Spektrum
- Felt, Ulrike; Nowotny, Helga; Taschwer, Klaus, 1995: *Wissenschaftsforschung: eine Einführung*. Frankfurt a.M. / New York: Campus
- Haraway, Donna J., 1985: 'A Manifesto for Cyborgs: Science, Technology, and Socialist Feminism in the 1980s'. In: *Socialist Review* 80, S. 65–108
- Haraway, Donna J., 1995a: *Monströse Versprechen. Eine Erneuerungspolitik für un/an/geeignete Andere*. In: Dies.: *Monströse Versprechen. Coyote-Geschichten zu Feminismus und Technowissenschaft*. Hamburg: Argument-Verlag, S. 11–81 (im Orig. 1992)
- Haraway, Donna J., 1995b: *Menü mit Mensch™*. In: Dies.: *Monströse Versprechen. Coyote-Geschichten zu Feminismus und Technowissenschaft*. Hamburg: Argument-Verlag, S. 113–117 (im Orig. 1992)
- Haraway, Donna J., 1995c: *Situiertes Wissen. Die Wissenschaftsfrage im Feminismus und das Privileg einer partialen Perspektive*. In: Dies.: *Die Neuerfindung der Natur. Primaten, Cyborgs und Frauen*. Hrsg. von Carmen Hammer und Immanuel Stieß. Frankfurt a.M. / New York: Campus, S. 73–97

- Haraway, Donna J., 1995d: Jenseitige Konversationen; irdische Themen; lokale Begriffe. In: Dies.: Monströse Versprechen. Coyote-Geschichten zu Feminismus und Technowissenschaft. Hamburg: Argument-Verlag, S. 81–112 (im Orig. 1992)
- Haraway, Donna J., 1995e: Primatologie ist Politik mit anderen Mitteln. In: Orland, Barbara; Scheich, Elvira (Hrsg.): Das Geschlecht der Natur: feministische Beiträge zur Geschichte und Theorie der Naturwissenschaften. Frankfurt a.M.: Suhrkamp 136–198
- Haraway, Donna J., 1996: Anspruchsloser Zeuge @ Zweites Jahrtausend. FrauMann © trifft OncoMouse™. Leviathan und die vier Jots: *Die Tatsachen verdrehen*. In: Scheich, Elvira (Hrsg.): Vermittelte Weiblichkeit: feministische Wissenschafts- und Gesellschaftstheorie. Hamburg: Hamburger Edition, S. 347–389
- Haraway, Donna J., 1997: Modest-Witness Second\_Millennium. Female-Man © Meets Onco Mouse™: Feminism and Technoscience. New York/London: Routledge
- Haraway, Donna J., 2004: The Companion Species Manifesto: Dogs, People, and Significant Otherness. Chicago: Prickly Paradigm Press
- Hayles, Katherine N., 1999: How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics. Chicago / London: Chicago University Press
- Karafyllis, Nicole C. (Hrsg.), 2003: Biofakte: Versuch über den Menschen zwischen Artefakt und Lebewesen. Paderborn: Mentis
- Karafyllis, Nicole C., 2005: Brutschränke, Nährmedien und Kältekammern: Das Labor als hybrider Lebens-Raum für Modellorganismen und andere Lebewesen. (unveröffentlichtes Manuskript)
- Kember, Sarah, 2001: Resisting the New Evolutionism. In: Women: a cultural review, Vol.12, No. 1, S.1–8
- Knorr-Cetina, Karin, 1991: Die Fabrikation von Erkenntnis: zur Anthropologie der Naturwissenschaft. Frankfurt a.M.: Suhrkamp (im Orig. 1981)
- Latour, Bruno, 1995a: Wir sind nie modern gewesen: Versuch einer symmetrischen Anthropologie. Berlin: Akademie Verlag (im Orig. 1991)
- Latour, Bruno, 1995b: Pasteur und Pouchet: Die Heterogenese der Wissenschaftsgeschichte. In: Serres, Michel (Hrsg.): Elemente einer Geschichte der Wissenschaften. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, S. 748–789
- Latour, Bruno, 1999: Pandora's Hope. Essays on the Reality of Science Studies. Cambridge, MA / London: Harvard University Press
- Law, John, 1986: The Heterogeneity of Text. In: Callon, Michel; Law,

- John ; Rip, Arie (Eds.): Mapping the Dynamics of Science and Technology: Sociology of Science in the Real World. London: Macmillan, S.67–83
- Law, John / Urry, John, 2003: Enacting the Social, published by the Department of Sociology and the Centre for Science Studies, Lancaster University, at <http://www.comp.lancs.ac.uk/sociology/papers/Law-Urry-Enacting-the-Social.pdf> (last access: 7/2005)
- Langton, Christopher G., 1996: Artificial Life. In: Boden, Margaret A. (Ed.): The Philosophy of Artificial Life. Oxford: Oxford University Press, S. 39–94
- Levy, Steven, 1996: Künstliches Leben aus dem Computer. München: Knaur
- Lindemann, Gesa, 2002: Die Grenzen des Sozialen: zur sozio-technischen Konstruktion von Leben und Tod in der Intensivmedizin. München: Wilhelm Fink
- Malsch, Thomas (Hrsg.), 1998: Sozionik: soziologische Ansichten über künstliche Sozialität. Berlin: Sigma
- Mol, Annemarie, 1999: Ontological Politics. A Word and Some Questions. In: Law, John; Hassard, John (Eds.): Actor Network Theory and After. Oxford: Blackwell & Sociological Review, S. 74–89
- Pfeifer, Rolf; Scheier, Christian, 1999: Understanding Intelligence. Cambridge, MA: MIT Press
- Pfeifer, Rolf, 2000: On the Role of Embodiment in the Emergence of Cognition and Emotion (revised version, January 2000). The 13<sup>th</sup> Toyota Conference. Affective Mindes, November / December 1999. In: <http://www.ifi.unizh.ch/groups/ailab/publications/2000.html>, S. 1–21 (last access: 6/2003)
- Pfeifer, Rolf, 2001: Embodied Artificial Intelligence. 10 Years Back, 10 Years Forward. In: Reinhard Wilhelm (Ed.): Informatics. 10 Years Back. 10 Years Ahead. Lecture Notes in Computer Science. Berlin / Heidelberg: Springer, S. 294–310
- Phelan, Shane, 1996: Coyote Politics. Trickster Tales and Feminist Futures. In: Hypatia, Vol. 11, No. 3, S.130–149
- Quick, Tom; Dautenhahn, Kerstin, 1999: Making Embodiment Measurable. Vierte Fachtagung der Gesellschaft für Kognitionswissenschaft; Workshop „Embodied Mind / A-Life.“ 28. September – 1. October, 1999 (KogWis '99). In: <http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/t.quick/kogwis/webtext.html> (last access: 5/2002)

- Rammert, Werner; Schulz-Schaeffer, Ingo (Hrsg.), 2002: Können Maschinen handeln? Soziologische Beiträge zum Verhältnis von Mensch und Technik. Frankfurt a. M.: Campus-Verlag
- Rheinberger, Hans-Jörg, 2000: Kurze Geschichte der Molekularbiologie. In: Jahn, Ilse (Hrsg.): Geschichte der Biologie: Theorien, Methoden, Institutionen, Kurzbiographien. 3. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Heidelberg / Berlin: Spektrum, S.642–663
- Ritsert, Jürgen, 1996: Einführung in die Logik der Sozialwissenschaften. Münster: Verlag Westfälisches Dampfboot
- Schiemann, Gregor, 2000: Zum Verhältnis von Common Sense und wissenschaftlichem Naturbegriff. In: Franz, Heike ; Kogge, Werner; Möller, Torger; Torsten, Wilholt (Hrsg.): Wissensgesellschaft. Transformationen im Verhältnis von Wissenschaft und Gesellschaft. Tagung vom 13.–14. Juli 2000 an der Universität Bielefeld. IWT-Paper Nr. 25, <http://bieson.ub.uni-bielefeld.de/volltexte/2002/90/html/Wissensgesellschaft.pdf>, S. 202–216 (last access: 12/2004)
- Schmitz, Sigrid, 2003: Neue Körper, neue Normen? Der veränderte Blick durch bio-medizinische Körperbilder. In: Weber, Jutta; Bath, Corinna (Hrsg.): Turbulente Körper und soziale Maschinen: feministische Studien zur Technowissenschaftskultur. Opladen: Leske & Budrich, S. 217–233
- Serres, Michel, 1987: Der Parasit. Frankfurt a.M.: Suhrkamp (im Orig. 1980)
- Virilio, Paul, 1994: Die Eroberung des Körpers. Vom Übermenschen zum überreizten Menschen. München / Wien: Hanser
- Weber, Jutta, 1998: Feminismus & Konstruktivismus. Zur Netzwerktheorie bei Donna Haraway. In: Das Argument. Zeitschrift für Philosophie und Sozialwissenschaften 227, Heft 5, S. 699–712
- Weber, Jutta, 2001: Selbstorganisation als ‚little invisible hands‘: Artificial Life und die wunderbare Ordnung einer undurchschaubaren Welt. In: Bergermann, Ulrike et al. (Hrsg.): Hand-Körper, Medium, Technik. Bremen: Frauenkulturhaus Thealit, S.147–159
- Weber, Jutta, 2003: Umkämpfte Bedeutungen: Naturkonzepte im Zeitalter der Technoscience. Frankfurt a. M./New York: Campus-Verlag
- Weber, Jutta, 2005: Die Produktion des Unerwarteten. Materialität und Körperpolitik in der Künstlichen Intelligenz. In: Bath, Corinna; Bauer, Yvonne; Bock von Wülfigen, Bettina; Saupe, Angelika; Weber, Jutta (Hrsg.) (2005): Materialität denken. Studien zur techno-

wissenschaftlichen Verkörperung – Hybride Artefakte, posthumane Körper. Bielefeld: Transcript-Verlag, S. 59–84

Wöllmann, Torsten, 2005: Die Neuerfindung des Männerkörpers. Zur andrologischen Reorganisation des Apparats der körperlichen Produktion. In: Bath, Corinna; Bauer, Yvonne; Bock von Wülffingen, Bettina; Saupe, Angelika; Weber, Jutta (Hrsg.) (2005): Materialität denken. Studien zur technowissenschaftlichen Verkörperung – Hybride Artefakte, posthumane Körper. Bielefeld: Transcript-Verlag, S. 139–164

Thomas Sören Hoffmann

## Gezeigte versus sich zeigende Natur

Eine Skizze im Blick auf das Verhältnis  
von Labor und Natur

### Zusammenfassung

Der Beitrag analysiert das Verhältnis von Natur und Labor unter dem Gesichtspunkt der Alternative von „sich zeigender“ und „gezeigter Natur“, wobei die im Labor auf dem Wege einer wesentlich technisch-praktischen Erwirkung konkret „gezeigte“ Natur eine der Gegenstandswelt des Menschen immer schon integrierte (und insoweit dimensional verkürzte) Natur ist. Die entscheidende Voraussetzung für die Entstehung der Laborwissenschaft an der Schwelle zur Neuzeit war die Einführung eines Konzepts „handelnder Physik“, das seinerseits die Preisgabe einer vorgängigen „metaphysischen“ Ordnung der Phänomene (insbesondere im Sinne des Substanz-Akzidens-Gefälles) voraussetzt. Die Logik dieses „Zeigens der Natur“ ebenso wie die des modernen, technologieabhängig gewordenen Erkenntnisfortschritts ist wissenschaftstheoretisch mit den Mitteln des Methodischen Konstruktivismus präzise beschreibbar. Für den alternativen Begriff einer „sich zeigenden Natur“ als wesentlich polydimensionaler, einheitsbegrifflich nicht einholbarer Totalität bedarf es jedoch einer genuin naturphilosophischen Reflexion, die insbesondere die mit dem Natürlichen verbundenen Komponenten der Selbstbezüglichkeit und der Differentialität zu thematisieren vermag. Abschließend werden drei Ansatzpunkte eines „nichtlaboratorischen Naturdenkens“ diskutiert.

### Abstract

This contribution analyzes the general relation between nature and laboratory with respect to the alternative of a „presented“ and a „self-presenting nature“. It is argued that as essentially presented by technological means, „nature in the laboratory“ has to be considered as a dimensionally reduced nature already incorporated to the objective world of man. The basic precondition of the emergence of laboratory science on the threshold of modern times was the introduction of a concept of an „active physics“ which itself presupposed the abandonment of a given „metaphysical“ order of phenomena, especially in the sense of the Aristotelian substance-accidence-scheme. The logic of a suchlike forced „presentation of nature“, and also the logic of the modern technology-

dependent ways of progress in knowledge can precisely be analyzed within the theoretical framework of the Paul-Lorenzen-School („Methodological constructivism“). The concept of a „self-presenting nature“, on the other hand, requires a genuine reflection of a philosophy of nature which is able to focus on the aspects of self-reference and differentiability of the genuine instances of nature. Finally three starting-points of a non-laboratorial way of thinking nature are discussed.

Die Frage nach dem Verhältnis von Natur und Labor sowie speziell die Frage nach „der“ Natur „im“ Labor lenkt die Aufmerksamkeit auf einen auszeichnenden, wenn nicht *den* auszeichnenden Modus neuzeitlicher Thematisierung von Natur. Trotz der inzwischen mehrhundertjährigen Geschichte der Laborwissenschaft ist dabei die philosophische Reflexion auf jene *wesentlich* artifizielle, genauer noch technisch-praktische bzw. aktiv-poietische Weise, konkretes Wissen über Natur zu gewinnen, für die „das Labor“ als Ort von Erkenntnisgewinnung steht, vergleichsweise wenig entwickelt. In dem soeben abgeschlossenen größten deutschsprachigen Lexikon der Philosophie beispielsweise, dem „Historischen Wörterbuch der Philosophie“, sucht man einen Eintrag aus dem Wortfeld „Labor“ vergeblich, und auch bei vergleichbaren anderen Werken stehen die Dinge nicht anders. Das heißt gewiß nicht, daß das Problem als solches – das Problem einer Verlagerung der Naturerkenntnis aus dem Bereich rein theoretischer Einstellung in den Raum eines technisch-tätigen Zeigens von Natur unter unsererseits definierten Bedingungen – erkenntnis- oder wissenschaftstheoretisch gänzlich ignoriert worden wäre. In der Tat ist der Paradigmenwechsel, der sich mit der erfolgreichen Etablierung der Baconischen „Experimentalphilosophie“ vollzog und dem sich auch die neue Rolle des Labors einschreiben konnte, seit den Tagen der Urheber dieses Wechsels nicht zuletzt in methodologischer Hinsicht immer wieder bedacht worden. „Nicht observieren, sondern experimentieren ist das Mittel, die Natur und ihre Kräfte aufzudecken“, heißt es etwa in systematisch wichtigem Kontext in Kants *Opus postumum* (Kant, 1938, S. 504): im „Experiment“, in dem nicht „das Objekt den Physiker“, sondern „der Physiker das Objekt bewegt“, liegt nach Kant die Möglichkeit, in die Physik „System“ zu bringen (Kant, 1938, S. 299). Kant hat deutlich gesehen, daß die Experimentalmethode nicht etwa nur dazu bestimmt ist, uns mit „Daten“ zu versorgen, die jenseits der unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung oder Beobachtbarkeit liegen und die wir uns deshalb sozusagen auf Umwegen beschaffen

müssen. Die Bedeutung dieser Methode ist grundsätzlicher: sie verleiht uns gegenüber der Natur *als ganzer* einen qualifizierten nicht-unmittelbaren Standpunkt, der es uns gestattet, Natur überhaupt erst stimmig als *ein Ganzes*, als (in sich bewegte) Totalität anzusehen und zu erschließen. „Natur“ ist im Zeichen der Experimentalmethode, d. h. der „handelnden Physik“, das, was als Funktion eines Systems der bewegenden Kräfte unseren nach konstruktiven Prinzipien a priori aufeinander abgestimmten experimentellen Interventionen materialiter korrespondiert, wobei bewußt ist, daß der Physiker selbst „als Intelligenz zu den bewegenden Kräften der Natur zählt“ (Kant, 1938, S. 299) und somit gleichsam gerade durch die *Intervention* (die willentlich bestimmte Bewegung) auch eine *Partizipation* an Natur (dem Bewegungsganzen) vollzieht. Noch einmal anders: nur die Experimentalmethode erlaubt, weil in ihrem Vollzug den Prinzipien transzendentaler Einheitsstiftung unmittelbar verpflichtet, die Produktion eines *holistischen* Naturbildes, in dem die Punktualität der Einzelwahrnehmung von faktischer Bewegung von vornherein überwunden ist und das zugleich, weil bei den natürlichen Bewegungsverhältnissen ansetzend, doch nicht ein *beliebiges* Bild von Natur, sondern ein ihr selbst „immanentes“ Naturbild gleichsam zum Vorschein bringt.

Dem theoretischen Anspruch nach etwas bescheidener als die Theorie des „Machens der Erfahrung“ beim späten Kant nehmen sich manche andere der heute diskutierten, gleichfalls auf die Art und Weise der Experimentiertätigkeit als Erschließungsbedingung von Naturwissen bezogene Überlegungen aus. Das gilt etwa für Feststellungen wie diejenige Nicholas Reschers, daß es *experimentaltechnologische Grenzen* der Naturerkenntnis derart gibt, daß die Verfügbarkeit von bestimmten Technologien auch über die Verfügbarkeit von bestimmten „Daten“ entscheidet; nach Rescher „fußt substantieller wissenschaftlicher Fortschritt auf Verbesserungen in der datenbeschaffenden Technologie“ (Rescher, 1996, S. 135), und es ist „in jedem gegebenen Stadium der Wissenschaftsgeschichte ... der Fortschritt durch die von der Datenerfassungs- und Datenverarbeitungstechnologie gesetzten impliziten Barrieren unüberwindbar beschränkt“ (Rescher, 1996, S. 142). Nicht zuletzt die „Laboratorien“ bilden insofern – Rescher zitiert hier Donald T. Campbell – „die Kristallisationskerne“ einer sich ihnen anlagernden, um sie herum wachsenden „Wissenschaft“ (Rescher, 1996, S. 138 Anm. 24), und

„nichts könnte das Unvermögen des bloßen und nicht von technologischen Hilfsmitteln für die Erfassung empirischer Daten unterstützten Verstands deut-

licher herausstreichen als die Tatsache, daß es auf vielen Gebieten der Naturwissenschaft heutzutage offensichtlich unmöglich ist, daß wirklich grundlegende Entdeckungen ... nicht von einer Handvoll wichtiger Forschungsprojekte oder Instituten kommen, die ‚auf der Höhe der Fragestellung‘ sind und mit Daten vertraut sind, die von der Grenztechnologie der Forschung geschaffen werden, die also über spezielle ‚hausinterne‘ Informationsquellen wie Teilchenbeschleuniger, Forschungsreaktoren, Teleskope usw. verfügen.“ (Rescher, 1996, S. 139)

Naturerkenntnis ist in diesem Sinne überhaupt technologiegestützt „erwirktes“ Wissen, wobei sich die Annahme aufdrängt, daß ein eigentlicher Fortschritt in den Wissenserwirkungen an immer aufwendigere Technologien, an immer besser ausgerüstete Laboratorien gebunden ist. Dabei zeigt sich dann auch eine Interdependenz von Wissensgewinn und Technologie in dem Sinne, daß jeder Schritt voran auf Seiten der Technologie auch wieder die Erkenntnis weiterbringt – und umgekehrt.

