

**METHODISCHER REDUKTIONISMUS
BIOLOGISCHE SYSTEMTHEORIE
und
TRANSKLASSISCHE LOGIK**

Axel Ziemke

Über die Grenzen einer experimentellen Biologie
und die Möglichkeit einer empirischen Systemforschung

ISSN 1028-2734

Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion

Heft 66

Herausgegeben von
Arno Bammé, Peter Baumgartner, Wilhelm Berger, Ernst Kotzmann

ISSN 1028-2734

In dieser Schriftenreihe veröffentlicht das IFF, Arbeitsbereich Technik- und Wissenschaftsforschung, Arbeitsmaterialien, Diskussionsgrundlagen und Dokumentationen, die nicht den Charakter abgeschlossener Forschungsberichte tragen, aber dem jeweils interessierten Fachpublikum zugänglich gemacht werden sollen. Beabsichtigt ist, neuere Forschungsergebnisse schnell, auch in vorläufiger Form, ohne aufwendige Aufarbeitung in die wissenschaftliche Diskussion einzubringen.

Der Nachdruck, auch auszugsweise, ist nur mit der Zustimmung des Instituts gestattet.

1. Theoretische und methodische Reduktion

Ist die Biologie auf die Physik reduzierbar? Diese Frage wird in der analytischen "Philosophy of Science" in der Tradition des "Logischen Empirismus" als Frage nach der Möglichkeit einer "Theorienreduktion" behandelt (Churchland 1986, 277ff). Gemäß der "deduktiv-nomologischen Theorie der Erklärung" des Wiener Kreises kann eine Theorie dann als auf eine andere reduziert gelten, wenn die Gesetze der reduzierten Theorie aus den Gesetzen der grundlegenderen Theorie formal-logisch abgeleitet werden können, wobei allerdings in der Regel "Überbrückungsprinzipien" angewendet werden müssen, um Begriffe der beiden Theorien identifizieren zu können (Carnap et al. 1975). Die Frage nach der Möglichkeit einer Reduktion von Phänomenen der einen auf Phänomene der anderen Wissenschaftsdisziplin kann nur abgeleitet von der Beantwortung jener Frage der Theorienreduktion beantwortet werden. Allerdings erfüllt praktisch keine der anerkannt erfolgreichen Reduktionen in den Wissenschaften dieses Kriterium der Ableitbarkeit (Hooker 1981). Bestenfalls ist die reduzierte Theorie nach ihrer Reduktion in mehr oder minder korrigierter Form herzuleiten, nicht selten muß sie jedoch gänzlich verworfen werden. Es ergibt sich ein Spektrum von Möglichkeiten, an dessen einem Ende Theorien stehen, die nach ihrer Reduktion weitgehend erhalten geblieben sind (wie etwa die Optik nach ihrer Reduktion auf die Theorie elektromagnetischer Wellen), an dessen anderem Ende sich aber Theorien finden, die nach ihrer Reduktion aufgegeben oder "eliminiert" werden mußten (wie etwa die kalorische Theorie der Wärme nach ihrer Reduktion auf die statistische Thermodynamik - Churchland 1986, 278f).

Diese Kritik an der "deduktiv-nomologischen Theorie" ist gewiß berechtigt. Doch ergeben sich aus diesem Kritikansatz noch sehr viel weitergehende Konsequenzen: Während nämlich der Erfolg einer Reduktion in dem logisch-empiristischen Konzept ohne jede Referenz auf empirische Begründungen bewertet werden kann, muß im Falle einer (mehr oder minder) eliminativen Reduktion *empirisch* zwischen den Geltungsansprüchen beider Theorien entschieden werden. Wenig problematisch ist diese Entscheidung, wenn die disziplinspezifischen empirischen Methoden einander hinsichtlich ihrer Begründungskriterien gleichen, wie dies in den genannten Beispielen der Fall ist, in denen physikalische Theorien auf physikalische Theorien reduziert worden sind. Die empirische Begründung all jener Theorien beruht auf *experimenteller* Forschung. Wie soll aber zwischen Theorien verschiedener Wissenschaften entschieden werden, wenn die Kriterien empirischer Forschung und somit die Kriterien dafür, was als empirische Begründung gelten kann, in diesen Wissenschaften unterschiedlich sind? Eben dieses Problem entsteht im Falle der Frage nach der Reduktion der Biologie auf die Physik. Traditionell beruht die Biologie *nicht* auf experimentellen Methoden, sondern auf Beschreibung und Beobachtung. Auch wenn diese Formen empirischer Forschung heute oftmals auf modernster Meßtechnik beruhen,

sind sie keineswegs "experimentell" geworden. Die am Vorbild der Physik orientierte "experimentelle" Biologie, wie sie sich etwa im vorigen Jahrhundert in Form der Physiologie entwickelte, verdient bestenfalls die Bezeichnung "quasi-experimentell", da sie wesentlichen Kriterien experimenteller Forschung im physikalischen Sinne nicht gerecht werden kann (vgl.2.). Selbst die zum Inbegriff des Reduktionismus gewordenen Disziplinen der modernen Biologie wie Biophysik, Biochemie oder Molekularbiologie arbeiten nur teilweise im strengen Sinne "experimentell". Kann aber eine Theorie, die auf beobachtenden oder beschreibenden Methoden beruht, mit einer inhaltlich dieser widersprechenden Theorie, die durch experimentelle Methoden gestützt wird, hinsichtlich ihrer empirischen Begründbarkeit verglichen werden?