In den folgenden Überlegungen soll es um die Besonderheit des laborgestützten Naturdiskurses gerade auch im Gegenüber zu naturphilosophisch zu bedenkenden alternativen Formen des Naturwissens gehen. Wir verstehen dabei der Grundorientierung nach die „Natur im Labor“ als *gezeigte*, Natur überhaupt aber, insofern sie als Begriff einer von objektivierendem Zeigen unabhängigen Totalität der Bezugspunkt durchaus verschiedener Naturverhältnisse und Naturumgänge ist, als *sich zeigende*, aus sich heraus manifeste Natur. Diese Alternative mag auch dazu verhelfen, die Systematik der jeweils in Anspruch genommenen Naturbegriffe genauer zu fassen. Das gilt jedenfalls insoweit, als „das Labor“ (dieses ganz allgemein verstanden als Stätte einer im Rahmen eines geschlossenen Handlungsraums poetisch vermittelten Vergegenwärtigung von bestimmter äußerer Gegenständlichkeit) unter den Bedingungen neuzeitlich-szientifischer Naturerkenntnis den paradigmatischen Ort der bestimmten Darstellung und Appropriation von Natur in objektiver Bestimmtheit bezeichnet, während eine Naturvergegenwärtigung außerhalb dieses „idealen“ Ortes auf eine Referenzsphäre zielt, die vielmehr eine konstitutiv freigelassene und sich frei erschließende, eine sich in ihrem eigenen Lichte zeigende sein muß. Das Labor als das im Kontext öffentlich-kollektiver Erkenntnisprozesse installierte eigentliche „Auge“ eines allgemeinen, gegenstandsbewußten Blicks verweise mit dem dank seiner in Geltung gesetzten Naturbild auf die Gegenoption zu einer Natur, die in demselben Maße gerade „ungegenständlich“ bliebe, wie sie nur *als totale* thematisch sein könnte, reflexive Elemente

enthielte und allenfalls als Dimensionsbegriff, nicht so sehr als Inbegriff objektiver Gegenständlichkeit faßbar wäre. Wir beginnen den Versuch einer Klärung mit einem Blick auf das Panorama von Naturbegriffen, dem auch unsere Alternative sich einschreibt.

## Pluralität der Naturbegriffe

Die neuere Wissenschaftstheorie hat verschiedentlich darauf hingewiesen, daß der Naturwissenschaftler, jedenfalls insoweit er als „moderner“ Naturwissenschaftler Einzelwissenschaftler an einer jeweils eng umschriebenen „Forschungsfront“ ist, *keinen* eigentlichen oder „globalen“ Naturbegriff benötigt – einen Begriff nämlich, der für seinen konkreten Diskurs viel zu abstrakt, um nicht zu sagen überhaupt nichtssagend sein müßte.<sup>1</sup> In diesem Sinne könnte man durchaus davon sprechen, daß es auch „im Labor“ gerade idealerweise nicht um „Natur“, sondern um die Konstruktion von Bestimmtheit geht, die sich in die objektive Welt als das Ambiente des Menschen fügt. Es sind so denn auch nur erst die ihr engeres Fachgebiet verlassenden Forscher, die über „die Natur“, jetzt im Sinne eines von der Einzelwissenschaft als solcher eigentlich nicht in den Blick zu bringenden Singulums, Rechenschaft geben.<sup>2</sup> Und wie eine „Einheit der Natur“ so allenfalls in der Einheitlichkeit der Verfahren ihrer Bestimmung liegt, so kommt eine mögliche Mannigfaltigkeit der Bedeutungen von „Natur“, geschweige denn eine Einheit der mannigfaltigen Weisen, sich auf Natur zu beziehen, hier nicht in den Blick. Naturphilosophie, die über Natur als Einheit, Mannigfaltigkeit und Totalität zu reden versucht hat, gilt von diesem Standpunkt her gar als obsolet, als durch den Gang der Wissenschaft überwunden.

Dem gegenüber stehen, ebenfalls in neuerer Zeit – man denke an die Ökologiediskussion, an verantwortungsethische oder auch naturästhetische Fragestellungen –, oft sogar sehr weitgespannte Erwartungen an ein (neues) Denken der Natur, das nicht der Logik der Einzelwissenschaft folgt, das uns aber gerade darum mit der „natürlichen Natur“ konfrontierte. Zu nennen ist hier etwa die Hoffnung, Naturphilosophie als Unternehmung der Restitution von Natur als wesentlich uneinholbarer Totalität könne alternative Weisen des Naturverhältnisses und des Naturumgangs aufzeigen, die außerhalb des dem „Bacon-Projekt“ entstammenden Willens zur Naturbeherrschung lägen, ja sie könne geradezu

ursprüngliche „Rechtsansprüche“ der Natur ins Spiel bringen, die am Ende zumindest alle Gutwilligen von der Notwendigkeit eines „Friedensschlusses“ mit der Natur unmittelbar überzeugen müßten.<sup>3</sup>

Bereits diese Differenz in der Stellung zum Begriff der Natur überhaupt zeigt, daß dieser Begriff offensichtlich sehr verschiedener Füllungen fähig ist. Für die Naturphilosophie ist dies nicht eigentlich neu; sie weiß um die wechselseitige Irreduzibilität von differenten Naturverhältnissen und Naturbegriffen des Menschen wie auch darum, daß sich diese auch untereinander bedingen können.<sup>4</sup> Auch theoretische Entwürfe über Natur entstehen so etwa nicht einfach „autonom“, sondern haben bestimmte lebensweltliche, auch naturästhetische Implikationen oder können das Verhältnis des Subjekts zu seiner Leiblichkeit betreffen. Ist das eine beispielsweise deutlich bei der Neuentdeckung des Anspruchs der Natur in der italienischen Renaissance der Fall – man denke hier etwa an Telesio<sup>5</sup> und sein durchaus auch existentiell-ästhetisches Naturverhältnis –, so ist das andere eindeutig im Cartesianismus gegeben, der die Freiräume für eine rigoros objektivistische Rekonstruktion von Natur gerade auch um den Preis der *Distanzierung des Leibseins* als eines konstitutiven Moments des menschlichen Selbstverhältnisses gewinnt.<sup>6</sup> Naturphilosophie könnte entsprechend nur um den Preis eines reduktionistischen Naturalismus der Meinung sein, daß *Naturästhetik* durch *Naturwissenschaft* oder auch umgekehrt zu überwinden sei; ebenso wenig wird sie den *Naturrechtsgedanken* durch die Hermeneutik der zu verschiedenen Zeiten entworfenen *Naturbilder* oder eine transzendentalphilosophisch ansetzende Naturerkenntnislehre durch eine Phänomenologie der Natur erklären wollen. „Natur“ als Totalitätsbegriff fordert schon insofern eine nach Möglichkeit „integrative“ Auslegung, was auf die bleibende Aufgabe naturphilosophischer Reflexion verweist. Es bedarf dabei einer Naturphilosophie, die der Tatsache Rechnung trägt, daß „Natur“ wesentlich *an ihr selbst* Raum der Pluralität, daß sie Sinnpräsenz unter dem Exponenten der Vielheit, der Alterität ist.

In der Perspektive der „gezeigten Natur“ gestalten sich die Dinge dabei freilich anders. „Gezeigte Natur“ meint das Äußere der Sinne, insoweit wir es unserer bewußten Welt, dem Horizont unserer objektiven Erkenntnis anzuverwandeln und stimmig zu integrieren vermögen. Im Sinne des Cartesischen Konzepts der „coniunctio necessaria“ ist „gezeigte Natur“ die in evidente Vorstellungsverbindungen und damit auch in das Bewußtseinskontinuum hinein aufgehobene Natur. Auf der

„gezeigten Natur“ ruhen gleichsam die Zeigestrahle unserer Begriffe und damit der Anspruch des Allgemeinen, des Notwendigen und des Gesetzes. „Gezeigte Natur“ ist ineins damit in den Raum zwingend kommunikablen Wissens transponierte Natur, wobei die konkrete Arbeit dieser Transposition inzwischen von den kollektiven Großunternehmungen der Naturwissenschaften übernommen worden ist. Descartes hat an verschiedenen Stellen, in *Le monde* und später dann auch im *Discours*, die Position entwickelt, daß Natur nur als von uns methodisch rekonstruierte bestimmte Bedeutung besitzt.<sup>7</sup> Ohne unser Zeigen, ohne Wiederholung von Natur im logischen Raum der Evidenz verliert sich Natur in ein Gewühle rational unaufgeschlossen bleibender Vorstellungsfakta. Descartes hat dabei die Konstruktion eines entsprechenden objektiven Naturbildes mit einem zweiten, diesmal menschlichen Sechstageswerk, einer menschlich nachgeholten Schöpfung verglichen und damit in gewisser Weise implizite das berühmte Vico-Axiom auch von seinem Standpunkt aus bestätigt: daß nämlich nur dasjenige Besitz unserer Erkenntnis sein kann, was wir selbst zumindest in Gedanken auch erschaffen oder genetisch darstellen können. Das läuft in der Konsequenz auf die These von der Koextensivität von Bewußtseinsfeld und Natur, jedenfalls der *natura quoad nos*, hinaus. In einer an die Phänomenologie angelehnten Sprache zu reden: „Natur“ als gezeigte ist prinzipiell im Horizont von Welt, der Totalität des Subjekts, offenbar, ja sie ist prinzipiell und ursprünglich *in Welt*, d. h. den durch menschliche Freiheit theoretisch wie praktisch aufgeschlossenen Raum, gestellt.

Worauf zielt demgegenüber der Begriff einer „sich zeigenden Natur“? Gemeint ist mit ihm zunächst eine Natur, die *als* Natur gerade nicht unmittelbar im Gesichtskreis unseres Zeigens und, damit ineins, in der Perspektive unserer Objektivationsleistungen liegt. In jüngerer Zeit hat sich zumal die am Rande schon erwähnte Naturästhetik jenen Weisen eines Begegnenlassens von Natur als Natur zugewandt, die wesentlich nicht in der Reduktion des Natürlichen auf das logische Ambiente, sondern im Freilassen einer eigenen phänomenalen Ordnung besteht, einer Ordnung, die gleichsam unterhalb unserer eigenen Verwaltung von Raum und Zeit konkreten Raum und konkrete Zeit schafft; die jenseits unserer eigenen analytischen Konzeptualisierung des Lebens und seiner Phänomene ursprünglich vitalisiert; die abseits unserer eigenen „ways of worldmaking“ dazu ganz ungleichzeitige Prozesse und Rhythmen der Totalität sehen läßt. Aber das heißt am Ende keineswegs, daß sich eben

*nur* in ästhetischer Hinsicht und also womöglich im zuletzt nur Unverbindlichen ein Aufscheinen freier Natur von sich selbst her ereignen, daß nur hier die Koordinaten unseres logischen Ambientes für einen anderen Anfang durchlässig werden können – so wenig, wie es keineswegs nur die ästhetischen Kategorien des Erhabenen oder des Unvordenklichen, des Stimmigen oder des Bezwingenden der Erscheinung sind, die hier am Platze wären. Das Programm der „Befreiung der Natur“ aus ihren Baconischen „Fesseln“ ist auch ein Programm, das in naturphilosophischer Hinsicht durchaus die Forderung einer konkreten Kategorienlehre der sich zeigenden Natur enthält. Der Blick, dem diese Kategorienlehre sich zu verdanken hätte, ist der Blick nicht auf das Zeigbare, sondern auf das Sich-Zeigen der Natur als solches, auf ihre freie Selbstmanifestation. Es ist der Blick der Freiheit selbst, der frei genug dazu ist, im Absehen von der aus Eigenem bestimmenden Form des Weltersehens einen anderen als den eigenen Anfang, eine andere als die eigene Ordnung, ein anderes als das eigene Selbst zu erblicken. Es geht dabei nicht um den freien Lauf beliebiger Assoziationen, nicht um ungebremste Metaphernproliferation. Die Kategorienlehre des Natürlichen als eines solchen, mit deren Hilfe wir in möglichster Trennschärfe gezeigte und sich zeigende Natur zur Sprache zu bringen versuchen, wird als einem äußeren Selbst antwortende nicht irgendeine, sondern eine Sprache bestimmter Anerkennung des anderen Selbst, will sagen der qualitativ nicht-subjektiv verfaßten, der differenten Totalität sein. Man kann hier zum Beispiel an die aristotelische Ursachenlehre in ihrer Vierfalt denken, die auch eine Lehre von der logischen Polydimensionalität und insoweit Nichtpositivierbarkeit des Natürlichen ist. Oder man kann mit einigem Grund behaupten, daß es wohl kaum eine Willkürentscheidung gewesen ist, wenn die Naturphilosophie nach Kant das Cartesische Teleologieverbot wieder aufhob: nicht, weil man erneut geneigt war, die Logik der gezeigten Natur, in welcher es zwingend, nämlich um des Ausschlusses alles Sich-Zeigens willen, keinen Naturzweck gibt, mit metaphysischen Vorannahmen zu unterlaufen, sondern deshalb, weil eine immer die Totalität evozierende, immer den eigenen Anfang affirmierende Natur gar nicht anders denn als ihr eigener Zweck und als diesen Zweck auch präsentierend gedacht werden kann. Nicht, daß dabei von Zwecken nach Art freier und bewußter Zwecksetzung die Rede wäre: es ist die *Natürlichkeit* der Natur, die gerade dies wie auch alle Formen der extrinsischen Teleologie, d. h. der prästabilierten Zwecke-für-uns, untersagt. Aber es ist der Begriff der Natur

als des *anderen* Selbst der zugleich derjenige der Natur als des anderen Zwecks und insofern dann auch der Grenze der Freiheitszwecke ist.

## Prämissen der gezeigten Natur und der Laborwissenschaft

Historisch haben sich, wie man weiß, die modernen Naturwissenschaften und mit ihnen auch der Begriff einer wesentlich erst durch sie *zu zeigenden Natur* aus einer durchaus vielschichtigen, ja in vieler Hinsicht alles andere als gleichläufigen naturphilosophischen Tradition heraus entwickelt. Ihren sprichwörtlich gewordenen Siegeszug haben diese Wissenschaften dabei an erster Stelle der entschiedenen Absage an bestimmte metaphysische Gesichtspunkte zu verdanken, die über Jahrhunderte das theoretische Naturverhältnis bzw. die logische Ordnung der Naturbestimmung maßgeblich präjudizierten – und es war diese Absage, welche die Voraussetzung für alles weitere, so auch für die neue und zentrale Rolle des alten alchemistischen Erbstücks, des Laboratoriums, wurde.<sup>8</sup> Als zu Beginn des 17. Jahrhunderts die aristotelische *Physik* endgültig aufhörte, das maßgebliche Grundbuch wissenschaftlicher Naturerkenntnis zu sein, war die Voraussetzung dafür auch eine „Chaotisierung“ des Naturbegriffs gewesen, die sich in der Renaissancephilosophie an verschiedenen Namen festmachen läßt<sup>9</sup> und die vor allem das Ergebnis einer logisch-metaphysischen Unstrukturiertheit von Natur als solcher zeitigte. Das Resultat dieser „Chaotisierung“ war dabei nicht einfach, daß nun die quantifizierende oder auch experimentelle Methode die Oberhand über ein sich aus der Begriffsmetaphysik speisendes, qualitatives Naturdenken gewonnen oder daß die „Induktion“ über die „Deduktion“ triumphiert hätte. Viel elementarer als dies war vielmehr die Tatsache, daß für den logischen Raum der Naturbestimmung das aristotelische *Substanz-Akzidens-Gefälle* und die durch es immer schon vorgezeichnete allein mögliche Ordnung der Phänomene insgesamt als Fundamentalstruktur suspendiert wurde. Entsprechend konnte sich jetzt das Naturdenken frei sehen, unmittelbar und ohne Rekurs auf eine das Erscheinungsfeld vorgängig organisierende logische Ordnung ans Werk zu gehen. Liegt der Natur und ihren Phänomenen keine eigentlich (begriffs-)logische Ordnung zu Grunde, so bedeutet dies nicht nur, daß von ihrer Seite nicht eigentlich ein Kontinuitäts- oder Erkenntnisgrund erwartet werden kann. Es bedeutet vielmehr auch, daß wir beginnen können, uns ihr gegenüber

*handelnd* zu orientieren, d. h. von unseren Zwecken her die Einheit der Natur neu zu bestimmen. Das entsprach zunächst einem Ansatz, der weniger aus der Tradition der durchaus schon dem Mittelalter bekannten und in der Renaissance aus den verschiedensten, auch eher obskuren Gründen erneut aufgewerteten Experimentalmethode stammte als vielmehr aus der „Neuen Naturphilosophie“ des italienischen Cinquecento und insbesondere von Telesio und den Seinen, dann aber, etwa bezüglich des Raums und des Lichtes als ersten Anfangs- oder Fundamentalbegriffen der Natur, von Patrizi vertreten worden war: dem Ansatz, die Ordnung der Natur von den vormaligen „Akzidenzien“ wie Wärme und Kälte, Raum und Zeit, überhaupt von externen Relationen her aufzubauen und eben nicht in den Bahnen einer Grammatik der Substanz zu denken bzw. diese als ausschließende strukturelle Vorgabe aus der Metaphysik in die Physik zu transferieren. Man darf eben diese *condicio sine qua non* für die neue Thematisierung von so etwas wie Kraft, Energie, Gravitation, Feldern usw. nicht unterschätzen, die nach der aristotelischen Ordnung der Dinge alle nicht als mögliche „Subjekte“ für allgemeine Sätze in Betracht gekommen wären. Die nicht unbekannte Tatsache, daß es im gesamten Mittelalter keine eigentliche Theorie des Raumes oder der Zeit, beide jeweils als singuläre Totalitäten genommen, gegeben hat,<sup>10</sup> hängt in der Sache mit den entsprechenden *metaphysisch-logischen* Verdikten des Aristotelismus zusammen, ist also weniger in dessen eigenen physikalischen Theorien als vielmehr in den von ihm gesetzten Standards vernünftiger Rede begründet, nach denen eben etwa eine Raumbestimmung *in intentione recta* grundsätzlich nicht an Subjektstelle ausgesagt oder zu einem „Zugrundeliegenden“ „hypostasiert“ werden kann. Aber auch die Preisgabe der Finalursachen, die vielfach als symptomatisch zur Neuzeit gehörend aufgefaßt worden ist, ergibt sich unmittelbar aus der Revision der metaphysischen Grundlage der Naturbestimmung. Die Finalursachen enthielten, von Aristoteles her gedacht, die methodische Anweisung, in jedem Naturphänomen die Selbst- und Formverwirklichungstendenz eben der herrschenden Substanz als abschließend organisierendes Prinzip der phänomenalen Mannigfaltigkeit aufzusuchen, damit aber das Erscheinungsfeld in einem entscheidenden Sinne von rekursiven Strukturen oder aber von Selbstorganisationsformen her zu denken – wiederum nicht *primär* deshalb, weil die *Phänomene* in diese Richtung deuteten, sondern deshalb, weil anders Substanz nicht hätte ausgesagt werden können, mit ihr aber das entscheidende Kontinuitätsprinzip der mannigfal-

tigen Erscheinungen hinfällig würde. Die Vorstellungssyntax der neuen Wissenschaft (für welche Erkenntnis wesentlich in methodisch geregelter Vorstellungskomposition und -erzeugung besteht) kennt demgegenüber kein Selbst des Vorgestellten mehr und setzt statt dessen bei zweckmäßigen Handlungen des Vorstellenden an, welche die Schlüssel zu ihnen „antwortenden“ natürlichen Strukturen werden.

Wir sind mit diesen Überlegungen bei einer strukturell und erkenntnislogisch unabdingbaren Voraussetzung dessen angelangt, was im Labor als integralem Bestandteil des methodischen Zeigens von Natur geschehen soll: die aktiv-handelnde Formierung der gegebenen Daten bzw. Vorstellungen von diesen Daten auf ein möglichst umfassendes und möglichst differenziertes Vorstellungskontinuum hin, das bruchlos durchlaufen werden können soll und entsprechend durch evidente Konnexivität ausgezeichnet ist. Das eigentlich „laboratorische“, nämlich technisch-praktische Moment dabei, die „Herstellung der Vorstellung“ auch auf substrathafte Weise durch zielgerichtetes Handeln nach Maßgabe leitender Sachidentitäts- und Kontinuitäts-erwartungen, ist dann nur ein Sonderfall im Rahmen systematisch betriebener (und zu betreiben möglicher) Vorstellungskomposition im Sinne der neuen Wissenschaft. Galilei, der an prominenter Stelle, nämlich gleich zu Beginn der *Discorsi*, nichts geringeres als gleich das ganze Arsenal, den Kriegshafen der Republik Venedig, als ein gigantisches „Labor“ im Sinne technisch-praktischer Wissensdarstellung und -gewinnung versteht, ist, neben seiner Akzentuierung der Formalursache, sprich der mathematischen Proportion als der entscheidenden „Lesehilfe“ für das „Buch der Natur“, vor allem in dieser Hinsicht der erste „moderne“ Naturdenker: darin nämlich, daß er die technisch-praktische Darstellung konkreten Wissens zum integralen Moment eines Naturwissens macht, das im übrigen durchaus in eine Vergegenwärtigung des Überempirischen, nur eben nicht mehr der aristotelischen Substanz, eingebettet ist: der Vergegenwärtigung des „Unendlichen und Unteilbaren“ (Galilei, 1985, S. 47),<sup>11</sup> der beiden Grenzbegriffe des Feldes aller natürlichen Erscheinungen, „zwischen“ denen alles objektiv bestimmte Wissen um den wahren Inhalt der Erscheinung zu stehen kommen muß, genauer: in deren Spannungsfeld dieser Inhalt *aufgezeigt* werden können muß.

Es ist klar, daß mit dem Cartesisch-Galileischen theoretischen Neuansatz, mit dem Konzept von Natur als von uns erst zu sichtendem Vorstellungssraum alleine vieles nur erst Programm war, was erst in der Folge

den schon apostrophierten Siegeszug der Naturwissenschaften ausmachen sollte. Die zu diesem insbesondere erforderliche „Galileische Komponente“ war die Erweiterung des neuen Methodenideals der klaren und distinkten Vorstellungsverbindung im Sinne der Cartesischen „*coniunctio necessaria*“ durch eine Gegenkontrolle der methodischen Konstruktion nicht nur in theoretisch-formaler, sondern viel „handfesterer“, nämlich effizienztheoretisch überprüfbarer Hinsicht. Eine explizite Reflexion auf das Labor als an der Genese von Naturerkenntnis wesentlich beteiligter Instanz begegnet im übrigen nur relativ sporadisch; indirekt, vor allem in der Abwehr die Phänomene aus dem Blick geraten lassender Idealisierungen oder Modellbildungen ist sie etwa im 18. Jahrhundert präsent.<sup>12</sup> Es ist in der Sache dann insbesondere die Dingler- und Lorenzen-Schule gewesen, die den Finger darauf gelegt hat, daß der entscheidende Wahrheitsausweis neuzeitlicher Naturwissenschaft ihre Rückbindung an bestimmte interventionistische Poiesen, an „Erkenntnishandlungen“ mit eindeutig prognostizierbarem Ausgang und Erfolg und damit etwa auch die Bindung an die „Bestimmtheitsmanufaktur“ des Labors als eines entsprechenden Tätigkeitsfeldes ist.<sup>13</sup>

Das Augenmerk gehört hier besonders den konkreten Handlungs- oder Herstellungsanweisungen, genauer (zunächst für den Bereich der Physik) den Präskriptionen in Beziehung auf „Handgriffe“, denen als *reproduzierbaren* alle einzelwissenschaftlich vermittelten Bestimmtheiten sich letztinstanzlich verdanken. Die Originalität dieses Ansatzes besteht in dem spezifischen Verständnis, das von der Kopula als dem Moment der positiven Setzung der Bestimmtheit bzw. des Bestimmtheitskontinuums vorgetragen wird: das „Ist“ der einzelwissenschaftlichen Objektivation bringt keine Seinsqualität, sondern eine – sehr konkrete – „Tathandlung“ (resultativ) zum Ausdruck; „Ist“ ist eine Resumtion bestimmter, methodisch geordneter Handlungen in eine vermittelte Unmittelbarkeit hinein, die entsprechend eben nicht (naturalistisch) als schlechthin „gegebene“ Unmittelbarkeit angesetzt werden darf. Naturwissenschaftliche Aussagen enthalten vielmehr nichts anderes als ein technisches Rezept- bzw. Verfügungswissen, das sich allenfalls *sekundär* in Weltbildern symbolisch zu sich selbst verhalten, aber nicht beanspruchen kann, der Ausdruck einer weltbildtranszendenten „Realität“ zu sein. So ist z. B. die These, daß es Atome oder Moleküle „gäbe“, eine nachgerade metaphysische Annahme, die jedenfalls aus den einzelwissenschaftlichen „Dispositiven“ von kontrollierbarem Know-how, innerhalb derer die Modellvorstellungen von

Atomen und Molekülen ihren pragmatisch eindeutigen Sinn haben, nicht schon ihrem realistischen Anspruch nach gerechtfertigt ist.<sup>14</sup> Man muß sich hier die unbestreitbare Stärke des konstruktivistischen Arguments vergegenwärtigen: der Konstruktivismus zielt darauf ab, in einer „Prototheorie“ der Wissenschaften nur Begriffe einzuführen, die (wie etwa die Zahlbegriffe) im Sinne eines programmatischen „Operationismus“ (Dingler, 1952)<sup>15</sup> an ihnen selbst auf je bestimmte Weise darstellbar und von daher immer schon *realisierbare* Begriffe sind. Es gibt, konstruktivistisch gedacht, keine Wissenschaft, die sich nicht bestimmten, und zwar *effektiven* Verifikationskriterien zu stellen hätte, wobei diese Kriterien vor allen Dingen *nichtsprachlicher* Art sind – eine Physik als bloße Weltbildproduktion in (sei es privater, sei es kollektiver) „protagoreischer“ Befangenheit ist vielleicht ein „radikal-konstruktivistisches“ Postulat, aber keine methodisch-konstruktivistische Option. *Dennoch* hat es nach konstruktivistischem Ansatz *keinen* Sinn, nach einer dem wissenschaftlichen Arrangement transzendenten („metaphysischen“) Bedeutung z. B. eines „Naturgesetzes“ zu fragen – eine solche hat es durchaus nicht. Wissenschaften *sind* nichts anderes als „Großarrangements“ zur Festsetzung von Gesetzes- und anderen Bedeutungen in Beziehung auf die Natur. Zwar sind diese Bedeutungen nicht einfach beliebig festgesetzt; was sie besagen, ist, wenigstens der Idee nach, theoretisch wie (vor allem) technisch-praktisch ausweisbar und von daher wissenschaftsintern „funktional“ gerechtfertigt. Aber daß die Begriffe der Masse, der Trägheit, des Impulses, daß die Vorstellungen von Molekülverbindungen oder „genetischen Codes“ jenseits bestimmter, in Beziehung auf zuvor gesetzte Zwecke erfolgter Sprachregelungen einen „an sich seienden“ Sinn vertreten, kann mit Fug bezweifelt, ja bestritten werden. Formelhaft könnte man sagen, daß jede objektive Seinsbestimmung in Beziehung auf Natur immer schon *eingeklammert* ist durch den Vorbehalt, daß diese Bestimmung in „kulturell“ vermittelter Zweckperspektive, also nicht ohne ein vorgängiges Worum-willen<sup>16</sup> formuliert ist. Das schließt dann keineswegs aus, daß innerhalb des so gesteckten Rahmens die primär *poietisch-praktisch* vermittelten *Ist-Bestimmtheiten* (die dem „Common sense“ unmittelbar als „naturwissenschaftliche Erkenntnisse“ gelten) gleichwohl einen bestimmten „Widerfahrnischarakter“, der jedem Experiment zukommt, in sich repräsentieren können. Der Methodische Konstruktivismus vertritt einen „handlungstheoretischen“ Begriff des Experiments, in dem am Experiment das zwecksetzende Handeln und das *in den*

*Horizont dieses Handelns fallende* „Widerfahrnis“ unterschieden wird.<sup>17</sup> Damit ist – gleichsam im Sinne der spezifischen Auslegung des Kantischen „Ich mache Erfahrung“ – zum einen die (Baconisch-Kantische) Position gewahrt, daß „Erfahrung“ nicht etwas ist, das uns zufällt oder das wir haben, sondern das allererst produziert sein will. Zum anderen wird recht trennscharf bestimmbar, wo die Subjektivität „aufhört“ und die „außersubjektive“ Realität (im Sinne freilich von erfahrungsvermittelter Bestimmtheit) beginnt, über die dann „wissenschaftlich“ die transsubjektive<sup>18</sup> Verständigung erfolgen soll: die Trennlinie liegt zwischen der „Präparation“ des Experiments (in manueller, vor allem aber auch in intellektueller Hinsicht: die „Natur“ formuliert keine Fragen, die an sie zu richten wären) und dem vom Experimentator zwar provozierten, in seinen bestimmten *Eigenschaften* aber unabhängigen „Verlauf“, der zwischen „Start“ und „Beendigung“ des Experiments als wiederum subjektiv gezogenen Grenzen liegt und dessen *Interpretation* vor dem Hintergrund der bereits in die Präparation eingegangenen Fragestellungen und Vorentscheide über den möglichen Antworthorizont das eigentliche „Resultat“ des Experiments ausmacht.<sup>19</sup> Insofern ist durchaus ein „Widerhalt“ an äußerer Bestimmung gegeben; er ist jedoch ein durch den „Kontext des Machens der Erfahrung“ *gebrochener* und *modifizierter* Widerhalt – er ist integrierendes Moment der auf Objektivität hin modalisierten Welt.

Im Sinne des auf diese Weise prononciert herausgestellten Konnexes zwischen Wissensgewinnung und effizienzorientiertem Erkenntnishandeln aber – und er ist inzwischen auch aus der Lebenswelt nicht mehr fortzudenken – gewinnt das tätige „Zeigen“ im Blick auf Natur eine Dimension, in der es sogleich mehr als nur das Zeigen von Dingen und Sachverhalten, vielmehr von Wegen und Möglichkeiten, ein Aufzeigen von Optionen nun auch einer ganz handfesten Neuschöpfung von Welt als eines *regnum hominis* ist – bis hin zu den aktuellen Bezügen einer womöglich neu zu stellenden Frage nach der „Zukunft der menschlichen Natur“. Anders gewendet: das Labor als Ort paradigmatischer theoretisch-technischer Bestimmtheitskonstitution wird zum inneren Auge nicht nur der natürlichen, sondern ebenso der menschlich-kulturellen Welt in ihrer elementaren Orientierung. Die Geschichte der *Wissenschaften von der gezeigten Natur* kulminiert in einer Geschichte des Baus sowohl eines nach allen Seiten hin logisch durchsichtigen Ambientes wie auch in der einer beispiellos gesteigerten Verwaltbarkeit und Verwaltung

dieses Ambientes – bis dahin, daß auch die These von der Natur als selbst einer (geschichtlich jeweiligen) sozialen Konstruktion vertreten worden ist (cf. Moscovici, 1982), eine These, an der in jedem Fall soviel richtig ist, als gerade auch das Labor eine sozial-kollektive Dimension besitzt und weder ohne die es bevölkernde „scientific community“ noch auch ohne das es umgebende gesellschaftliche System insgesamt zu denken ist.

### Sich zeigende Natur und Ansatzpunkte eines „nichtlaboratorischen Naturdenkens“

Allerdings wird es so nur um so dringlicher, uns auch der anderen Seite der Alternative: der sich zeigenden Natur sowie, damit im Zusammenhang stehend, auch dem Programm einer philosophisch ursprünglich bestimmenden Rede von Natur zuzuwenden. Der Begriff einer sich zeigenden Natur enthält mindestens zwei konstitutive Komponenten: zum einen die Komponente einer relativen *Selbstbezüglichkeit* und einer damit unmittelbar zusammenhängenden *Selbstpräsentativität* des Natürlichen, das sich als solches nicht erst in „äußerer Beleuchtung“, sondern von sich aus zu zeigen, ja – „vorpropositional“ – zu plausibilisieren vermag; zum anderen die negative Komponente einer (differentiellen) *Nichtverrechenbarkeit* von Natur im eigentlichen Sinne mit der logisch geglichenen, „objektiv“ gezeigten Welt des Menschen und deren konkretem Inventar. Während das Bedenken des einen unmittelbar zu den Aufgaben einer bleibend aktuellen Naturphilosophie gehört, gibt es für das Bewußtsein des anderen auch historisch mannigfache Anknüpfungspunkte. Die hier in Auswahl zu nennenden Punkte haben entsprechend (auch) historische Bezüge, zugleich aber systematisch relevante Implikationen.

Wir konzentrieren uns hier zunächst auf den althehrwürdigen und doch immer aktuellen naturphilosophischen Topos von Natur als elementarem Differenzprinzip, der bis auf Parmenides zurückverfolgt und etwa in der Pythagoreisch-Platonischen Prinzipienspekulation festgemacht werden kann; bei Aristoteles hat er zu der Lehre von Naturwissenschaft als einem Denken aus „zweitem Anfang“, als δευτέρα φιλοσοφία, wie auch zu einer spezifischen Strukturlogik des von Natur aus Seienden geführt,<sup>20</sup> im Platonismus des Mittelalters ist er in der ontologischen Qualifizierung durch Zweit-, sprich Bildheit der Natursphäre im ganzen zum Tragen gekommen. Es ist Natur, die den Unterschied macht und sich als dessen

differentielle Wirksamkeit zeigt (und auch deshalb nicht einheitswissenschaftlich eingeholt werden kann) – ein Gedanke, den in der Neuzeit etwa Hegel aufgegriffen hat. Hegels Grundbestimmung des Natürlichen als eines solchen (nicht als eines bereits logifizierten *Naturobjekts*) ist die Bestimmung einer positiven Ungleichheit, eines erscheinenden „Nicht-der-Begriff-Seins“, die doch zugleich die Präsentation eines spezifischen Selbsts, der individuelle Vorschein des Ganzen ist – wie es in der Tat für die Ontologie des Natürlichen nicht etwa nebensächlich ist, daß das Natürliche als ein solches immer (z. B. schon durch die anschauliche Raum-Zeit-Bestimmtheit) auf die *Naturtotalität* verweist, in welche es eingelassen ist.<sup>21</sup> Aber noch die differenzphilosophischen Ansätze aus jüngerer Vergangenheit, man denke hier etwa an Derridas Begriff des „*espacement*“ im Zeichen oder den „graphematischen“ Substrukturen der Erkenntnis, an den Begriff einer raumgenerativen, alle prätendierte semantische Identität unterlaufenden produktiven Differenz (cf. Derrida, 1972, bes. S. 152ff.), atmen „naturphilosophischen“ Geist und enthalten insoweit Potentiale einer Wiederkehr des ursprünglich Dissipativen, das die hier rekapitulierte Tradition des differenzlogischen Naturbegriffs insgesamt in der Natur, dem großen *Metaxy*, der scheinenden Zwittergestalt zwischen dem reinen Nichts und dem wahren Sein (Cusanus) ausgemacht hat.