Gewiß läßt sich diese Frage nicht pauschal mit "nein" beantworten. Bestes Beispiel hierfür ist der hohe Erklärungswert der experimentellen Physik für die ausschließlich auf Beobachtungen beruhende Astronomie. Eine experimentell fundierte Theorie kann Voraussagen über Beobachtungsergebnisse einer nicht-experimentellen Disziplin machen; durch Beobachtungen begründete Theorien können experimentell überprüft werden. Ob aber beide Methodologien in einem bestimmten Falle wie der physikalischen Erklärung von Lebenserscheinungen kompatibel sind, kann nur aus einem Vergleich der auf Beobachtung/Beschreibung bzw. Experiment beruhenden Theorie und der in das Experiment bzw. die Beobachtung/Beschreibung "investierten" allgemeinen Objekttheorie entschieden werden.

Das Reduktionsproblem biologischer Forschung ist also nicht nur oder vielleicht sogar nicht einmal in erster Linie ein theoretisches, sondern ein methodologisches Problem: Sind die Methoden der Biologie durch die Methoden der Physik zu ersetzen? Nur abgeleitet von dieser methodologischen Fragestellung läßt sich die Frage nach einer Reduktion biologischer auf physikalische Theorien beantworten. Ein solches methodologisches Reduktionskonzept legt etwa B.-O. Küppers vor. In Abhebung zu einem "ontologischen Reduktionismus" entwickelt er den Ansatz eines "methodologischen Reduktionismus": "Dieser bezieht sich [...] allein auf die Forschungsmethoden und behauptet, daß ein tiefergehendes, das heißt ein über die experimentell-deskriptive Ebene hinausgehendes Verständnis der Lebenserscheinungen nur im Kontext von Physik und Chemie möglich ist" (1986,169). Die Unmöglichkeit einer solchen methodologischen Reduktion soll im Folgenden gezeigt werden. Damit wird keineswegs behauptet, daß gerade die Anwendung physikalischer und chemischer Meßverfahren, aber auch experimenteller und quasi-experimenteller Methoden für die Biologie wertlos wäre. Im Gegenteil: Es wird zu zeigen sein, wie prinzipiell eine über die "deskriptive" Ebene hinausgehende empirische Forschung in der Biologie möglich ist, ohne daß dies einen "methodologischen Reduktionismus" implizieren würde.

2. Experiment

Experimente sind als Handlungen zweckbestimmt. Die Spezifik experimentellen Handelns besteht in der Setzung und Verwirklichung des "allgemeinen Zwecks" der Manipulation von "Naturgegenständen". Eben in dieser "allgemeinen Zweckbestimmtheit" liegt die Grundlage dafür, die theoretischen Verallgemeinerungen der Ergebnisse von Experimenten technisch zur Erfüllung spezieller technologischer Zwecke anwenden zu können (Ruben 1976). Theorien gehen in Experimente durch die Ableitung von Handlungsanweisungen ein. Die erfolgreiche (zweckgemäße) Verwirklichung der allgemeinen Zwecksetzung des Experiments auf Grundlage dieser Handlungsanweisung ist die empirische Begründung dieser Theorie (Janich 1992). Die Methodologie experimenteller Forschung ist selbst eine solche allgemeine Theorie. Aus ihr lassen sich die folgenden Handlungsanweisungen ableiten:

(1) *Unterscheide* einen Forschungsgegenstand von seiner Umgebung durch die Unterscheidung relevanter, beobachtbarer und/oder meßbarer Variablen von irrelevanten, nicht beobachtbaren oder nicht meßbaren Variablen. Gemessen oder beobachtet werden können diese Variablen quantitativ als mathematische Größen oder qualitativ als Aussagen.

(2) *Stelle* Relationen dieser Variablen *her* durch die Beobachtung und/oder Messung abhängiger Variablen unter planmäßiger Variation von unabhängigen Variablen. Beschrieben werden können diese Relationen quantitativ als mathematische Funktionen von Größen oder qualitativ als Wahrheitsfunktion von Aussagen (zumeist Implikation, Replikation oder Identität).

(3) *Kontrolliere* die Umgebung des Forschungsgegenstandes durch das Konstanthalten von Randbedingungen und den Ausschluß von Störungen. Beschrieben werden können nicht konstantzuhaltende Parameter der Umgebung über die Varianz von Meßergebnissen.

(4) *Reproduziere* die Eindeutigkeit der hergestellten Relationen durch Wiederholung des Experiments und statistische Absicherung.

(5) *Objektiviere* Unterscheidung, Herstellung und Kontrolle durch die Beschränkung des Experiments auf explizite, reproduzierbare und protokollierte Operationen mit standartisierten (oder standartisierbaren) und protokollierten Forschungsmitteln.