Eine *erster* Ansatzpunkt, der mit dem traditionellen Motiv von Natur als Differenzsphäre zusammenhängt, liegt in dem, was wir auf einer eher noch phänomenologischen, dann aber auch die spezifische „Ontologie“ des Natürlichen betreffenden Hinsicht die unhintergehbare „*Polydimensionalität*“ der *Naturinstanzen* nennen können. „Polydimensionalität des Natürlichen“ besagt, daß das Naturphänomen als solches prinzipiell und zugleich unaufhebbar Referenzobjekt *differenter* – theoretischer wie praktischer, wissenschaftlicher wie auch außerwissenschaftlicher – Bezüge sein kann, ohne daß darum sogleich eine vor anderen Beziehungen als die normative oder basale auszuzeichnen wäre: was das Naturphänomen dann von logischen oder geistigen Instanzen fundamental unterscheidet. Es ist ein und derselbe Baum *qua ens naturale*, der Exemplar einer botanischen Art, Nahrungsquelle, Zeigeobjekt des Labors oder im naturästhetischen Sinne schön und für den „Naturreligiösen“ eine Unantastbarkeit aussagend sein kann – und zwar ist es *eben gerade* der Baum *qua Naturinstanz*, der seine Identität in diesen möglichen *differenten* Beziehungen hat, während der Baum zum Beispiel *qua*

*Begriff* seine Identität ausschließlich darin findet, erkannt zu sein und nichts außerdem. Die Thematisierung sich zeigender Natur wird dann gerade darauf abstellen, daß in diesem Sinne Naturgegenstände nicht nur überhaupt (nämlich durchaus analytisch) *anschaulich* sind, sondern multiple Präsenzen produzieren bzw. als ganze und Instanzen der Totalität einer – übrigens jedweder – Perspektive einsinniger Identifikation auch entschlüpfen: nicht zwar in dem Sinne, daß an ihnen ein „Rest“ des Unausgesagten und Unidentifizierten bliebe, wohl aber in dem, daß das Aufscheinen der „inkompletten“ Bestimmung als solcher gerade das Proprium des Erscheinens eines Natürlichen ist. Es ist die wesentliche „Freiheit“ der Natur, jede sie perspektivisch verengende Thematisierung zu unterlaufen und auf anderes als das intentional jeweils Gezeigte zu zeigen. Thema einer heute fortzuschreibenden Naturphilosophie wäre von da aus entsprechend nicht zuletzt die Beantwortung der Frage, was es denn macht und meint, daß Naturinstanzen sich immer in diese Relationenpluralität brechen und niemals in nur einer Dimension alleine zu vergegenwärtigen sind. Eine der hier möglichen Antwort liegt in der konstitutiven, um nicht zu sagen substantiellen, jedenfalls nicht nur subjektiven *Anschaulichkeit* dieser Instanzen: in einer Anschaulichkeit, die den sich hier immer *auch* zeigenden Begriff (das natürliche Selbst) gleichsam umhüllt wie auch nach verschiedenen Seiten hin zugleich öffnet – darin immer allerdings auch auf die Natursphäre überhaupt zeigend, auf das fragmentarisch erscheinende Totum, das sich in dem einzelnen Phänomen auf gebrochene Weise auch *selbst* und als das Selbst der Erscheinung reflektiert. In diesem Sinne ist dann z. B. der Unterschied zwischen dem identitätslogisch gezeigten Artefakt und der differenzlogisch anzuerkennenden Naturinstanz unmittelbar offenbar; denn das Artefakt erscheint *qua tale* immer als Funktion eines Vermittlungshorizonts endlicher, äußerer Zwecksetzung, während der Horizont der Naturinstanz wesentlich offen, d. h. in das Insgesamt der Natur eingelassen und insoweit für uns, da von einer Anschauung zur nächsten leitend, unüberschaubar ist. Entsprechend ist auch das gezeigte Objekt des Labors wesentlich nicht horizontoffen, sondern als Funktion eines möglichst geschlossenen Bestimmungssystems gedacht, eben deshalb aber auch „eindimensional“, „unanschaulich“ und gleichsam als seiender „Gedanke“ gesetzt. Es wäre reizvoll, muß aber hier unterbleiben, die aristotelische Ursachenvierfalt trotz ihrer zweifellos metaphysischen Inspiration als Weise einer genuinen Anerkenntnis der Polydimensionalität der Naturinstanzen zu

nehmen, die nur je in der Synopse von Formpräsenz und materieller Differenz, von Wirkverkettung und entelechialem Bei-sich-selbst-Sein sind, was sie sind:<sup>22</sup> Präsenzen einer unter der Mannigfaltigkeit der Erscheinung verborgenen, selber unausgesprochenen Einheit, in der sich das Unausprechliche der Natur insgesamt wiederfindet. So untauglich die aristotelische Ursachenlehre dann freilich für die laboratorischen Strategien der Naturappropriation ist, eben weil sie die begrifflich-identische Darstellung oder Objektivation eher verhindert als fördert, so sehr führt sie auf ihre Weise auf die sich zeigende, sich zur Darstellung bringende Natur. Und schließlich ergibt sich, daß Naturphilosophie als Thematisierung sich zeigender Natur, insoweit sie also etwa der Polydimensionalität des Natürlichen gerecht zu werden versucht, auch Sachwalterin der bereits angesprochenen unvermeidlichen Pluralität von Naturbegriffen sein muß oder, negativ, quer zu jeder Art einheitswissenschaftlichem Impuls steht – auch in dieser Beziehung gelangt Aristoteles selbst dann zu bleibenden Ehren, wenn man Anlaß hat, konkrete Einzelthesen seines Naturdenkens für obsolet zu halten. Ein im Geiste des Aristoteles noch heute nachgesprochenes ἡ φύσις πολλαχῶς λέγεται ist dann nicht etwa die Fahne, unter der sich der Rückzug der Philosophie einer sich zeigenden Natur sammelt, es ist ihr eigenstes Programm.

Einen *zweiten* Ansatzpunkt, betreffend eine Kategorienlehre der sich zeigenden Natur, haben wir oben bereits gestreift: das Problem einer „Teleologie“ in der Natur oder, mit Leibniz zu reden, den Gedanken, daß auch Natur „ihre zureichenden Gründe“ haben mag – ein Gedanke, der sich auch diesseits der Leibnizschen Metaphysik der Optimität nachvollziehen läßt und etwa auf den Begriff eines *Überwiegens der Sinn- über die Unsinnsvormutung* bezüglich natürlicher Präsenzen hinauskommt. Es ist zwar ein insbesondere aus der Polemik gegen die Teleologie bekannter Topos, daß in der Natur vieles, wenn nicht „alles“ sinnlos oder vergeblich geschehe, und man muß in der Tat durchaus nicht Schopenhauerianer sein, um zumindest vor Augen zu haben, worauf damit gezielt ist: auf die immer bleibende Zweideutigkeit und Distanz des Natürlichen gegenüber jedweder Zweckanmutung, für die wir nicht am Ende selber, nämlich mit eigener Interventionsmacht und Zwecksetzung geradestehen können. Die Streichung der intrinsischen Teleologie hat hier reinen Tisch gemacht und damit nur um so mehr der Etablierung einer extrinsischen, durch das Zwecksetzen vermittelten Teleologie Vorschub gegeben: „das Labor“ fragt nach Naturzwecken nicht, vermißt sie aber auch nicht, weil

es eigene schon hat; es verdankt sich der „chaotisierten“ Natur und sieht sich im Stande, dieser schöpferisch die eigenen Zwecke abzutrotzen. In diesem Sinne hatte beispielsweise schon Descartes auf das Absurde in der Natur verwiesen wie auch auf ihre dem Menschen ganz inkommensurable Größe, die durch „objektive“ Zweckgesichtspunkte nur verkleinert werden könnte.<sup>23</sup> Aber gerade auch die Verzweiflung an der Sinnhaftigkeit der Natur könnte doch nur die Kehrseite einer vorgängigen Sinnvermutung und auch (etwa am Beispiel des Leibes) immer schon geübten Sinnerfahrung sein, die sich elementar von der Tatsache her versteht, daß Natur eben immer auch eine sich zeigende und lichtende, nicht einfach verschlossene und dunkle ist. Wir sind gewiß weit entfernt davon, wie das Mittelalter von einer „natura loquax“, einer nur allzu gesprächigen Natur oder auch allegorisch verfaßten Natur her zu denken, ja nur auch die alte Metapher vom „Buch der Natur“ umstandslos übernehmen zu können. Dennoch „spricht“ uns Natur schon in ihren einfachen Präsenzwerten „an“, in Präsenzen, die ins Offene eines uneingeholten Ganzen hineinstehen und uns immerhin Attributionen wie die von einer „freien Natur“ ablocken; dennoch haben die gelassene Autonomie verströmende Landschaft, die elegante Bewegung des Raubtiers, die Stimme des Vogels wie auch schon der Klang des Metalls oder Holzes, der noch integraler Bestandteil des musikalischen Kunstwerks zu werden vermag, immer etwas von dem, was Merleau-Ponty die der Natur eigene „Selbsthervorbringung eines Sinns“ genannt hat, der nicht erst vom Denken „gesetzt“ ist, sondern auf ein Inneres, auf ein dem unseren korrespondierendes äußeres Selbst verweist (cf. Merleau-Ponty, 2000, S. 19 f.). Diese Sinnvermutung in Beziehung auf das Natürliche entspricht dabei genau jener Selbstpräsentativität der Natur, auf die Naturphilosophie als Thematisierung der sich zeigenden Natur hinweist und deren Struktur sie mit den Mitteln einer Physio-Logik zu erhellen versuchen kann, die doch Natur „natürlich“ sein läßt und nicht sogleich zum quasi-artifiziellen Inventar unserer Welt macht. Natur in diesem Sinne ist nicht als eigener Gegenstandsbereich, sondern als „Dimension“ eigenen Gesetzes zu nehmen, in der sich uns „etwas“ zwar anders als welthaft-objektiv, dennoch aber als nicht einfach *unbestimmt* präsentiert. Das heißt dann auch, daß unsere Gegenstände und deren Relationen konstituierende Kategorien wie etwa die des Zwecks oder des Grundes hier nur analog zur Anwendung kommen, daß sie dafür aber womöglich eine neue symbolische Deutlichkeit erlangen, auf die sich zu verstehen dann wiederum sehr viel mit *Kultur*

zu tun haben könnte. Kultur immerhin hat, wie man weiß, ihren eigenen Anfang mit der *agricultura* genommen: es könnte die „Dimension“ Natur und das in ihr Manifeste sein, an dessen subtiler Präsenz, sofern er sie nicht überspringt, der Mensch mehr über sich erfährt als in den weitgehend naturfrei gesetzten Räumen seines metaphysischen Ambientes, der identitätslogisch zubereiteten Welt.

Das zuletzt Gesagte führt uns sodann auf einen *dritten* Themenkreis aktueller Aufgaben für eine an sich zeigender Natur orientierte Naturphilosophie, der hier nur noch kurz berührt werden soll. Man kann nämlich sagen, daß die Thematisierung frei sich zeigender Natur in einem ganz bestimmten Sinne zu einem freiheitlichen menschlichen Selbstverständnis gehört: in einem anderen Sinne zwar als die Potenz der Naturbeherrschung, für welche dies ebenfalls gilt, doch aber so, daß gerade von ihm her noch einmal auf die Grenzen dieser letzteren reflektiert werden kann. Das heute viel erörterte Problem der Naturbeherrschung und der in ihr liegenden Dialektik darf in diesem Sinne nicht losgelöst von einer für uns unaufhebbaren Polarität von gezeigter und sich zeigender Natur gesehen werden. Es darf dies dann nicht, wenn die Diskussionen hier nicht in die Willkür der Abstraktion, sei es in die von den elementaren menschlichen Freiheitszwecken, sei es in die von der elementar integrativen Dimension der natürlichen Natur führen soll. Um diese Zusammenhänge etwas näher zu beleuchten, kann man bei einer Erfahrung ansetzen, die man die Ursprungserfahrung einer „Medialität“ schon der sich zeigenden, nicht erst der bewußt zum Mittel gemachten, gezeigten Natur nennen könnte. Gemeint ist damit, daß wir über eine uns „selbstverständliche“ Primärerfahrung von Natur als überhaupt für Zwecke durchlässiger äußerer Grenze verfügen. Natur ist auch als das Äußere der Sinne nicht einfach die „Wand“, gegen die wir vergeblich anlaufen. Im Gegenteil: es ist Natur, es sind Naturinstanzen, über die erst unsere Zwecke sich von inneren in realisierte verwandeln und über die wir als Individuen insofern auch selbst erst reale Präsenz gewinnen. Es ist das für allerlei Zwecke taugliche Werkzeug, durch das ich nicht nur anderen, sondern auch mir selbst mein Subjekt-, nicht Objektsein vergegenwärtige. Es ist die erwähnte Medialität von Holz und Metall für ein innere Welt, die aus dem Klingen dieser Materie ein musikalisches Kunstwerk und darin vielleicht eine Art Erfahrung des Absoluten möglich sein läßt. Es ist der als solcher verschwindende physische Laut, der es mir gestattet, im Medium der Sprache äußerst bestimmte, nämlich denkende Sub-

jektivität im Austausch mit anderen zu sein. Ja, man kann die Elementarerfahrung, von der wir hier reden, zuletzt in der *einen* zusammenfassen: in der Erfahrung des „inkarnierten Subjekts“, des Subjekts, das eben nicht als heimatloser Geist aus der Flasche über den Dingen schwebt, sondern nur als raum-zeitlich konkrete Person, nur als Leibwesen dann auch konkretes Freiheitswesen ist. Nichts anderes ist ja die primäre Leib-erfahrung als dies: Erfahrung einer ursprünglichen Durchlässigkeit für den Zweck, Erfahrung eines natürlichen Selbsts, das in durchaus eigener Präsenz dennoch Freiheitsort, dennoch Urort der Selbstpräsenz ist. Wir wissen natürlich, daß diese Medialität der Natur ihre Grenzen hat, Grenzen, die mitunter auch nicht erst an den Grenzen des Leibes oder doch in nicht allzu großer Entfernung von ihm verlaufen, sondern die durchaus schon innerhalb seiner liegen können. Aber auch das ändert nichts daran, daß wir uns als konkrete Wir von einem physisch vermittelten Urbesitz der Person her verstehen, in dem als solchem immer schon appropriierte Natur, immer schon freiheitlich erschlossenes Ambiente liegt.

Diese letzten Überlegungen mögen im Blick auf unser Gesamtthema immerhin darauf hinweisen, daß, wenn der Bau einer Welt äußerer Freiheit ohne Natur als „Mitspielerin“ nicht auskommt, Natur in dieser Rolle auch wirklich erfahren werden kann, ja schon erfahren ist. Entsprechendes ließe sich auch an anderen Bereichen zeigen, an dem bereits erwähnten ästhetischen Bereich etwa, aber auch an der unübersehbaren Tatsache des nicht nur Idee gebliebenen Baconischen „regnum hominis“: einer Tatsache immerhin, die nicht weniger besagt, als daß Natur erkennend und handelnd wirklich aufschließbar und wirklich bildsam ist und die Naturobjektivierung eben nicht einfach in den Cartesischen „espaces imaginaires“ stattfindet, sondern an der Dimension Natur wie auch am Leben der Menschen einen reellen Resonanzraum hat. Die Spannung zwischen einer „gezeigten“ und einer „sich zeigenden“ Natur verweist insofern eine fundamentalphilosophisch ansetzende Philosophie der Natur auf das Desiderat einer Lehre vom Zusammenspiel *beider* Anfänge: dem in der Sphäre der (gezeigten) Identität und dem anderen in der Sphäre einer sich zeigenden Differenz. Labor und Natur bezeichnen in dieser Hinsicht dann aber auch keine ausschließende Opposition. Eher stehen sie für eine Komplementarität, die ihre konkrete Durchführung am ehesten von einem klaren Bewußtsein für den Gesamthorizont, in welchem sich uns das große Thema Natur stellt, erwarten darf.

## Anmerkungen

- 1 Cf. z. B. Janich, 1996, S. 214. Der Inhalt der Naturwissenschaften besteht in konkreten *Objektivationsleistungen*, nicht in den eher globalen *Verstehensleistungen* des Horizontwissens, der reflexiven Sinnklärung (z.B. auch von Objektivierung als Sinnleistung selbst) oder auch des Wissens um praktische Tatsachen und Normen. „Natur“ transzendiert in philosophischem Sinne den Horizont von Objektivierung, auch wenn sie niemals selbst als geschlossener Horizont darstellbar ist.
- 2 Daß naturwissenschaftlich auch aus methodologischen Gründen nicht „die Natur“ in den Blick kommen kann, erläutert (mit prinzipiellem Rückbezug auf Kant) G. Picht wie folgt: „Als Begriff der Natur kann in der neuzeitlichen Naturwissenschaft nur die Gesamtheit jener Operationen bezeichnet werden, die diese Wissenschaft voraussetzt, auf denen ihre Konsistenz beruht, und die sie bei ihren Theoriebildungen zugrundelegt“ (G. Picht, 1990, S. 201).
- 3 Wir verweisen summarisch auf das freilich in sich stark differenzierte Spektrum von Autoren wie H. Jonas (mit dem Gedanken einer menschlichen „Treuhanderschaft gegenüber der Natur“), R. Spaemann (für einen sinnorientierenden Begriff von Natur als dem „Selbstverständlichen“), G. Böhme (für die Forderung nach einer „neuen Naturphilosophie“ als einer Alternative zur „Vernunftphilosophie“ im Zeichen eines „Denkens des Anderen“), K. M. Meyer-Abich (für das Projekt eines Friedensschlusses mit der Natur), oder (für die älteren Debatten um eine Art Unantastbarkeit des Natürlichen) auch auf A. Schweitzer.
- 4 Cf. dazu Honnefelder, 1992, S. 22: „Natur zeigt sich als Natur nur, wenn wir ein bestimmtes Verhältnis zu ihr einnehmen. Dieses Verhältnis fächert sich in eine Mehrheit von Möglichkeiten auf, der eine Mehrheit von Natur-Verständnissen entspricht“; der Verfasser unterscheidet S. 23 dann als Grundaspekte „Natur-Verhältnis“, „Natur-Verständnis“ / „Natur-Begriff“ und „Natur-Umgang“. Die entsprechende Pluralität ist für Natur als solche (d. h. als Differenzprinzip) philosophisch gesehen *konstitutiv*, nicht eine leidige Nebenfolge noch nicht eingeholter subjektiver Perspektivität. Dagegen fordert die Logik der Objektivierung Eindeutigkeit auch im Sinne der Elimination perspektivischer Störungen, die als solche freilich erst in Beziehung auf den Begriff objektiver Einheit erscheinen. Forschung unter Laborbedingungen meint nicht zuletzt eine Forschung unter aktivem Ausschluß von Störfaktoren.
- 5 Bei Telesio, dem „filosofo buono“ des Cinquecento, ist der Zusammenhang zwischen eigenem Naturerleben und dem Anspruch auf neue Grundlegung der Naturphilosophie auch biographisch greifbar. Zur Einführung zu dem „ersten der Modernen“ (die Titulatur stammt von Fr. Bacon, 1858, S. 114) cf. hier nur C. Leijenhorst, 1999.
- 6 Umgekehrt hätte nach Böhme, 1996, S. 349, „die Aufgabe, Natur neu zu denken, dabei anzusetzen, daß zunächst der Mensch sich selbst als Natur denkt, die Natur, insofern er sie selbst ist als seinen Leib“.

- 7 Cf. Descartes, *Le Monde ou Traité de la lumière* VI, AT XI, 31; *Discours de la Méthode* V, AT VI, 42.
- 8 Das „Laboratorium“, um dessen Zugehörigkeit zur Sphäre der Alchemie etwa die Leser des *Faust II* wissen, hat eine vor allem arabische Vorgeschichte und ist im späten Mittelalter aus den Klöstern an die Fürstenhöfe gelangt; noch zu Leibniz' Zeiten konnte es den Charakter des durchaus Esoterischen haben (cf. Ross, 1974).
- 9 Außer an Bruno oder Campanella wäre hier zum Beispiel an Cardano zu denken.
- 10 Eine Thematisierung von „Raum und Zeit“ in dem uns gewohnten Sinne und auch in diesem Junktum ist wiederum vor Telesio kaum greifbar; cf. dazu Kristeller, 1986, S. 89f.
- 11 Zur technisch-praktischen Methodologie Galileis cf. auch Guiducci, 1958; zu seiner Naturerkenntnislehre insgesamt Hoffmann, 2003, S. 157–170.
- 12 Und ist in diesem Sinne etwa auch der Kontroverse Goethes mit Newton zu entnehmen; cf. aber auch ganz allgemein Goethes Abwehr schon von aller Art „Sehhilfen“, wie sie im *Wilhelm Meister* zum Ausdruck gebracht ist: „Ich begreife recht gut, daß es euch Himmelskundigen die größte Freude gewähren muß, das ungeheure Weltall nach und nach so heranzuziehen ... Aber erlauben Sie mir es auszusprechen: Ich habe im Leben überhaupt und im Durchschnitt gefunden, daß die Mittel, wodurch wir unsern Sinnen zu Hülfe kommen, keine sittlich günstige Wirkung auf den Menschen ausüben. Wer durch Brillen sieht, hält sich für klüger als er ist, denn sein äußerer Sinn wird dadurch mit seiner innern Urtheilsfähigkeit außer Gleichgewicht gesetzt“. Wilhelm Meister, der hier selbst so spricht, bleibt dafür die bald danach aufgehende Sonne „immer ein Wunder, ein großes Wunder“ (Goethe 1894, I, 10, S. 183. 185).
- 13 Hatte Dingler allgemein den Weg zu einer nicht-zirkulären Begründung wissenschaftlicher Geltungsansprüche in lebensweltlich eingebetteten, sich in geordneten Handlungsfolgen gleichsam materialisierenden „Willensakten“ zu bahnen versucht, so ist Lorenzen insbesondere unter Einbeziehung einer Reflexion auf die Sprache als Medium effektiver menschlicher Praxis zum Entwurf einer umfassenden „konstruktiven Methode“ gelangt, die Wissenschaften überhaupt als „ideativ“ geleitete Hochstilisierungen vorgängig schon beherrschter Alltagspraxen zu verstehen erlaubt. Dabei hat Lorenzen nachdrücklich auf die Notwendigkeit einer vorgängigen Übereinstimmung in bezug auf jene „idealen Forderungen“ hingewiesen, die in der quantifizierenden Naturwissenschaft an die Messungen zu stellen sind, wenn von einer „Objektivität“ der Meßresultate überhaupt die Rede sein können soll; „Objektivität“ ist insofern sehr scharf als Funktion eines Sollens, nicht eines Seins erkannt, den in der Physik thematischen „Naturgesetzen“ ein „Axiomensystem“ der „Protophysik“ vorgeschaltet, ohne welches die ersten keine „objektive“ Bedeutung besitzen können. Cf. zu Dingler Weiss, 1991, zu Lorenzen Janich, 1992, sowie Lorenzen, 1988.
- 14 Cf. die sehr facettenreichen Beiträge in Beziehung auf verschiedene Einzelwissenschaften in Janich, 1996.

- 15 Dinglers normativ-„operationistisches“ Konzept ist dabei durchaus von Bridgman's eher analytischem „Operationalismus“ zu unterscheiden; cf. dazu Janich, 1996, S. 26-31; Weiss, 1991, S. 119–121.
- 16 Die Abhängigkeit der Ist-Bestimmtheiten in „theoretischen“ Aussagen, wie sie z. B. durch Experimente gewonnen werden, vom Zweckrahmen, in dem das Experiment geschieht, spiegelt – auf endliche Zusammenhänge übertragen – die Logik der Abhängigkeit aller qualitativen Bestimmtheit des Seins vom „überseinsmäßigen“ Guten bei Platon wider.
- 17 Grundsätzlich zum Experiment in konstruktivistisch-handlungstheoretischer Sicht cf. H. Tetens, 1987, bes. S. 15 ff.
- 18 „Transsubjektivität“ in dem vor allem durch P. Lorenzen (für die Ethik eingeführten Sinne ist zu unterscheiden von der gängigen, z. B. diskursethisch herangezogenen Vorstellung von „Intersubjektivität“. Erstere ist (formal-inneres) Vermittlungsergebnis, letztere eher nur eine (dogmatische) Voraussetzung.
- 19 Für eine Unterscheidung der Phasen des Experiments in diesem Sinne cf. P. Janich, 1996, bes. S. 277 ff.
- 20 Dies betrifft schon die Akt-Potenz-Differenz, grundsätzlich aber alle Aspekte des Bewegtheits- oder Werdenswesens des φύσει ὄν.
- 21 Das Natürliche steht insofern immer in einer „metonymischen“ Beziehung auf die „Natur als ganze“, die nur eben „als ganze“ niemals greifbar wird, sondern wieder auf ihre unendlich vielen Einzelinstanzen verweist. Zur Interpretation der Hegelschen Naturphilosophie in dem hier vorgeschlagenen Sinne cf. Hoffmann, 2003, bes. S. 396–477.
- 22 Cf. dazu näher Hoffmann, 2003, S. 318ff.
- 23 Cf. Descartes, *Principia philosophiae* III, 2, AT VIII/1, 81.

### Literatur

- Bacon, Francis, 1963: De principiis atque originibus secundum fabulas cupidinis et coeli. In: The Works, London 1857–1874. ND Stuttgart-Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog, S. 79–118
- Böhme, Gernot, 1996: Naturphilosophie als Arbeit am Begriff „Natur“. In: Arzt, Thomas; Dollinger, Roland; Hippus-Gräfin Dürckheim, Maria (Hrsg.): *Philosophia Naturalis. Beiträge zu einer zeitgemäßen Naturphilosophie*. Würzburg: Königshausen & Neumann, S. 340–356
- Derrida, Jaques, 1972: *Positions*. Paris: Éditions de Minuit
- Descartes, René, 1964: *Oeuvres*, hg. Ch. Adam/ P. Tannery [=AT]. Paris: Vrin 1897–1912, ND
- Dingler, Hugo, 1952: Empirismus und Operationismus. Die beiden Wissenschaftslehren E-Lehre und O-Lehre in ihrem Verhältnis. In: *Dialectica* 6 (1952), S. 343–376.

- Galilei, Galileo, 1985: *Unterredungen und mathematische Demonstrationen über zwei Wissenszweige, die Mechanik und die Fallgesetze betreffend*, hg. von A. von Oettingen. ND Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Goethe, Johann Wolfgang von, 1894: *Wilhelm Meisters Wanderjahre oder die Entsagenden*. In: *Goethes Werke: Sophien-Ausgabe*, Bd. I, 24. Weimar: Böhlau
- Guiducci, R., 1958: *Galilei e la determinazione pragmatica del metodo*. In: *Passato e presente* 1, S. 29–42.
- Hoffmann, Thomas Sören, 2003: *Philosophische Physiologie. Eine Systematik des Begriffs der Natur im Spiegel der Geschichte der Philosophie*. Stuttgart-Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog
- Honnfelder, Ludger, 1992: *Natur-Verhältnisse. Natur als Gegenstand der Wissenschaften. Eine Einführung*. In: ders. (Hg.), *Natur als Gegenstand der Wissenschaften*. Freiburg / München: Alber, S. 9–26.
- Janich, Peter (Hg.), 1992: *Entwicklungen der methodischen Philosophie*. Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Janich, Peter, 1996: *Konstruktivismus und Naturerkenntnis. Auf dem Weg zum Kulturalismus*. Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Kant, Immanuel, 1938, *Opus postumum*. In: *Kant's gesammelte Schriften*. Herausgegeben von der (Königlich-)Preußischen Akademie der Wissenschaften [= AA]. Berlin: de Gruyter 1902 ff., Bd. XXI und XXII
- Kristeller, Paul Oskar, 1986: *Acht Philosophen der italienischen Renaissance*. Weinheim: VCH
- Lorenzen, Paul, 1988: *Methodisches Denken*, 3. Aufl., Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Leijenhorst, C., 1999, Bernardino Telesio. In: Blum, Paul Richard (Hg.), *Philosophen der Renaissance*. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft, S. 137–149
- Merleau-Ponty, Maurice, 2000: *Die Natur. Aufzeichnungen von Vorlesungen am Collège de France 1956–1960*. München: Fink
- Mittelstraß, Jürgen, 1970: *Neuzeit und Aufklärung. Studien zur Entstehung der neuzeitlichen Wissenschaft und Philosophie*. Berlin/New York: de Gruyter
- Moscovici, Serge, 1982: *Versuch über die menschliche Geschichte der Natur*. Frankfurt/Main: Suhrkamp
- Picht, Georg, 1990: *Der Begriff der Natur und seine Geschichte*, 2. Aufl.. Stuttgart: Klett-Cotta

- Rescher, Nicholas, 1996: Studien zur naturwissenschaftlichen Erkenntnislehre. Würzburg: Königshausen & Neumann
- Ross, George MacDonald, 1974: Leibniz and the Nuremberg Alchemical Society. In: *Studia Leibnitiana* 6, S. 222–248
- Tetens, Holm, 1987: Experimentelle Erfahrung. Eine wissenschaftstheoretische Studie über die Rolle des Experiments in der Begriffs- und Theoriebildung der Physik. Hamburg: Meiner
- Weiss, Ulrich: 1991: Hugo Dinglers methodische Philosophie. Eine Rekonstruktion ihres voluntaristisch-pragmatischen Begründungszusammenhangs. Mannheim/Wien/Zürich: BI-Wissenschaftsverlag

Klaus Michael Meyer-Abich

## Laborforschung im Erkenntnishandeln der Experimentiergesellschaft

Eine holistisch-pragmatische Perspektive für die  
Wissenschaftstheorie

### Zusammenfassung

Die moderne Naturwissenschaft handelt von Tat-Sachen, nicht nur von den Sachen. (1) Handlungsförmig ist bereits der theoretische Entwurf, nicht erst das Experiment. Das letztere dient in der Regel nicht der Bestätigung von Hypothesen, sondern ist selbst das wissenschaftliche Ergebnis, denn es zeigt die Sicherheit im Handeln. (2) Das ethisch zu bewertende Handeln umfaßt also über die Laborforschung hinaus die ganze Wissenschaft. Die Entwicklung der Atombombe hat die grundsätzliche Untrennbarkeit von ‚Grundlagenforschung‘ und technischer Anwendung bewiesen. (3) Ethische Kriterien für das Erkenntnishandeln in der Laborforschung und darüber hinaus sind Liebe, Angemessenheit und Einbettung (Erhaltungswissen). (4) Eine sittliche Ordnung dieses Handelns kann sich nach den drei Kriterien in Gerechtigkeit und Freiheit ergeben, wenn diese über die menschlichen Gesellschaften hinaus auch der natürlichen Mitwelt zuteil werden sollen.

### Abstract

Science is a matter of facts, not only of objects. (1) This applies to the theory itself and to experimental research as well. Experiments do not confirm hypotheses but are themselves the scientific result because they demonstrate security of action. (2) Thus not only experimental action is to be evaluated ethically but science itself. The development of atomic weapons has shown that there is no segregation between ‚basic research‘ and technical application. (3) Ethical criteria for the evaluation of scientific action in laboratory research and beyond are love, adequacy, and embedding (conservation knowledge). (4) A moral order of scientific action could be developed along these orientations in justice and freedom if they were granted to the connatural world as they are in human society.

Die experimentierende Naturwissenschaft handelt von Tat-Sachen, nicht nur von den Sachen. So kann das Ergebnis der Auseinandersetzung Niels Bohrs mit Albert Einstein über den Wirklichkeitsgehalt der Quantentheorie zusammengefaßt werden, wenn man sich die Tragweite der Wissenschaft im industriewirtschaftlichen Handeln vergegenwärtigt. Gegenstand der Physik sind in der Quantentheorie nämlich nicht mehr nur die Erfahrungen, die wir machen, sondern auch das, was wir in der Natur – zu der wir selbst gehören – *getan haben*, um diese Erfahrungen herbeizuführen. Denn was wir erfahren, ist hier an die Umstände gebunden, unter denen die Begriffe, in denen die Erfahrung zu begreifen ist, definiert sind. Diese Umstände aber sind immer durch ein besonderes menschliches Handeln gesetzt worden, und für atomare Objekte sind nicht mehr alle Begriffe unter allen Umständen (Versuchsbedingungen) definiert. Deshalb sind diese Umstände „an inherent element of any phenomenon to which the term ‚physical reality‘ can be unambiguously applied“ (Bohr 1935, 65).

Die klassische Physik handelt zwar auch von Tat-Sachen, wie Hugo Dingler (1928), Paul Lorenzen (1955) und die Erlanger Schule gezeigt haben. Hier aber kann man von der Handlungsförmigkeit des physikalischen Erkennens noch insoweit absehen, als es keine einander ausschließenden und dennoch komplementären (einander ergänzenden) Handlungen gibt. Alles experimentelle Handeln ist in der klassischen Physik gleichgerichtet, so daß keine besonderen Umstände auszuzeichnen und der festgestellten Erfahrung zu indizieren sind. Dadurch ist der Eindruck entstanden, die Naturwissenschaft beschreibe DIE Ordnung DER Natur, unabhängig von den menschlichen Wahrnehmungsformen, sei also gar nicht anthropomorph, sondern erkenne die Natur etwa so, wie dem extraterrestrischen Schöpfergott des Alten Testaments sein Werk von außen erscheint. Ein markantes Zeugnis dieses ‚objektivistischen‘ Selbstverständnisses der klassischen Physik ist eine Replik von Max Planck gegenüber Niels Bohr und der Kopenhagener Deutung der Quantentheorie in den 1930er Jahren: ‚Aber das müssen Sie doch zugeben, Bohr, daß ein göttliches Auge die Orte und die Impulse der Teilchen gleichzeitig wissen kann.‘ Bohr antwortete, die Frage sei hier eigentlich nicht, was ein göttliches Auge wissen kann, sondern was es für uns Menschen heißt, etwas wissen zu können.

Unser Wissen also ist in der Physik immer ein Handlungswissen.

Naturwissenschaft handelt davon, was wir in der Natur, zu der wir selbst gehören, *getan und erfahren* haben. Dies war Bohrs *Ceterum censeo*. Verdanken wir Kant – bzw. in der Antike Xenophanes – die Einsicht in die begriffliche Anthropomorphie des menschlichen Erkennens, so hat uns die Kopenhagener Interpretation der Quantentheorie zusätzlich auf die Handlungsförmigkeit dieses Be-Greifens aufmerksam gemacht.

## (1) Laborforschung ergibt Sicherheit im Handlungswissen

Die Begründer der modernen Naturwissenschaft haben sich von Anfang an im Handlungssinn für den ‚Bau der Welt‘ interessiert und zwar im Verhältnis zu unserer menschlichen Baukunst. So hat nicht erst René Descartes, sondern bereits (und sogar) Johannes Kepler – als er sich die Gedanken Gottes bei der Schöpfung zu vergegenwärtigen suchte – überrascht bemerkt,

„wie Gott gleich einem menschlichen Baumeister, der Ordnung und Regel gemäß, an die Grundlegung der Welt herantreten ist und jegliches so ausgemessen hat, daß man meinen könnte, nicht die Kunst nehme sich die Natur zum Vorbild, sondern Gott selber habe bei der Schöpfung auf die Bauweise des kommenden Menschen geschaut (*Deus ipse ad hominis futuri morem aedificandi*)“ (1596, 6; lat. 1596, 54).

Dies ist ein erstaunlicher, für die Denkweise der aufkommenden Naturwissenschaft aber charakteristischer Gedanke. Nicht den Sinnendingen, sondern dem „Bau der Welt“ (a.a.O., 46) gilt unser Interesse. Gebaut aber ist die Welt wunderbarerweise so, wie auch wir sie bauen würden, und zwar vom Allmächtigen, dem wir es somit bloß nachzutun brauchen, wenn es unseres Erachtens etwas zu ergänzen oder zu korrigieren gibt. Dieser Gedanke klingt bei Kepler, der ein frommer Mann war, ganz anders als zu Anfang des Jahrhunderts bei Leonardo da Vinci, als dieser sich daran berauschte, wie „sich der Geist des Malers in ein Abbild (*similitudine*) des göttlichen Geistes verwandelt“, so daß er „in uneingeschränkter Macht (*libera potesta*)“ alle Dinge der Natur ins Werk setzen könne (Ludwig 1882, I 126 = § 68; Übersetzung von Frank Fehrenbach). Wie sehr aber selbst so gegensätzliche Charaktere wie Kepler und Leonardo hier übereinstimmten, zeigt sich im gemeinsamen Gegensatz zur Antike.