Zur Methodologie experimenteller Methoden gehört zudem eine "Meßtheorie", die insbesondere sicherzustellen hat, daß die direkt gemessene Größe ein Maß für die unter (1), (2) und (3) zu erfassenden Variablen darstellt, und eine "Auswertungstheorie", die insbesondere die unter (4) angemerkten statistischen Aspekte zum Gegenstand hat. Vor allem aber ist die empirisch zu begründende Theorie im Rahmen des Grundlagenwissens einer bestimmten Disziplin für die Ableitung spezifischer Handlungsanweisungen des Experimentes entscheidend. Die Theorie selbst sagt

insbesondere hinsichtlich (2) die Herstellbarkeit bestimmter Relationen voraus und legt somit den "Versuchsaufbau" fest. Das disziplinspezifische Hintergrundwissen, aber auch die Theorie selbst geben zudem an, welche Variablen relevant sein könnten und daher gemessen werden müssen (1), welche (unabhängigen) Variablen variiert werden müssen und wie der Forschungsgegenstand in Zustände versetzt werden kann, die bestimmten Werten dieser Variablen entsprechen (2), welche Variablen konstantgehalten werden müssen bzw. welche Randbedingungen in welchen Grenzen erforderlich sind und welche Störgrößen erwartet werden müssen (3), welche Anforderungen an die statistische Auswertung zu stellen sind (4) und welche "subjektiven Fehler" zu vermeiden sind (5).

Die Verwirklichung dieser Methodologie experimenteller Forschung ist nicht nur die Grundlage für den Siegeszug der experimentellen Physik und Chemie, sondern auch der Hintergrund für den Erfolg (quasi-)experimenteller Forschung in der Biologie. Tafel 1 erläutert die genannten Kriterien und ihre notwendige Relativierung im Rahmen biologischer Forschung am Beispiel eines "Standardexperiments" der neurophysiologischen Erforschung des sensorischen Systems von Säugetieren.

Ein für die jeweiligen Untersuchungen geeignetes Versuchstier wird mit einem Narkotikum anästhesiert, an einer geeigneten Stelle über den zu untersuchenden Hirnstrukturen die Haut entfernt, der Schädelknochen abgetragen und ein "Ableitzylinder" installiert. Das Tier wird in einer Halterung fixiert und mit einem Muskelrelaxans paralytisiert. Da die Paralyse die Atmungsmuskulatur lahmlegt, muß das Tier in der Regel künstlich beatmet und seine Körpertemperatur reguliert werden. Durch den Ableitzylinder wird eine Mikroelektrode mit einem Schrittmotor in die zu untersuchende Hirnstruktur eingeführt. Wenn die Zielstruktur erreicht ist, werden dem Tier Reize der zu erwartenden Modalitäten angeboten und der Vortrieb Mikrometer für Mikrometer fortgesetzt, bis die Mikroelektrode auf ein aktives Neuron trifft, dessen Aktivität auf einem Oszillographen sichtbar und über einen Lautsprecher hörbar gemacht werden kann. Nun werden durch systematische Variation eines zu untersuchenden Reizangebotes diejenigen (visuellen, auditorischen, somatosensorischen etc.) Reizparameter bestimmt, bei denen es zur Erhöhung der Aktivität dieser Zelle kommt. Bei der Erforschung der "visuellen" Hirnstrukturen geschieht dies in der Regel, indem die Reize auf einen Schirm projiziert werden, der das Gesichtsfeld des Tieres abdeckt. Im auditorischen System verwendet man entsprechend definierte Töne, im somatosensorischen Berührungen etc.

Die "Handlungsanweisungen" einer Methodologie experimenteller Forschung kommen hier wie folgt zur Geltung:

(1) Als Forschungsgegenstand wird die elektrochemische Aktivität einzelner Nervenzellen in ihrer Beziehung zu einem definierten Reizangebot bestimmt. Als relevante Variablen betrachtet man einen bestimmten Reizparameter (etwa die Orientierung eines bewegten Lichtbalkens auf dem Bildschirm in Grad zu einer Referenzorientierung) und die über eine bestimmte Zeiteinheit gemittelte und über die Zeit gemessene Entladungsrate der Zelle (in Aktionspotentialen pro Zeiteinheit).

(2) Hergestellt werden soll eine signifikante Korrelation zwischen Reizparametern und Entladungsrate. Relativ ist diese Verwendung des Begriffs "Herstellung" insofern als jener Beziehung nicht ein ausschließlich vom Experimentator in Gang gebrachter "Kausalprozeß" zu Grunde liegt, sondern Leistungen des Tieres selbst vorausgesetzt werden müssen, wie etwa eine bestimmte Struktur (Konnektivität) des Nervensystems im Ergebnis ontogenetischer Lernprozesse, die elektrochemische Aktivität der Zelle selbst als Ergebnis ihrer Stoffwechselprozesse, die Nährstoff-

und Sauerstoffversorgung der untersuchten und "vorgeschalteten" Nervenzellen etc. Eben diese Relativität des Begriffes "Herstellung" ist ein Grund, lediglich von einer "quasi-experimentellen" Methode zu sprechen.