In ihrem Handlungsinteresse folgt die moderne Naturwissenschaft

einem „Erkenntnisideal“, das nicht so wissenschaftlich ist wie die Ergebnisse, die dabei herauskommen. Besser als das Kuhnsche „Paradigma“ bringt der Begriff „Erkenntnisideal“ (Adolf Meyer-Abich 1934) zum Ausdruck, daß das Interesse einem Wissenswerten gilt. In ähnlichem Sinn hat Ludwik Fleck darauf hingewiesen, daß es auch eine Frage des „Denkstils“ ist, womit man sich beschäftigt und was man wissen möchte (1935). Daß wissenschaftliche Aussagen nicht absolut richtig oder falsch sind, sondern immer nur relativ zu einem erkenntnisleitenden Vorverständnis dessen, was man für wissenschaftlich hält, hat wohl zuerst Goethe entdeckt, als er gegen Newtons Optik kämpfte und dabei die Zunftförmigkeit der herrschenden Wissenschaft als die einer Konfession beschrieb. Der Außenseiter Goethe würde heute in der Optik als ein ‚selbsternannter Experte‘ gelten, weil er das Erkenntnisideal der Zunft nicht teilte.

*Die Naturgesetze sind im neuzeitlichen Verständnis der Kanon von Regeln, an die man sich tunlichst zu halten hat, wenn man in der Sinnenwelt Verfügungsziele erreichen will. Kant hat den Geist der modernen Naturwissenschaft und Technik von daher auf die richtige und weitsichtige Formel gebracht, daß wir nur noch das einsehen, was wir aus eigenem Willen nach eigenem Entwurf hervorbringen. Dieser Entwurf aber ist immer eine Sache der Theorie, nicht des Experiments. Auf Sinneseindrücke ist, wie Galilei den Aristoteliker Simplicio wissen ließ, nur derjenige angewiesen, „der Vernunftgründe nicht verstehen will oder kann“ (1891, 179). Handlungsförmig ist bereits die Theorie, nicht erst das Experiment. Was aber ist dann der eigentliche Sinn von Experimenten?*

In manchen Fällen trägt ein Experiment sogar zur Erkenntnis bei, wenn es eine Theorie auf den rechten Weg bringen soll oder die praktisch einfachste Form ist, zwischen alternativen theoretischen Entwürfen zu entscheiden. Berühmte Beispiele sind das Michelson-Morley-Experiment, Messungen der Raumkrümmung oder die Beobachtung verschränkter Systeme in der Quantentheorie. Nur wenige Experimente aber sind derart bedeutsam. Warum findet trotzdem relativ viel Laborforschung statt? Weil das Experiment den Übergang von der auf Praxis hin entworfenen Theorie zur theoretisch begründeten Praxis bildet. Das Experiment dient der Demonstration einer theoretischen Aussage über ein mögliches Handeln durch die technische Beherrschung des Gegenstands, indem man die zugehörigen Phänomene selbst hervorbringen kann und somit diesen ganz unter Kontrolle hat. Die Physik handelt davon, was wir *getan und erfahren* haben, d. h. das *Tun* gehört dazu. *Das Experiment ist dann*

aber keine ‚Bestätigung‘ eines theoretisch gefundenen Ergebnisses, sondern es ist selbst das Ergebnis. Das experimentelle Handeln dient nicht der theoretischen Erkenntnis, sondern diese dient dem experimentellen Handeln, so wie es jenseits der wissenschaftlichen Demonstration zur massenhaften Wiederholung in der industriellen Fertigung ansteht. Wird der theoretische Sinn behauptet, ist eigentlich der praktische gemeint. In diesem Verständnis ist das Experiment tatsächlich der Kern der modernen Naturwissenschaft.

Welche Rolle spielt die Laborforschung vor diesem geistesgeschichtlichen Hintergrund? Leonardo und Kepler ging es wie Galilei und Descartes um die Bauart der Welt. Die Beschränkung des wissenschaftlichen Erkenntnisraums auf ein Labor spielte hier noch gar keine Rolle. Die Anfänge der Technik aber reichen naturgeschichtlich bis in die der Menschwerdung und sogar weit bis ins Tierreich zurück. Was ist gegenüber diesen Ursprüngen das Besondere an der neuzeitlichen Technik? Das Besondere an der auf diese Technik hin orientierten *Wissenschaft* ist ihre *Gewißheit* – ihre von Kant so bewunderte Notwendigkeit und Allgemeinheit. Was entspricht dieser Gewißheit im technischen Handeln? Es ist die *Sicherheit* dieses Handelns, wie sie gerade in der Laborforschung geprüft und demonstriert wird. Denn einer Sache sicher sein kann man nur dann, wenn man die Vorgänge in allen Einzelheiten beherrscht, und dies ist nur in einem beschränkten Raum möglich.

Das Experiment also ist nicht nur selbst das Ergebnis der Suche nach wissenschaftlicher Wahrheit, sondern diese Wahrheit hat die Form einer gewonnenen Sicherheit. Was zivilisatorisch ins Werk gesetzt wird, gelingt im neuzeitlichen Abendland tatsächlich mit einer zuvor nie gekannten Sicherheit. Diese Sicherheit ist so erstaunlich groß, daß auch die riskantesten Unternehmen – Flugzeuge, Atomkraftwerke oder subtile chirurgische Eingriffe – nur erstaunlich selten mißlingen. Vor wem oder was haben wir diese Sicherheit gesucht? Es ist einmal die Natur, in und vor der wir der Sicherheit zu bedürfen glauben. Die anfängliche Überraschung über die Gottähnlichkeit der menschlichen Erkenntnis deutet aber wohl auch darauf hin, daß wir uns gleichermaßen vor Gott sicher zu fühlen suchen, wenn wir an seiner Statt den Bau der Welt fortzusetzen meinen.

Sicherheitsbedürfnisse sind im neuzeitlichen Abendland auch außerhalb der Wissenschaftsentwicklung geschichtsmächtig gewesen. So war die Sicherheit vor der Staatsmacht der Beweggrund des Liberalismus und

fürhte zum modernen Rechtsstaat. Dieser garantiert außerdem eine sehr weitgehende Sicherheit vor unerwünschten Übergriffen der Mitmenschen. Das Bedürfnis, nur noch möglichst wenig auf diese angewiesen zu sein, führte schließlich zum modernen Sozialstaat. Wenn aber das Bedürfnis nach Sicherheit die gesellschaftliche Entwicklung im neuzeitlichen Abendland so grundlegend bestimmt hat, wie diese politischen Strukturen zu erkennen geben, braucht man sich nicht zu wundern, daß es auch ein Beweggrund der wissenschaftlich-technischen Entwicklung gewesen ist.

Psychotherapeuten pflegen sich, wenn ihre Patienten ihnen von sich und ihren Sorgen erzählen, zu fragen: Um welches Ungesagte kreisen diese Worte, oder: Was wird hier vermieden? Auf diese Frage wäre hinsichtlich der Wissenschaftsentwicklung und der bezüglich ihrer Objektivität gebildeten Legenden oder Rechtfertigungen also zu antworten: Die moderne Naturwissenschaft und Technik sind ein (titanischer) Versuch zur Vermeidung von Unsicherheit gegenüber Gott und der Natur, des Teils gegenüber dem Ganzen, der dann auch die gesellschaftlichen Strukturen geprägt hat.

Ausgerechnet eine nie gekannte Unsicherheit aber ist es, die durch die moderne Naturwissenschaft und Technik heraufbeschworen worden ist. Diese Unsicherheit ist eine Folge der Tatsache, daß die Laborforschung nur der begrenzten Versicherung in Wahrheit unbegrenzter Absichten dient, nämlich der Veränderung der menschlichen Lebensverhältnisse selbst. Diese Veränderung hat mit der Industriellen Revolution begonnen, ihr selbst experimenteller Charakter aber hat sich besonders in einer Extremsituation gezeigt: in der Entwicklung und im Einsatz der ersten Atombomben. Letztlich ist die Industriegesellschaft selbst zur Experimentiergesellschaft und die Welt insgesamt zum Labor geworden (vgl. Groß u. a. 2005). Die mittlerweile entwickelte Risikoforschung berechnet die Wahrscheinlichkeiten, mit denen die technisch mehr oder weniger hohe Schadensausmaße riskierende Experimentiergesellschaft von Fall zu Fall ihr existentielles Spiel mit Gewinn oder Verlust überstehen wird.

## (2) Die Widerlegung des objektivistischen Selbstverständnisses in der Naturwissenschaft durch die Entwicklung der Atombombe

Im üblichen (objektivistischen) Selbstverständnis der modernen Naturwissenschaft zeigt sich die Wahrheit einer Theorie daran, daß sie Vorhersagen erlaubt, die durch Experimente bestätigt werden. Diese Wahrheit besteht angemessenermaßen darin, daß die Theorie DIE Ordnung DER Welt beschreibt, so wie sie uns Menschen verständlich wird, jedoch unabhängig von dieser Einsicht so besteht, wie wir sie erkennen. Dabei sind die experimentellen Bestätigungen niemals schlüssig, sondern immer nur verfehlte Widerlegungen, haben also ihrerseits keinen Wahrheitsgehalt.

Nach der vorangegangenen Interpretation sind die Naturgesetze, so wie wir sie erkennen, anthropomorph. Sie sind ein Kanon von Regeln, nach denen in der Sinnenwelt Verfügungsziele zu erreichen sind. Naturgesetze sind Handlungsformen, und die Physik handelt von Tat-Sachen, nicht nur von Sachen. Die Wahrheit einer Theorie ist die Sicherheit, mit der die ihr entsprechenden Handlungsziele erreicht werden. Diese Sicherheit zeigt das Experiment, wenn es in einem beherrschten Raum (Laborforschung) ausgeführt wird. Wenn es gelingt, ist es das eigentliche Ergebnis der Forschung.

Nach dem üblichen Selbstverständnis beginnt das ethisch zu bewertende Handeln erst mit den sogenannten Anwendungen wissenschaftlicher Ergebnisse, wohingegen die wissenschaftliche Erkenntnis in einem wert- und verantwortungsfreien Raum stattfindet. Nach der Interpretation der Naturwissenschaft als Handlungswissenschaft ist dies ein Irrtum. Denn wenn das wissenschaftliche Erkenntnishandeln ein Ausdruck bestimmter Interessen an Verfügungsmöglichkeiten ist, so ist es ethisch genauso zu bewerten und zu rechtfertigen wie jedes andere Handeln auch. Naturwissenschaftliche Erkenntnisse sind objektiv gültige Antworten auf subjektive, nämlich als bestimmte Interessen zu rechtfertigende Fragen.

Die These, daß die naturwissenschaftliche Erkenntnis als ‚Grundlagenforschung‘, d. h. vor den sogenannten Anwendungen, in einem wert- und verantwortungsfreien Raum stattfindet, entspricht einem politischen Interesse der Wissenschaftler, ihre Arbeit ethisch und politisch nicht in Frage gestellt zu sehen und dafür möglichst auch noch öffentliche Mittel

zu bekommen. Dieses Interesse ist verständlich, aber die Erfindung der Kernspaltung und die daraus unaufhaltsam folgende Entwicklung der Atombombe haben die vermeintliche Trennbarkeit von Grundlagenforschung und technischer Anwendung als Ideologie erwiesen. Daß daran trotz dieser Widerlegung bis heute festgehalten wird, bestätigt den ideologischen Charakter des üblichen Selbstverständnisses in der Naturwissenschaft.

Um die Theorie der Atomkernstruktur auf den richtigen Weg zu bringen, wurden nach der Entdeckung des Neutrons in den 1930er Jahren Experimente gemacht, die Ende 1938 zur Entdeckung der Kernspaltung durch Otto Hahn, Fritz Straßmann sowie – damals bereits im Ausland und deshalb nur noch latent dabei – Lise Meitner führten. Den (wenigen) Physikern und ‚Kernchemikern‘, welche die Tragweite des Ergebnisses verstanden, war damals sofort klar, daß dieses Experiment grundsätzlich die Möglichkeit eröffnete, die furchtbarsten Vernichtungswaffen zu bauen, die es je gegeben hat. Die Entwicklung und der Bau der ersten Atombomben haben dann zwar noch von 1942 bis 1945 gedauert, waren aber eine – in der damaligen Situation unausweichliche – direkte Umsetzung eines Ergebnisses der sogenannten Grundlagenforschung. Die übliche Trennung der angewandten von der Grundlagenforschung, durch welche die – ihrem Selbstverständnis nach – ‚reinen‘ Wissenschaftler die Folgeverantwortung den technischen, wirtschaftlichen und politischen Akteuren zuzuschreiben suchen, war also gerade in diesem entscheidenden Fall zusammengebrochen.

Dem Einsatz der ersten beiden Atombomben war ein Freilandversuch in den USA vorausgegangen. Die Bombardierung Japans aber hatte immer noch einen experimentellen Charakter, nicht den der großindustriellen Serie. Dementsprechend wurden auch später noch jahrzehntelang Testversuche mit Atomwaffen gemacht. Was diese Experimente im Gegensatz zur Laborforschung auszeichnete, war, daß der menschliche Lebensraum nun selbst zum Versuchsraum und die Industriegesellschaft somit zur Experimentiergesellschaft wurden. Risikoabschätzungen für den Einsatz der Atomkernenergie zu zivilen Zwecken ergaben später, daß auch hier unbegrenzte Schadensausmaße mit – aber dies ist ein politisches Urteil – ‚geringen‘ Schadenswahrscheinlichkeiten riskiert wurden.

Die Physik hat in der Erfahrung ihrer Mitverantwortlichkeit für die Existenz und den Einsatz der Atombombe ihre sozusagen spielerische Unschuld verloren. Dieser ‚Sündenfall‘ scheint mittlerweile nicht einmal

mehr allen Physikern bewußt zu sein, die unmittelbar Beteiligten aber waren davon zutiefst betroffen. Was folgte daraus für das Leben und die Arbeit eines durch jenen Verlust der Unschuld sozusagen erwachsen gewordenen Physikers? Die weitreichendste Auseinandersetzung mit diesem Problem verdanken wir Carl Friedrich von Weizsäcker.

Weizsäcker erkannte, daß die Atombombe kein tragisches Mißgeschick gewesen war, sondern daß in der Entwicklung der modernen Naturwissenschaft ‚ein gerader Weg von Galilei bis zur Atombombe‘ geführt hat. Auch Galilei hatte ja nicht einfach nur das Fallgesetz entdeckt, sondern dies geschah im Kontext des – zuvor von Niccolò Tartaglia verfolgten – Interesses an den Schußweiten von Kanonen. Das die neuzeitliche Wissenschaft leitende Erkenntnisideal, den Kanon von Regeln zu verstehen, nach denen Verfügungsziele in der Welt zu erreichen sind, ergab unvermeidlich auch die dem Bauwissen entgegengesetzte Erkenntnis, nämlich das entsprechende Zerstörungswissen.

Weizsäcker spielte nach dem Abwurf der ersten Atombomben politisch eine herausragende Rolle in der Wahrnehmung der den Physikern hier zufallenden Mitverantwortung. Noch bis in die jüngste Zeit hinein hat es so ausgesehen, daß die Industrieländer es lernen könnten, zur Lösung politischer Konflikte keine Atomwaffen einzusetzen oder das Vorhandensein dieser Waffen – durch Zweitschlagskapazitäten, den ABM-Vertrag etc. – sogar zur Wahrung des internationalen Friedens zu nutzen. Weizsäcker hat dazu wissenschaftlich und politisch vieles beigetragen, worauf ich hier nicht näher eingehen kann.

Nachdem die Physik den größten Schrecken über die Menschheit gebracht hatte, der je einer Erkenntnis gefolgt ist, konnte es aber ja wohl nicht nur um politische Arrangements mit der neuen Waffentechnik gehen. Die entscheidende Frage lautete vielmehr: Wie kann und soll es mit dieser Wissenschaft weitergehen, wenn ihre immanente Handlungsorientierung Techniken ins Werk setzt, die uns politisch überfordern, wenn also dieses Handeln *nicht gut* ist? Hier war es nun sogar eine *politische* – nicht nur eine *ethische* – Konsequenz, daß *das wissenschaftliche Handeln gerade so auf sein Gutsein zu beurteilen ist wie jedes andere Handeln auch*. Es gibt keinen verantwortungsfreien Raum, nicht einmal für das vermeintlich ‚reine‘ Erkenntnishandeln der modernen Naturwissenschaft. Jedoch gibt es verschiedene Maßstäbe der Verantwortlichkeit.

### (3) Ethische Bewertungen des naturwissenschaftlichen Erkenntnishandelns

#### (a) *Liebe*

Weizsäckers spontane Reaktion nach der Erfahrung der Atombombe war, daß der bisherige Weg der modernen Naturwissenschaft ein Weg der Lieblosigkeit war und daß Liebe in Zukunft das erkenntnisleitende Gefühl sein solle. „Man lernt nichts kennen, als was man liebt“, schrieb auch Goethe an seinen Freund Jacobi, der die Natur nicht liebte (10. Mai 1812; HAB III 191). Demselben Gedanken folgte Weizsäcker in den ersten Jahren nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs, und er ist darauf 40 Jahre später in der Einleitung zu der Vorlesung „Der Begriff der Natur und seine Geschichte“ seines Freundes Georg Picht noch einmal zurückgekommen: „Kommt es nicht am Ende nur darauf an, daß man Natur nicht erkennen kann, wenn man sie nicht liebt?“ (Picht 1989, xv). Picht hat Weizsäckers Arbeiten zur Begründung und Rechtfertigung der Physik in den 1960er bis 1980er Jahren nur mit Vorbehalten begleitet. Ganz sicher aber war es in seinem Sinn, als Weizsäcker 1947 feststellte, das naturwissenschaftliche Töten um des Wissens willen verschränke sich mit dem Wissen um des Tötens willen (vgl. 1960, 181), oder daß ein Experiment immer den Übergang von der liebenden zu einer unpersönlichen Zuwendung voraussetzt. Dies gilt nicht nur für Tierexperimente, denn eigentlich ist die ganze Welt belebt und nicht nur *res extensa*. Läßt man aber „aus der liebenden Erkenntnis die Liebe fort, so wird aus dem christlichen Gott der cartesische, aus der christlichen Seele das Subjekt der neuzeitlichen Wissenschaft. ... Können wir experimentieren, wo wir lieben?“ (a.a.O., 176). „Experimentieren heißt Macht über die Natur ausüben. Der Besitz der Macht ist dann der letzte Beweis der Richtigkeit des wissenschaftlichen Denkens“ (a.a.O., 172). Liebe und Unterwerfung aber passen nicht zusammen.