(3) Zu den kontrollierten Störgrößen zählen nicht nur anderweitige modalitätsspezifische Reize, sondern besonders die motorische Aktivität des Tieres selbst. In Experimenten am visuellen System sind Narkose und Paralyse vor allem daher erforderlich, weil jede Bewegung des Tieres, ja selbst das Zittern des Muskeltremors durch die Veränderung der relativen Lage des Tieres zum Reiz (etwa die Verschiebung des Bildes auf der Retina) über die streng geordneten Projektionen zur "Verschiebung" der Aktivität von der untersuchten Zelle zu anderen Bereichen der Zielstruktur führen und ihre systematische Untersuchung so unmöglich machen würde. Erst als Konsequenz der durch die Paralyse "kontrollierten" (unterbundenen) Muskelaktivität entsteht das Problem, die Atmung und die Wärmeregulation des Tieres als "Randbedingung" des Experiments zu "kontrollieren" (künstlich aufrecht zu erhalten). Bei Experimenten am wachen Versuchstier (vgl. Tafel 4) kann eine solche Kontrolle über Trainingsleistungen erfolgen, die bestimmen, welche Bewegungen das Tier ausführt (z.B. Fixation eines Lichtpunktes) und welche es unterläßt (z.B. Augenbewegungen).

(4) Die Reproduktion der hergestellten Relationen zwischen Reizparametern und Entladungsraten erfolgt über die mehrfache Ausführung des Experimentes und Signifikanztests der gemittelten Entladungsraten für die einzelnen Reizparameter.

(5) Die Objektivierung des Experiments erfolgt über die Protokolle oder Methodenteile von Publikationen. Standardisierungen werden beispielsweise reizseitig erreicht durch die Randomisierung der Reizparameter und ihre "Einspielung" über ein Computerprogramm, auf Seiten des Tieres durch die computergestützte Registrierung und Auswertung der Meßwerte und die anatomische und histologische Charakterisierung der Ableitorte.

Tafel 1: Ein Beispiel für eine (quasi-) experimentelle Methode in der Biologie: Die Untersuchung von Reizkorrelaten in der neuronalen Aktivität durch Einzelzelleableitung

3. Systemtheorie

Die Frage nach der Möglichkeit einer Reduktion der Lebenserscheinungen auf physikalische Gesetze durchzieht die gesamte Biologiegeschichte der Neuzeit als Auseinandersetzung vitalistischer und mechanistischer bzw. physikalistischer Konzepte zum Verständnis des Lebendigen. Zentrales Argument gegen eine solche Reduzierbarkeit war gewöhnlich die offensichtliche Zweckmäßigkeit der Lebenserscheinungen, die sich einer physikalischen Erklärung gänzlich zu entziehen schien. Erst Darwins Evolutionstheorie schien den Zweckbegriff überflüssig zu machen, indem sie diese Zweckmäßigkeit aus dem Wechselspiel von Variation und Selektion zu erklären suchte. "Maschinenmodelle" des Lebendigen schienen somit endgültig legitimiert werden zu können. Heute hat die Molekularbiologie diesen Erklärungsansatz zu einer durchgängig "physikalistischen" Theorie entwickelt. Doch zeigen sich nach wie vor Grenzen, wenn es um die Erklärung der "Ganzheitlichkeit" eines lebenden Organismus im Ergebnis seiner Ontogenese, aber auch Phylogenese geht. Die Thematisierung dieser Defizite ist zum Gegenstand systemtheoretischer Forschung geworden, die heute zu anspruchsvollen anti-reduktionistischen Konzepten geführt hat, welche nicht in einer "Lebenskraft", sondern in einem spezifisch-biologischen Organisationsbegriff ihre Legitimation suchen. Ihren Ursprung

haben diese Forschungen in der frühen Kybernetik, die sich bereits explizit an jenem Reduktionsproblem orientierte. So erhoben Rosenblueth et al. (1943) in dem für das kybernetische Denken programmatischen Aufsatz "Purpose, Teleology and Behavior" eine Reformulierung des Zweckbegriffes auf nicht-vitalistischer Basis als Referenzwert einer Rückkopplungsschleife zur philosophischen Intention der Kybernetik. Kritisch angemerkt wurde in späteren Arbeiten, daß dieser Referenzwert als "Zweck" eines technischen Systems ja im Gegensatz zu lebenden Systemen von einem Designer festgelegt wird und somit die immanente Zweckmäßigkeit lebender Organismen nicht erfassen könne. Den Versuch einer alternativen Theorie der "Regelung der Regelung" als "Selbstregelung", also gewissermaßen der Bestimmung der Referenzwerte lebender Systeme durch diese Systeme selbst, stellt die "Kybernetik zweiter Ordnung" Heinz von Foersters dar (1982, 1985). Im Kontext dieser Theorie entwickelte sich eine inzwischen recht breite Denktradition, zu deren bekanntesten "Ablegern" die Theorie der Autopoiese von Humberto Maturanas (1982) und Francisco Varela (1979), die Theorie der Autologie von Lars Löfgren (1977), die Konversationstheorie von Gordon Pask (1981) oder die Polykontextualitätstheorie Gotthard Günthers (1976, 1979, 1980) zählen. In Deutschland wurden diese Arbeiten im Rahmen der theoretischen Biologie nur recht sparsam rezipiert (An der Heiden et al. 1985), fanden aber eine breite Resonanz in den Sozial- und Geisteswissenschaften (Schmidt 1987, 1992). Diese Konzepte sollen hier nicht im einzelnen vorgestellt, sondern die von diesen Theorien herausgearbeiteten Merkmale der Organisation lebender Systeme zusammengefaßt werden, auf Grund derer sich der anti-reduktionistische Anspruch dieser "neuen" Systemtheorie begründen läßt.

Die Organisation lebender Systeme ist gekennzeichnet durch:

- (1) ihre Abgrenzung von einer Umwelt, die durch diese Systeme *selbst* vollzogen wird (*Individualität*),
- (2) ihre Organisation als Netzwerk von Prozessen der Produktion von Bestandteilen und/oder Subsystemen, die diese Netzwerke *selbst* und ihre Abgrenzung als System von einer Umwelt reproduzieren (*Autopoiese*),
- (3) die Erzeugung einer der Individualität und Autopoiesis der Systeme angemessenen Umwelt durch das Verhalten dieser Systeme selbst (*Autonomie*),
- (4) eine der Individualität, Autopoiese und Autonomie dieser Systeme angemessenen Plastizität der Struktur dieser Systeme, die in ihrem Verhalten zur Kopplung an eine Umwelt führt (*Kognition*),
- (5) die der Individualität, Autopoiese, Autonomie und Kognition dieser Systeme angemessene Plastizität der Struktur dieser Systeme, die zur Kopplung an andere (lebende) Systeme in ihrem gemeinsamen Verhalten führt (*Kommunikation*).

Die unter (1) betonte Individualität beruht auf der Abgrenzung lebender Systeme von ihrer Umwelt durch die Erzeugung von Membranen, Haut oder Epidermis. Die Selbsterhaltung des Systems sowie

seine Unterscheidung von einer Umwelt, wie er über den unter (2) angeführten Begriff der Autopoiese erfaßt wird, macht den "Zweck" oder besser "Selbstzweck" des Systems aus. M.a.W. sind lebende Systeme in dem Sinne "zweckfrei", daß sie keinen äußerlich vorgegebenen Zwecken unterliegen, wie dies der Systembegriff der frühen Kybernetik impliziert (vgl. Ziemke 1992, Ziemke & Stöber 1992). Die unter (3) thematisierte Autonomie lebender Systeme bedeutet keineswegs Unabhängigkeit von einer Umwelt. Lebende Systeme setzen in ihrer Individualität und Autopoiese eine Umwelt voraus, die etwa als Lieferant von Nährstoffen, Energie oder "Negentropie" dient. Doch diese Systeme *produzieren* ebenso ihre Umwelt, bestimmen, welche Umgebung "für" sie zur Umwelt wird. Im einfachsten Falle geschieht dies durch die selektive Durchlässigkeit und die aktiven Transportprozesse an biologischen Membranen. Doch auch durch die Bewegung des Systems geschieht "vom Standpunkt des Systems gesehen" nichts anderes, als daß das System durch seine Aktivität eine neue Umgebung erzeugt. Darüberhinaus verändert ein System seine Umgebung auch durch direkte Beeinflussung. So verändern Einzeller ihre Umgebung durch die Ausschüttung von Exoenzymen, Spinnen durch das Spinnen von Netzen, Menschen durch das Bauen von Häusern. An einem schönen Beispiel macht schon Ashby (1952,41) diese "fundamentale Autonomie" des lebenden Organismus deutlich: "A frog on the bank of a stream can with one small jump change its world from one ruled by the laws of mechanics to one ruled by the laws of hydrodynamics". Da das Verhalten des Systems eben in der (autonomen) Erzeugung einer durch seine Individualität und Autopoiese "vorausgesetzten" Umwelt besteht, unterliegt es eben diesem "Selbstzweck" und kann daher nicht durch Veränderungen dieser Umwelt nach anderen Zwecken "kontrolliert" werden. Allerdings kann das System nicht jede beliebige Umwelt erzeugen. Es kann keine Nährstoffe über seine Membranen aufnehmen, die in seiner Umwelt nicht vorhanden sind, es kann sich durch seine Bewegungen keine Umwelt schaffen, die (vom Standpunkt des Beobachters gesprochen) nicht "erreichbar" ist, es kann aber auch keine Bewegungskoordinationen ausführen, die physikalisch nicht möglich sind. Diese "Störungen" seitens der Umwelt kompensiert das System durch strukturelle Veränderungen interner Prozesse, die Veränderungen des Systemverhaltens bedingen. Es stellt seinen Stoffwechsel auf andere Nährstoffe um und nimmt diese auf, es setzt eine andere Umgebung voraus und erzeugt sie, es führt andere Bewegungskoordinationen aus etc. Diese kompensatorischen Strukturveränderungen kann ein Beobachter gemäß (4) als "strukturelle Kopplung" (Maturana) oder "Kognition" beschreiben. Durch ihren Bezug auf Individualität, Autopoiese und Autonomie dient Kognition nicht dem Zweck einer optimalen "Repräsentation" oder "Widerspiegelung" der Umwelt, sondern der Erhaltung der Individualität, Autopoiese und Autonomie des Systems. "Für" das System existiert die Umwelt nicht in Form von Reizkorrelaten oder Objektrepräsentationen, sondern in Form der durch die Abgrenzung "ausgeschlossenen" Umwelt, der an die Prozesse der Autopoiese "anschlußfähigen" Komponenten und des Verhaltens, das diese Aus- und Anschlüsse erzeugt. Die Bestimmung von Kognition als Strukturveränderung des Systems meint zudem, daß alle kognitiven