Auch am Ende seiner sehr bekannt gewordenen Vorlesung über „Die Geschichte der Natur“ im Sommersemester 1946 blieb Weizsäcker dabei, daß die „wissenschaftliche und technische Welt der Neuzeit ... das Ergebnis des Wagnisses des Menschen [ist], das Erkenntnis ohne Liebe heißt“ (1948, 132). Er hat dies Urteil niemals zurückgenommen. Während er daraus ursprünglich die Konsequenz zog: „Wenn uns die Erkenntnis an der Liebe hindert, so müssen wir die Erkenntnis preisgeben“ (a.a.O., 90), hat er sich in dieser Hinsicht später jedoch eines andern besonnen. Ent-

scheidend dafür scheint ein Gespräch mit Karl Barth gewesen zu sein, das Anfang der 1950er Jahre stattgefunden hat. Weizsäcker hat Barth damals gefragt, ob er denn nun noch weiterhin seine „geliebte Physik“ treiben dürfe, nachdem ein gerader Weg von den Anfängen dieser Wissenschaft bei Galilei zur Atombombe geführt habe. Barths Antwort wurde für ihn zu einem *Ceterum censeo*, auf das er immer wieder zurückgekommen ist. Sie lautete: „wenn Sie glauben, was alle Christen bekennen und fast keiner glaubt, daß nämlich Christus wiederkommt, dann dürfen, ja müssen Sie weiter Physik treiben; sonst dürfen Sie es nicht“ (1977, 462).

Barths Antwort kam Weizsäckers Herzenswünschen ohne Frage sehr entgegen, aber was hat er eigentlich damit sagen wollen? An Christi Wiederkehr zu glauben kann ja zweifellos nicht alles rechtfertigen. Warum gerade die Physik? Barth muß also wohl gemeint haben: Wenn Sie an Christi Wiederkehr glauben und Ihre Arbeit als Physiker mit diesem Glauben vereinbaren können, dann machen Sie so weiter! Wie beides zu vereinbaren ist, war aber ja gerade das eigentliche Problem, so daß Barth Weizsäcker die gestellte Frage eigentlich nur auf einem höheren Niveau zurückgegeben hat. Wie sollte die Erfahrung der Atombombe seinen „Begriff der Erkenntnis selbst verändern“ (1983, 429)? Glaube ist, wie Weizsäcker später schrieb, die offene Zuwendung zu der Gnade der versöhnenden Liebe. Wie also verbindet sich diese Zuwendung im Hinblick auf Christi Wiederkunft mit der theoretischen oder technischen Zuwendung zu den Elementarteilchen? Anders gefragt: Wenn Christus die Wahrheit und wenn die Physik wahr ist, ist Christus auch die Wahrheit der Physik; aber ist die Physik wahr? Und wenn dies zweifelhaft ist, welche Physik wäre mit der Wahrheit Christi verträglich?

Weizsäcker hat den Gedanken einer sozusagen christlichen Alternative zur bisherigen Physik später wieder aufgegeben. Wer hier an Alternativen glaubt, so meinte er dann, sieht nicht, „daß die Naturwissenschaft für uns schicksalsbestimmend ist, weil sie die für die Neuzeit zentrale, ihre eigentliche Form der Wahrheit ist“ (1977, 425). Mich erinnert Weizsäckers Glaube an die „Unerschütterlichkeit des modernen Denkfortschritts“ (a.a.O., 461) an den „Schicksalsrausch“, den Gottfried Benn im Rückblick auf die 1930er Jahre sich selbst attestierte (1950, IV 80). Von Galilei bis zur Atombombe mag diese Wahrheit – mit Nietzsche gesagt – derjenige Irrtum gewesen sein, ohne den das neuzeitliche Abendland nicht leben konnte, das will ich zugeben. In dem Atomzeitalter aber, in das wir damit geraten sind, dürfte es meines

Erachtens nun doch nicht immer so weitergehen. Könnte es nicht doch eine wissenschaftliche Beschreibung der Dinge geben, in der wir diese auch lieben können?

(b) *Angemessenheit*

Das menschliche Handeln soll den jeweiligen Verhältnissen angemessen sein, insbesondere dem Verhältnis des Handelnden zu seiner unmittelbaren und mittelbaren Mitwelt in Natur und Gesellschaft. Diese Angemessenheit bemißt sich am Sein des Einzelnen im Verhältnis zum Sein des Ganzen, so wie es ihm mitweltlich vermittelt wird. Das Kriterium der Angemessenheit ist in neuerer Zeit von Ludwig Siep wieder aufgenommen worden (Merker u. a. 1998; Siep 2004).

Daß auch das wissenschaftliche Erkenntnishandeln dem Mitsein des Forschers mit seinem Gegenstand angemessen bzw. ‚adäquat‘ sein soll, und zwar besonders in der biologischen Laborforschung, war ein Grundgedanke des holistischen Neurologen Kurt Goldstein. Seine Schlüsselerfahrung war das „Adäquatwerden von Können des Organismus und Umweltbedingungen“ (1934, 243), so wie es z. B. erfolgt, wenn jemand das Radfahren lernt. Kann ein Individuum den eigenen Weg im Ganzen so ausbalancieren wie ein Radfahrer, ist es einerseits so, als habe es sich ‚dem Ganzen angeeignet‘, zugleich aber auch so, als bewege sich das Ganze in und mit ihm in dem Gleichgewicht des Radfahrers. Das Ganze ist eben immer auch das Vorbild des Gelungenseins, von dem her sich das jeweils besondere Gelingen individuiert. Goldsteins Grundgedanke war nun, an dieser Schlüsselerfahrung gleichermaßen das Gelingen oder die Angemessenheit des biologischen Erkennens zu bemessen: „Diesem *Adäquatwerden von Können des Organismus und Umweltbedingungen*, das ein biologisches Grundphänomen ist, das die Möglichkeit der Existenz von Organismen überhaupt erst schafft, ist die von uns gesuchte *biologische Erkenntnis wesensverwandt*“ (a.a.O.). Das biologische Erkennen soll also nicht erst im Ergebnis die Lebensprozesse richtig beschreiben, sondern selbst in der Angemessenheit des Erkenntnishandelns zum Ganzen zustande kommen. Goldstein hat dies in der englischen Übersetzung seines Buchs klarer gesagt als in dem drei Jahrzehnte zurückliegenden Urtext, und hat im neuen Vorwort hervorgehoben, daß dies der Grundgedanke des ganzen Buchs sei: „The *attainment of biological knowledge we are seeking is essentially akin to this phenomenon – to the capacity of the organism to become adequate to its environmen-*

tal conditions“ (1995, 307 f.; Sperrung hinzugefügt). Mit andern Worten: „biological knowledge is a form of biological being“ (a.a.O., 22).

Das biologische Erkennen soll sich also vor dem Leben, das es zu erkennen sucht, nicht zu schämen brauchen. Goldsteins Kernpunkt ist, daß er ein *unnatürliches* Verhalten, wie es beispielsweise in der Reflexforschung durch die meisten experimentellen Reize hervorgerufen wird, nicht als *wirklich*, d. h. als eine (angemessene) Wirklichkeit des Organismus anzuerkennen bereit war. Während Viktor von Weizsäcker, mit dem er sich hier auseinandersetzte, den Reflex auf irgendeinen Reiz als einen „*unnatürlichen, aber nicht unwirklichen* Vorgang“ bewertete, hielt Goldstein dem entgegen,

„damit, dass der Reflex ein Geschehen am Organismus ist, [sei] noch nicht gesagt, dass ihm eine Wirklichkeit in Hinsicht auf den Organismus zukommt. Wirklichkeit bedeutet doch ..., dass ein Vorgang zum ‚Sein‘, zur ‚Natur‘ des Organismus gehört – in diesem Sinn ist ... ‚*unnatürlich*‘ und ‚*unwirklich*‘ *das Gleiche*“ (a.a.O., 244).

Goldstein zweifelte damit „den ‚Tatsachen‘charakter des Reflexes (für den Organismus) an“ (a.a.O., 245). *Unnatürliche Verhaltensweisen sind dem Lebewesen nicht angemessen und für den Erkennenden nicht wissenswert. Sie sind deshalb gar keine biologischen Tatsachen! Man kann jeden Organismus durch experimentelle Nötigung oder „Schädigungen“ (a.a.O., 246) dazu bringen, daß er sich unnatürlich verhält, dies Verhalten festzustellen aber ist dann eine inadäquate Erkenntnis (vgl. a.a.O., 245).* Nach dem Kriterium, daß die Art der Gewinnung (‚attainment‘) biologischer Erkenntnis dem Gegenstand angemessen sein soll, ergibt sich also, daß die experimentelle Auslösung unnatürlicher Verhaltensweisen keine adäquate oder angemessene biologische Erkenntnis ergibt. Wenn das Verhalten eines Tiers nur mein eigenes unangemessenes Verhalten spiegelt, hat es sich mir nicht gezeigt.

Goldsteins Kriterium der Adäquatheit oder Angemessenheit ist dem verfügbaren Denken der neuzeitlichen Naturwissenschaft ganz entgegengesetzt. „Weit eher kommen die Geheimnisse (occulta) der Natur unter den Mißhandlungen der Künste (vexationes artium) zum Vorschein, als wenn sie ihren eigenen Lauf nehmen“ (1620, I 216 = § 98; in meiner Übersetzung), postulierte Francis Bacon, und Kants Richtergleichnis folgt demselben Verständnis (vgl. KrV B XIII). Es war also wohl ein Mißverständnis – oder ein Zeichen der Ambivalenz von Alexan-

der von Humboldts Denken –, wenn dieser seine „Ansichten der Natur“ Goethe mit einer Vignette von Thorwaldsen widmete, welche – gut gemeint – darstellt, wie Goethe die Göttin Natur entschleierte. Dies zu tun entsprach dem Selbstverständnis der aufkommenden Naturwissenschaft, Goethe aber hielt es dagegen mit Athanasius Kircher, nach dessen Auffassung gerade umgekehrt „der die Göttin Isis bedeckende Schleier das geheimnisvolle Wirken der Natur darstelle“ (Hadot 1982, 8). Die Schleier der Natur sind die ‚Phänomene‘, in denen sie sich nicht verbirgt, sondern vielmehr zeigt; „es ist wesentlich für die Natur, verschleiert zu sein: sie ist untrennbar von ihren Schleiern, und, weit davon entfernt, sie zu verbergen, sind es diese ihre Schleier, die die Natur offenbaren“ (a.a.O., 26). Diese Phänomenalität geht bis zu den Urphänomenen, die das Göttliche in der Natur fast unmittelbar zu erfahren geben, aber dort endet sie auch, denn hier „fühlen wir eine Art von Scheu, bis zur Angst“ (Goethe, HA XII 367). Diese Scheu ist es eigentlich, die durch das Experiment ‚vermieden‘ wird, aber das spricht nicht für das Experiment, denn „das Schaudern ist der Menschheit bestes Teil“ (Faust, Vers 6272).

In anderer Weise zeigt die Natur sich, bemerkte Johannes Müller 1824 in seiner Bonner Antrittsvorlesung, wenn wir sie „gewalttätig versuchen: sie wird immer in ihrer Noth eine leidende Antwort geben.“ Im Sinn Bacons, Kants oder später Claude Bernards, des Vaters der naturwissenschaftlich-experimentellen Medizin, ist dieses Leiden um des Wissens willen der Weg der Wissenschaft.

*(c) Erhaltungswissen*

Die subjektive oder gesellschaftliche Interessengebundenheit der naturwissenschaftlichen Erkenntnis ergibt sich aus der Auswahl der Fragen, auf die dann objektiv gültige Antworten gesucht werden. Die Ergebnisse sind wahr oder falsch, aber die Fragen sind es nicht. So ist es dahin gekommen, daß das Corpus der Naturwissenschaften erheblich mehr Zerstörungswissen – nicht nur für die Waffentechnik – und ein den künftigen Bedürfnissen nicht entsprechendes Maß an Erhaltungswissen für die Lebensverhältnisse in der Natur umfaßt. Auch aus dieser Sicht bedarf es einer Kritik der herrschenden Wissenschaften, d. h. einer Unterscheidung dessen, was wir als Lebensbedingung wissen wollen sollten, von dem, was wir angemessenerweise besser gar nicht wüßten. Von den Dingen nur das wissen zu wollen, was (a) ein liebendes Mitsein nicht ausschließt und (b) dem menschlichen Dasein im Horizont des Ganzen angemessen

ist, sind zwei Kriterien des Wissenswerten, die einander ergänzen. Dies gilt nun auch (c) für den Gesichtspunkt des Erhaltungswissens.

Das Erhaltungswissen, dessen wir bedürfen, um den Naturzusammenhang unseres Lebens zu wahren, ist das Ziel der sogenannten Umweltwissenschaften. Was hier wissenswert ist, bemißt sich daran, ob es der Einbettung des menschlichen Lebens in den Naturzusammenhang bzw. in die Ordnung des Ganzen dient. Die Gefährdung der Lebensverhältnisse hat sich daraus ergeben, daß die Ordnungen des menschlichen Verhaltens mit der des Ganzen der Natur nicht verträglich waren. Sie sind es bis heute nicht, zur Wiedereinbettung unserer Lebensformen in die Natur, zu der wir gehören, aber gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten.

Die eine ist der Weg des „Umweltschutzes“, d. h. der Abschirmung der natürlichen Mitwelt vor den Wirtschaftsprozessen, die ihr schaden könnten. Dies kann dadurch geschehen, daß Emissionen zurückgehalten werden. Eine elegantere Lösung ist es jedoch, diesen zusätzlichen Aufwand dadurch zu vermeiden, daß man die Prozesse im Kreis führt, also z. B. Lösungsmittel wiedergewinnt etc. Wenn entsprechende Maßnahmen zum Schutz der Umwelt bzw. der natürlichen Mitwelt getroffen werden, können die industriewirtschaftlichen Prozesse – in der Produktion, Distribution und im Konsum – grundsätzlich so weiter betrieben werden wie zuvor. Man braucht also z. B. nicht auf die Chlorchemie, auf Hochtemperaturprozesse und auf elektrolytische Verfahren zu verzichten, solange keine – oder fast keine – schädlichen Wirkungen nach außen dringen.

Eine grundsätzlich andere Möglichkeit ist es, nicht die natürliche Mitwelt vor den technischen Prozessen zu schützen, sondern diese so zu verändern, daß es des Umweltschutzes möglichst nicht mehr bedarf. Man wird dann die Wirtschaftsprozesse nach dem Vorbild der Natur so einrichten, daß alles, was irgendwo nachbleibt, anderweitig wieder verwendet wird, indem es einem Lebewesen zur Nahrung dient und dadurch wieder aufgewertet wird. Naturprozesse dieser Art sind z. B. die Verwertung von Nahrungsabfällen zu Humus durch Mikroorganismen oder die Photosynthese von Kohlendioxid zu Pflanzen. Technisch können in ähnlicher Weise Möbelstoffe, Verpackungen, Schuhsohlen, Getränkeflaschen und Teppichböden so gestaltet werden, daß sie nach Gebrauch kompostiert oder weggeworfen werden können, um wiederum durch Naturprozesse aufgewertet zu werden (Braungart/McDonough 2003).

Demgegenüber sind die technischen Wiederverwertungsketten immer nur abwärts gerichtet, d. h. sie enden z. B. bei Bodenbelägen oder in der Verbrennung.

Ob die Wirtschaft gegenüber der natürlichen Mitwelt so abgeschirmt werden soll, daß sie darin keinen Schaden mehr anrichtet, oder vorzugsweise so einzurichten ist, daß es dieser Abschirmung möglichst gar nicht mehr bedarf, ist eine Bewertungsfrage von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der Umweltwissenschaften.

#### *Konsequenzen für die Laborforschung*

Nach den Kriterien (a) der liebenden und (b) der angemessenen Zuwendung ist in der experimentellen Forschung nicht nur jede Art von Tier- oder Pflanzenquälerei auszuschließen, sondern überhaupt jede naturwidrige Behandlung des Forschungsgegenstands. Eben darauf bezog sich die Auseinandersetzung zwischen Goldstein und Viktor von Weizsäcker hinsichtlich der Reflexforschung. Ein interessantes Gegenmodell ist das von Joseph Beuys einmal geprobte Zusammenleben mit einem Coyoten in dessen Käfig. Gegen diese Art von Laborforschung – die dem Goetheschen Prinzip folgt, daß der Mensch sich gerade nicht heraushalten soll – ist vermutlich nichts einzuwenden. Überhaupt sollte man sich im Umgang mit den Dingen und auch in der Laborforschung die Kunst zum Vorbild nehmen, denn hier wird immer schon die schöpferische Zerstörung geübt, die der konsumtiven entgegengesetzt ist und (c) zum Erhaltungswissen beitragen kann.

Im übrigen bietet der Gegensatz der technischen Prozesse, die des Umweltschutzes bedürfen, zu den Naturprozessen, wenn sie zum Vorbild der Wirtschaft werden, für die Laborforschung eine grundsätzliche Alternative. Im ersten Fall wird es nämlich darauf ankommen, die Labore – wie heute vielfach in der Biotechnik – in ihrer Abschirmung nach außen zu perfektionieren und dadurch der Wirtschaft ein Vorbild zu sein. Demgegenüber sollte die Laborforschung im andern Fall so eingerichtet werden, daß sie der Abschirmung und räumlichen Beschränkung möglichst nicht mehr bedarf. Mit zunehmendem Übergang von den technischen zu den natürlichen Prozessen würde die Laborforschung dann aber tendenziell das Bewußtsein gewinnen, daß das Labor seinen Ort nicht nur in einem Haus, in einem Institutsgelände, in einer Stadt, in einer Region, in einem Land und in einem Erdteil hat, sondern immer schon auf der Erde selbst: Hier, wo ich einen bestimmten Prozeß untersuche, schirme ich

mich nur vorläufig gegen den Naturzusammenhang meiner Forschung im menschlichen Leben ab, suche aber mein Erkenntnishandeln letztlich der Erde anzueignen, auf der auch dieses Labor seinen Ort hat.

#### (4) Gerechtigkeit und Freiheit – auch im Erkenntnishandeln

Wenn unser Handeln nicht nur im mitmenschlichen Umgang, sondern auch im wissenschaftlichen Verhältnis zur natürlichen Mitwelt ethisch zu rechtfertigen ist, so sind die bisher genannten Bewertungskriterien Orientierungen für diese Erweiterung. Ich halte sie sogar für Grundbedingungen, denn unser Grundverhältnis zur außermenschlichen Natur ist das natürliche Mitsein, und dazu gehören die liebende Zuwendung, die Angemessenheit und die Einbettung gleichermaßen. Aus diesen drei Dimensionen des Grundverhältnisses ergibt sich allerdings noch keine sittliche Ordnung des wissenschaftlichen Erkenntnishandelns. Da aber diese Dimensionen des natürlichen Mitseins auch für das menschliche Mitsein gelten und hier nach den Grundsätzen der Gerechtigkeit und Freiheit zu einer sittlichen Ordnung so ausgelegt werden können, daß sich ein gesellschaftlicher Frieden ergibt, mag dies auch für den Frieden mit der Natur gelten. So wie Kant meinte, daß Gerechtigkeit und Freiheit zur Naturabsicht in der Menschengeschichte gehören, könnte dieser Gedanke – wenn es sich denn um eine *Naturabsicht* handelt – auf das menschliche Verhältnis zur natürlichen Mitwelt erweitert werden, soweit Gerechtigkeit und Freiheit sich in dieser umfassenderen Weise auslegen lassen.