Prozesse Lernprozesse sind. Lebende Systeme setzen jedoch nicht nur eine Umwelt voraus, sondern ebenso gemäß (5) vielfältige kommunikative Beziehungen zu lebenden Systemen, die sich über den Fortpflanzungszusammenhang einer Population oder Art verstehen lassen. Diese kommunikativen Beziehungen sind zunächst selbst "strukturelle Kopplungen" im Sinne von (4). Ihre Spezifik liegt aber darin, daß sie Auslöseereignisse für nicht-kompensatorische (aber ggf. "prospektiv-kompensatorische") Strukturveränderungen des Systems und seines Verhaltens darstellen. So beeinflusst etwa kommunikatives Verhalten eines Systems Strukturveränderungen im Rahmen der Autopoiese und Verhaltensänderungen im Rahmen der Autonomie eines anderen Systems, aber auch die Weitergabe genetischen Materials im Rahmen der Fortpflanzung Strukturveränderungen ("Reifungsprozesse") im Rahmen der Individualität und Autopoiese des Systems. Nichtsdestoweniger sind auch kommunikative Prozesse immer durch das lebende System im Sinne seiner Individualität unterschieden, im Sinne seiner Autopoiese "angeschlossen" und im Sinne seiner Autonomie "erzeugt", wie dies bereits für die Bestimmung der Kognition gezeigt wurde. Nicht zuletzt ist dadurch die Verwendung des Informationsbegriffes für kommunikative Prozesse problematisch, da dieser Begriff immer einen "passiven" Empfänger als "leere Form" voraussetzt.

Der Hinweis auf jene spezifische Organisation lebender Systeme wird in der biologischen Systemtheorie allerdings gemeinhin als hinreichend zum Nachweis einer prinzipiellen Irreduzibilität der Biologie auf die Physik betrachtet: Die Strukturen lebender Systeme sind zugegebenermaßen physikalisch-chemisch beschreibbar. Die Organisation lebender Systeme schafft jedoch eine spezifische "biologische Erscheinungswelt". So betont etwa Maturana, "daß eine theoretische Biologie die Theorie der biologischen Erscheinungswelt ist und nicht die Anwendung physikalischer oder chemischer Vorstellungen auf die Analyse biologischer Phänomene, da diese zu einer völlig anderen Erscheinungswelt gehören" (1982,216). Bedenklich ist hier zunächst, daß die Spezifik biologischer Theorien aus der Spezifik biologischer Phänomene abgeleitet und somit ein "Theorienrealismus" vorausgesetzt wird, der in der Auffassung der "Philosophy of Science" zum Problem der "Theorienreduktion" (vgl.1.) völlig zu Recht als unangemessen verworfen wurde. Im Rahmen *dieser* Diskussion ließe sich als starkes Argument gegen einen Reduktionismus anführen, daß die genannten Organisationsmerkmale des Lebendigen nur im Rahmen einer Logik gedacht werden können, die den Formenvorrat der klassischen Logik übersteigt: Die Logik der Physik ist klassisch, die Logik der Biologie ist transklassisch (Ziemke 1991, 1993 - Tafel 2).

Die Denkformen der Physik beruhen auf einem zweiwertigen Formkonzept, das sich mindestens bis auf die Aristotelische Logik zurückführen läßt. Der Erkenntnisprozeß läßt sich demzufolge als Zuordnung der Werte "wahr" und "falsch" zu Aussagen über die Welt, also als wahr-/falsch-Unterscheidung auffassen. Operational liegt dieser Wertzuordnung nur eine mögliche Negation zu Grunde. Dementsprechend muß immer eine Aussage oder ihre Negation der Fall sein (Satz vom ausgeschlossenen Dritten), es kann nicht eine Aussage und ihre Negation der Fall sein (Satz vom ausgeschlossenen Widerspruch) und es kann eine Aussage nicht wahr und falsch sein (Satz der Identität). Eben jene Grundstruktur ist aber nicht hinreichend, um die unter (1) bis (5) genannten Kriterien der Organisation lebender Systeme zu beschreiben.

Unter (1) entsteht das Problem, daß parallel zueinander der Beobachter und das System eine Negation ausführen, die das System (Nicht-Umwelt) von seiner Umwelt (Nicht-System) unterscheidet. Im Rahmen der Unterscheidung des Beobachters läßt sich nicht unterscheiden, ob (nur) er oder (auch) das System diese Unterscheidung trifft. Hierfür wäre mindestens eine zweite Negation erforderlich, die es in der klassischen Logik nicht gibt.

Unter (2) führt eine Beschreibung im Rahmen der Klassischen Logik zu Selbstbezüglichkeiten: Die Organisation des Systems als Netzwerk von Prozessen wird durch sich selbst (seine eigene Erhaltung) definiert. Die Beschreibung dieses Organisationskriteriums könnte somit nur entweder tautologisch oder kontradiktorisch sein (würde also keine "Beschreibung" darstellen). Die mögliche Kontradiktion ließe sich wiederum nur über mindestens zwei Negationen auflösen, die diese "selbstreferentielle Definition" zu einer "Definition von Selbstreferenz" machen würde.

Unter (3) führt die Autonomie des Systems zur "Zurückweisung" ("Rejektion" - Günther 1962) der Beschreibungen einer "gegebenen" Umwelt durch den Beobachter. Das System entzieht seine Umwelt dieser Beschreibung, indem es die als gegeben beschriebene Umwelt selbst verändert oder für sich erzeugt. Jene Aktivität des Systems bewirkt, daß die Beschreibung des Beobachters nicht als "wahr" bewertet werden kann, ohne "falsch" gewesen zu sein. Es wird ein dritter Wert erforderlich, der die Aktivität des Systems designiert und wiederum mindestens eine zweite Negation erforderlich macht.

Unter (4) entsteht zunächst wie unter (1) ein Reflexionsproblem: Nicht nur das Erkennen des Beobachters, sondern auch die Kognition des Systems beansprucht eine wahr-/falsch-Unterscheidung (auch wenn diese sich im letztgenannten Fall nicht auf Aussagen beziehen muß). Schon eine sinnvolle Definition des Kognitionsbegriffes vom Standpunkt des Beobachters eines kognitiven Systems führt auch hier zur Notwendigkeit von mindestens zwei Negationen. Doch selbst diese sind nicht ausreichend, wenn man die Kognition eines autonomen Systems beschreiben will. Hier "weist" das System selbst durch sein Verhalten die eigenen Kognitionen zurück (wie unter (3) jene des Beobachters). Die Kognition einer Bedrohung des Systems wird etwa durch das Verhalten "rejeziert", mit dem das System dieser Bedrohung ausweicht. Eine angemessene Beschreibung dieses Wechselspiels von Voraussetzung und Erzeugung einer Umwelt erfordert nun bereits mindestens drei Negationen über vier logische Werte.

Unter (5) führt die Notwendigkeit der Vermittlung von Individualität, Autopoiese, Autonomie und Kognition verschiedener Systeme bereits zu logisch hochkomplexen Zusammenhängen, die sich nur über multinegationale Formalsysteme angemessen modellieren lassen.

Ein Versuch der Entwicklung einer solchen transklassischen Logik auf der Basis einer protologischen Semiotik stellt die Polykontextualitätstheorie Gotthard Günthers (1976, 1979, 1980) dar. Eine Modellierung wichtiger Aspekte der biologischen Systemtheorie sollte auf dieser Basis möglich sein (vgl. Ziemke 1990, 1991, 1993, 1994, 1995).

Tafel 2: Die logischen Probleme einer theoretischen Biologie

Natürlich wäre eine ausführlichere Darstellung erforderlich, um zu zeigen, daß eine theoretische Biologie tatsächlich eine transklassische Logik beansprucht. Doch wäre damit noch immer nicht gezeigt, daß Physik für alle Zeiten auf einer klassischen Logik beruhen muß. Gerade die Quantentheorie erhebt

ja im Rahmen der Physik ebenso den Anspruch, eine ganz neue "Logik" des Denkens zu erfordern. Was macht eine Theorie denn zur physikalischen oder biologischen Theorie? Daß sie mehr oder minder mathematisch ist? Daß ein Physiker oder ein Biologe sie verfaßt? Offensichtlich führt auch hier kein Weg daran vorbei, die Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Theorienreduktion aus der Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer Methodenreduktion abzuleiten. Die Notwendigkeit einer "neuen Logik" biologischer Theorien gegenüber physikalischen Theorien ist nur dann ein Argument für eine Irreduzibilität der Biologie auf die Physik, wenn sie eine "neue Logik" empirischer Forschung impliziert, wenn also eine Biologie eben auf Grund jener Organisation lebender Systeme nicht durch die experimentelle Methode der Physik empirisch begründet werden kann.

5. Kann eine biologische Systemtheorie experimentell begründet (widerlegt) werden?

Eine Gegenüberstellung der unter 2. aufgeführten Anforderungen an eine experimentelle Methode und die unter 3. zusammengefaßten Merkmale der Organisation lebender Systeme zeigt, daß die experimentelle Methode der Physik der empirischen Begründung einer theoretischen Biologie nicht angemessen sein kann:

(1) Individualität vs. Unterscheidung: Experimente beruhen auf der Abgrenzung eines Forschungsgegenstandes (seiner meßbaren und relevanten Variablen) von einer Umgebung (Randbedingungen und Störgrößen) durch den Experimentator. Lebende Systeme grenzen sich *selbst* von einer Umwelt ab (und bestimmen somit ihre "relevanten Variablen" selbst). Die vom Experimentator getroffene Unterscheidung verfehlt somit notwendig die Individualität lebender Systeme und kann somit nicht zur empirischen Begründung einer theoretischen Biologie dienen.