Wie man der außermenschlichen Natur im wirtschaftlich-technischen Handeln Gerechtigkeit widerfahren lassen kann, wird seit Stone (1972) und Stutzin (1973) bereits rechtspolitisch erörtert (vgl. Leimbacher 1988). Da das industriewirtschaftliche Handeln ohnedies nur eine Vielfältigung des experimentellen Handelns in der Laborforschung ist, ist Gerechtigkeit in Freiheit also bereits in der naturwissenschaftlichen Erkenntnis zu wahren. Auf eine entsprechende Naturwissenschaft hatten es – in der Tradition Spinozas – vor allem Goethe und Alexander von Humboldt abgesehen, wobei der letztere seinen „Kosmos“ geradezu mit dem Leitsatz eröffnet: „Die Natur ... ist das Reich der Freiheit“ (1845, I 4). Deshalb durchdringt uns beim „Eintritt in *das Freie* (wie wir tief bedeutend in unserer Sprache sagen) ... überall ... das Gefühl der

freien Natur, ein dumpfes Ahnen ‚ihres Bestehens nach inneren ewigen Gesetzen‘“ (a.a.O., I 7/6). Humboldt selbst hat diese freiheitliche Ordnung vor allem als ‚der zweite Entdecker Iberoamerikas‘ (als der er dort bis heute geachtet und gefeiert wird) gesucht und erfahren, meinte mit der Natur als dem Reich der Freiheit jedoch keineswegs nur Schillers „Auf den Bergen ist Freiheit!“ (Braut von Messina, Vers 2585), d. h. jenseits der Zivilisation, sondern generell: „Vollkommenes Gedeihen und Freiheit sind unzertrennliche Ideen auch in der gesamten Natur“ (1847, II 98) – in der menschlichen Gesellschaft und in der Erziehung sind sie es ohnehin, aber eben *auch* in der Natur. Als ein Beispiel nannte er den englischen Park, also eine durchaus kultivierte Ordnung, jedoch eine freiheitliche. Freiheit und Ordnung schließen sich ja nicht aus, sonst könnte man statt ‚Freiheit‘ auch gleich ‚Unordnung‘ sagen. *Wer also die Dinge und Lebewesen der Natur nicht in ihrer freiheitlichen Ordnung erfährt, der kennt sie nicht so, wie sie wirklich sind.*

In der Unterdrückung anderer – anderer Menschen oder anderer Arten von Lebewesen – finden wir auch keine Freiheit zu uns selber. Goethe hat dies für die Naturwissenschaft festgehalten: „Wenn der Naturforscher sein Recht einer freien Beschauung und Betrachtung behaupten will, so mache er sich zur Pflicht die Rechte der Natur zu sichern; nur da wo sie frei ist, wird er frei sein, da wo man sie mit Menschensatzungen bindet, wird auch er gefesselt werden“ (1824, LA I 8, 388). Die moderne Naturwissenschaft hat diese Regel nicht beherzigt. Sie erforscht, wozu man die Natur um unseretwillen zwingen kann. In der Wirtschaft, in der Technik und in der Medizin geschieht dies dann so, wie es in der naturwissenschaftlichen Laborforschung geprobt und gesichert worden ist.

Wir sind gewöhnlich nicht gut darauf zu sprechen, daß Natur und Freiheit etwas miteinander zu tun haben könnten. Immanuel Kant hat in seiner Kritischen Phase – d. h. vor der Kritik der Urteilskraft – sogar gemeint, daß wir uns in das Reich der Freiheit retten könnten, indem wir die Natur unerbittlich dem der Notwendigkeit überlassen, und er erweist sich auch hier – in der Tradition von René Descartes – als der eigentliche Philosoph der Industriegesellschaft. Denn die herrschende Meinung ist, daß Freiheit nur für uns Menschen in Frage komme, und wir suchen unsere gesellschaftliche Freiheit zu verwirklichen, indem wir in der Natur nur noch das gelten lassen, was wir nach unserm Entwurf hervorbringen. Dabei folgen wir den Gesetzen der Naturwissenschaft, die ja gerade regelhaft besagen, wozu man die Dinge um unsretwillen

nötigen kann. Die hier erforschten Zwänge hatte auch Kant vor Augen, als er die Natur zum Reich der Notwendigkeit erklärte. Allerdings haben wir die Seinsbehauptung, die Natur sei dieses Reich, in den Imperativ gewendet, sie entsprechend behandeln zu sollen.

Kant ist in seinem späteren Denken jedoch nicht bei der Dichotomie von Natur und Freiheit geblieben. Wie auch könnten Menschen, die selbst ein Teil der Natur sind und somit an deren Notwendigkeit teilhaben, dennoch in Freiheit dem Sittengesetz folgen sollen, sich also trotz der Naturgesetze im Handeln am Guten orientieren? Kant fand die Antwort auf diese Frage in der „Kritik der Urteilskraft“. Sie lautet: Wir können uns im Handeln frei am Guten orientieren, weil die Naturordnung nach Gesetzen in ihrer Notwendigkeit selbst ein freiheitlicher Ausdruck dieses (übersinnlichen) Guten ist, so wie wir es – als eine „Gunst der Natur“ (KdU A 300) – in deren Schönheit erfahren. Dieselbe Antwort hatte, was Kant wohl nicht bewußt war, Platon gegeben. Beide Philosophen kommen auch darin überein, daß sie die Dinge der Natur als Kunst verstehen, allerdings aus göttlicher Absicht, während menschliche Kunst aus menschlicher Absicht entsteht. In Kants Alterswerk (Opus postumum) zeichnet sich sogar eine Abkehr von seiner früheren Anthropozentrik ab, indem er annahm, die Natur habe „das Ganze der für einander geschaffenen Pflanzen und -Thierarten so organisirt daß sie einander als Glieder einer Kette den Menschen nicht ausgenommen einen Kreis bilden ... einander zum Daseyn zu bedürfen“ (AA XXI 570; vgl. Meyer-Abich 1997[a], 236-256).

Die Industriegesellschaft ist Kant auf seinem späteren Weg, mit Platon über Descartes hinauszugehen, nicht gefolgt. Wir verhalten uns ja nach wie vor so, als könnten wir – wie der alttestamentliche Schöpfergott – die Natur sozusagen von oben herab dem anverwandeln, was wir für gut halten, indem wir aus unserm Reich der Freiheit Kausalketten im Naturreich der Notwendigkeit in Gang setzen. Durchlässig wird die Grenze zwischen den beiden Welten in diesem Selbstverständnis für uns nur dann, wenn jemand krank wird und sich dadurch auf einmal selbst im Reich der Notwendigkeit wiederfindet, wo dann freilich über ihm am Himmel der Freiheit alsbald ein Mediziner auftaucht, um ihn vermöge medizinischer Kausalketten wieder in die andere Welt zurückzuholen.

So wie die Medizin lebt auch die klassische Naturwissenschaft weiterhin ziemlich unbeirrt in der cartesianischen Doppelwelt von Materie und Bewußtsein. Wie wir selbst zu der Natur gehören, in der wir erkennend

und handelnd leben, haben zwar einige Physiker in der Quantentheorie und einige Biologen in den psychosomatischen Entdeckungen der neueren Neurobiologie erfahren, aber die naturwissenschaftlich-technische wie die medizinische Praxis haben diese Einsichten noch nicht erreicht.

In ihrer Grundform handelt die herrschende Naturwissenschaft von einer Welt, in der der erkennende Wissenschaftler nicht vorkommt. Auf diese Inkonsistenz hat Georg Picht immer wieder hingewiesen. Je mehr sich aber einige Zweige der Naturwissenschaft gemeinsam mit den Kulturwissenschaften dem Dasein des Menschen in der Welt zuwenden, könnte es hier zu einer Revolution kommen – vielleicht sogar, wie bei Planck in der Quantentheorie, aus dem Vorsatz, möglichst wenig ändern zu wollen. Diese Revolution könnte in dem Sinn eine Umkehr zum Leben sein, daß wir in der außermenschlichen Natur nicht mehr *Andere als* wir, sondern *Andere wie* wir erkennen, d. h. unsere *natürliche Mitwelt*. In einer künftigen Wissenschaft wäre dann nur noch das wissenswert, was sich im Mitsein zeigt. Ich nehme an, daß es in einer solchen „Mit-Wissenschaft“ (Meyer-Abich 1997[b]) zu einer Renaissance der Laborforschung kommen würde, weil Erfahrungen des Mitseins zwar geschlossene, aber auch durchlässige Räume erfordern. Dies wäre natürlich eine andere Laborforschung als die heutige. Im Großen würde die Gesellschaft dann wahrscheinlich keine Experimentiergesellschaft mehr sein (vgl. Groß u. a. 2005), d. h. selbsterstörerische Schadensausmaße in Kauf nehmen.

Ein Grund für das Beharrungsvermögen der herrschenden Naturwissenschaft ist wohl, daß Kants Hinausgehen über seinen früheren Cartesianismus ihre Objektivität infrage stellt. Wenn nämlich die Naturordnung ebenso ein Ausdruck des Guten ist wie das Sittengesetz für das menschliche Handeln, so daß die Notwendigkeit der Naturgesetze auch dem freien Handeln Raum gibt, stellt sich ja die Frage, wieso wir uns dann nicht umgekehrt am Guten orientieren *müssen*, sondern ihm entgegen handeln können. Ich weiß darauf nur die Platonische Antwort, daß wir des Guten niemals gewiß sein können. Ebenso ungewiß ist dann aber, ob diejenige Naturordnung, die wir erkennen, wirklich ein Ausdruck des Guten und insoweit wahr ist oder ob sie dies nicht ist. Zwar bewähren sich die Naturgesetze im experimentell oder technisch verfügbaren Handeln; ob sie *wirklich* wahr sind, hängt dann aber davon ab, ob dieses Handeln im Ganzen der Natur ein gutes Handeln ist. Diese

Konsequenz stellt das objektivistische Selbst(miß)verständnis der herrschenden Naturwissenschaft in Frage, und wen hätte man dann noch auf seiner Seite?

Zwar hat man es in der Wissenschaft zugegebenermaßen einfacher, wenn man sich im Erkenntnishandeln die Bewertung auf Güte und Natürlichkeit erspart. Ungewisse Antworten auf die richtigen Fragen sind aber doch immer noch wesentlich interessanter als gewisse Antworten auf die falschen Fragen oder als gar keine Antworten auf unterdrückte Fragen.

### *Literatur*

- Bacon, Francis, [1620] 1990: Neues Organon. Teilband 1, hrsg. und mit einer Einleitung von Wolfgang Krohn, lateinisch-deutsch. Hamburg: Meiner
- Benn, Gottfried, [1950] 1961: Doppelleben. In: Autobiographische und vermischte Schriften. Gesammelte Werke in vier Bänden hrsg. von Dieter Wellershoff. Wiesbaden: Limes Verlag, Bd. IV, S. 69–172
- Bohr, Niels, 1935: [Letters to the Editor] Quantum Mechanics and Physical Reality [Kopenhagen 29. Juni 1935]. In: Nature 136, S. 65
- Braungart, Michael; McDonough, William, 2003: Einfach intelligent produzieren: Cradle to cradle: Die Natur zeigt, wie wir die Dinge besser machen können. Berlin: Berliner Taschenbuch-Verlag
- Dingler, Hugo, 1928: Das Experiment. Sein Wesen und seine Geschichte. München: Reinhardt
- Fleck, Ludwik, [1935] <sup>2</sup>1993: Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Galilei, Galileo, [1632] 1891: Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, das ptolemäische und das kopernikanische. Aus dem Ital. übers. und erläutert von Emil Strauss. Leipzig: Teubner
- Goethe, Johann Wolfgang von, 1981: Goethes Werke. Hamburger Ausgabe in 14 Bänden. Hrsg. von Erich Trunz. München: C. H. Beck; zitiert „HA“
- Goethe, Johann Wolfgang von, 1976: Goethes Briefe. Hamburger Ausgabe in vier Bänden. Hrsg. von Karl Robert Mandelkow. 2. Aufl. München: C. H. Beck; zitiert „HAB“
- Goethe, Johann Wolfgang von, [1824] 1962: Recht und Pflicht. In: Die

- Schriften zur Naturwissenschaft ...; zitiert „LA“. Weimar: Böhlau, Bd. I 8, S. 388f.
- Goldstein, Kurt, [1934] 1963: *Der Aufbau des Organismus. Einführung in die Biologie unter besonderer Berücksichtigung der Erfahrungen am kranken Menschen*. Den Haag: Nijoff
- Goldstein, Kurt, [1934] 1995: *The Organism. A Holistic Approach to Biology Derived from Pathological Data in Man, with a foreword by Oliver Sacks*. New York: Zone Books
- Groß, Matthias; Hoffmann-Riem, Holger; Krohn, Wolfgang, 2005: *Realexperimente. Ökologische Gestaltungsprozesse in der Wissensgesellschaft*. Bielefeld: transcript Verlag
- Hadot, Pierre, 1982: *Zur Idee der Naturgeheimnisse. Beim Betrachten des Widmungsblattes in den Humboldtschen ‚Ideen zu einer Geographie der Pflanzen‘*. Wiesbaden: Steiner: *Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften und Literatur, geistes- und sozialwissenschaftliche Klasse 8*
- Humboldt, Alexander von, 1845–1862: *Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*. 5 Bände. Stuttgart; Tübingen: Cotta
- Kant, Immanuel, 1956–1964: *Werke in sechs Bänden*. Hrsg. von Wilhelm Weischedel. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft; zitiert nach der Seitenzahl der ersten (A) bzw. zweiten (B) Aufl.
- Kant, Immanuel, 1936: *Opus postumum – Erste Hälfte (Convolut I bis VI)*. Kant's gesammelte Schriften. Hrsg. von der Preußischen Akademie der Wissenschaften; zitiert „AA“. Berlin/Leipzig: de Gruyter, Bd. XXI = 3. Abt., *Handschriftlicher Nachlaß 8*
- Kepler, Johannes, [1596/<sup>2</sup>1621] 1936: *Das Weltgeheimnis. Mysterium Cosmographicum*. Übersetzt und eingeleitet von Max Caspar. München; Berlin: Oldenbourg
- Kepler, Johannes, [1596/<sup>2</sup>1621] 1981: *Mysterium Cosmographicum. The Secret of the Universe*. Translation by A.M. Duncan, Introduction and Commentary by E.J. Aiton with a Preface by I. Bernard Cohen. New York: Abaris Book
- Kuhn, Thomas S., 1962: *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago/London: The University of Chicago Press
- Leimbacher, Jörg, 1988: *Die Rechte der Natur*. Basel; Frankfurt: Helbing Lichtenhahn
- Lorenzen, Paul, 1955: *Einführung in die operative Logik und Mathematik*. Berlin u. a.: Springer
- Ludwig, Heinrich (Hrsg.), 1882/1970: *Lionardo da Vinci. Das Buch über*

- die Malerei nach dem Codex Vaticanus (Urbinas) 1270 hrsg., übers. und erläutert. Bd. I: Text und Übersetzung des 1.–4. Theiles. Wien: Braumüller/Osnabrück: Zeller
- Merker, Barbara; Mohr, Georg; Siep, Ludwig (Hrsg.), 1998: Angemessenheit. Zur Rehabilitierung einer philosophischen Metapher. Würzburg: Königshausen und Neumann
- Meyer[-Abich], Adolf, 1934: Ideen und Ideale der biologischen Erkenntnis. Beiträge zur Theorie und Geschichte der biologischen Ideologien. Leipzig: Barth
- Meyer-Abich, Klaus Michael, 1997[a]: Praktische Naturphilosophie – Erinnerung an einen vergessenen Traum. München: C. H. Beck
- Meyer-Abich, Klaus Michael, 1997[b]: Mit-Wissenschaft: Erkenntnisideal einer Wissenschaft für die Zukunft. In: Meyer-Abich, K. M.; Scherhorn, G. u. a.: Vom Baum der Erkenntnis zum Baum des Lebens – Ganzheitliches Denken der Natur in Wissenschaft und Wirtschaft. München: C.H. Beck, S. 19-161
- Müller, Johannes, 1826: Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtsinnes des Menschen und der Thiere nebst einem Versuch ... Leipzig: Cnobloch
- Picht, Georg, 1989: Der Begriff der Natur und seine Geschichte. Mit einer Einführung von Carl Friedrich von Weizsäcker (Vorlesungen und Schriften). Stuttgart: Klett-Cotta
- Siep, Ludwig, 2004: Konkrete Ethik. Grundlagen der Natur- und Kultur-ethik. Frankfurt am Main: Suhrkamp
- Stone, Christopher D., [1972] 1974: Should Trees Have Standing? Toward legal rights for natural objects. Los Altos
- Stutzin, Godofredo, [1973] <sup>2</sup>1979: Should We Recognize Nature's Claim to Legal Rights? An Essay [urspr.: La Naturaleza: un Nuevo Sujeto de Derecho? Jahuel, Chile]. In: Mason, William H.; Folkerts, George W. (Hrsg.): Environmental Problems. Principles, Readings, and Comments. Second Edition. Dubuque, Ia.: wcb
- Weizsäcker, Carl Friedrich von, 1947/1960: Das Experiment. In: Studium Generale 1, S. 3-9; ND in: Zum Weltbild der Physik. 8. Aufl., unveränderter ND. Stuttgart: Hirzel, S. 169–183
- Weizsäcker, Carl Friedrich von, 1948: Die Geschichte der Natur. Zwölf Vorlesungen. Stuttgart: Hirzel
- Weizsäcker, Carl Friedrich von, 1977: Der Garten des Menschlichen. Beiträge zur geschichtlichen Anthropologie. München: C. Hanser

**Weizsäcker, Carl Friedrich von, 1983: *Wahrnehmung der Neuzeit*. München: C. Hanser**