(2) Autopoiese vs. Herstellung: Experimente bestehen in der Herstellung von Relationen abhängiger und unabhängiger Variablen durch den Experimentator. Lebende Systeme stellen selbst Relationen ihrer Komponenten in Form von Netzwerken von Prozessen der Produktion von Bestandteilen her, die diese Netzwerke reproduzieren. Die (allopoietische) Herstellung von Relationen durch den Experimentator verfehlt die (autopoietische) Selbsterstellung und -erhaltung der Organisation lebender Systeme und kann somit nicht zur empirischen Begründung einer theoretischen Biologie dienen.

(3) Autonomie vs. Kontrolle: Experimente beruhen auf der Kontrolle der Umgebung des Forschungsgegenstandes durch den Experimentator. Lebende Systeme hingegen erzeugen selbst eine ihrer Individualität und Autopoiese angemessene Umwelt. Lebende Systeme tendieren also dazu, die Kontrolle der Randbedingungen durch den Experimentator zu unterlaufen. Die Kontrolle der Randbedingungen durch den Experimentator verfehlt demgegenüber eben jene Autonomie lebender Systeme und kann somit nicht zur empirischen Begründung einer theoretischen Biologie dienen.

(4) Kognition vs. Reproduktion: Experimente beruhen auf der Reproduktion von Relationen durch die Wiederholung des Experiments. Lebende Systeme als kognitive Systeme ändern jedoch ihre Struktur im Rahmen ihrer "Kopplung" an bestimmte Umweltbedingungen (Lernen). Das Experiment führt also zur Veränderung der zu verifizierenden Relationen. Methoden, die diese Veränderungen ausschließen, verfehlen die Kognition lebender Systeme und können somit nicht zur empirischen Begründung einer theoretischen Biologie dienen.

(5) Kommunikation vs. Objektivität: Experimente beruhen auf dem Ausschluß der (nicht intersubjektiv explizierbaren) Subjektivität des Experimentators und seines Forschungsgegenstandes. Lebende Systeme erzeugen demgegenüber kommunikative Beziehungen untereinander, aber auch zum Experimentator die zur "Objektivierung von Subjektivität" führen und somit die genannte Anforderung unterlaufen. Der Ausschluß solcher kommunikativer Beziehungen verfehlt die Organisation lebender Systeme und kann somit nicht zur empirischen Begründung einer theoretischen Biologie dienen.

Eine Theorie lebender Systeme kann auf Grund der genannten Kriterien der Organisation lebender Systeme nicht durch die experimentelle Methode der Physik empirisch begründet oder widerlegt werden. Umgekehrt verfehlt diese Methodologie in der Erforschung lebender Systeme eben deren spezifische Merkmale. Intuitiv nachvollziehbar ist diese Feststellung sehr leicht, wenn man die "Relevanz" oder "ökologische Validität" experimenteller Methoden in der Biologie hinterfragt. An dem in Tafel 1 diskutierten Beispiel suchen wir dies in Tafel 3 zu demonstrieren.

Die Gegenüberstellung der Organisationskriterien lebender Systeme und der Handlungsanweisungen experimenteller Forschung macht im Falle des in Tafel 1 dargestellten Standardexperiments die folgenden Schwierigkeiten deutlich:

(1) Der Experimentator grenzt als relevante Variablen einen Reizparameter und die Entladungsrate einer einzelnen Nervenzelle aus. Die Katze als lebendes System trifft selbst andere Unterscheidungen. Gemäß dieser Unterscheidungen wird der Reizparameter als Umwelt ausgegrenzt und tritt lediglich als "Störgröße" auf. Spezifizierend wirken für das System selbst nur die eigenen Komponenten, also etwa die Aktivität dieser "merkmalselektiven Zellen". Demgegenüber grenzt die Katze als lebendes System jene Aktivität einer isolierten Nervenzelle nicht gegen die durch den Experimentator als Umgebung behandelten Aktivitätszustände anderer Neuronen, neuro-humoralen Wechselwirkungen und organismischen Stoffwechselprozesse ab. Diese Einflüsse sind "für" die Katze "relevante Variablen", "für" den Experimentator hingegen "Störgrößen". Nicht zuletzt scheint es zweifelhaft, ob die über die Zeit gemittelte Entladungsrate für die Funktion des Nervensystems überhaupt eine relevante Variable darstellt (vgl. Tafel 4). Intuitiv entspricht diesem Problem der oft von Theoretikern gegenüber Experimentatoren geäußerte Einwand, daß man doch solch ein komplexes System wie das Gehirn nicht verstehen könne, indem man einzelne Elemente dieses Systems, also einzelne Neurone studiert.

(2) Der Experimentator stellt in Form der Reizkorrelation eine Relation her, in der ein Reizparameter als unabhängige und die Entladungsrate einer Zelle als abhängige Variable auftritt. Die Katze als lebendes System erzeugt im Ergebnis seiner Autopoiese selbst andere Relationen im Dienste seiner Autopoiese. Die Reizkorrelation gehört schon deshalb nicht zu diesen vom System erzeugten Relationen, weil der Reizparameter keine Variable des Systems darstellt. Reizkorrelationen existieren nur "für" den Beobachter, der sowohl den Reizparameter als auch den

Aktivitätsparameter messen und beide einander zuordnen kann. Zu den vom System selbst erzeugten Relationen könnten etwa sensorisch-motorische Relationen des Systems oder (interne) Korrelationen der Zeitstrukturen verschiedener Nervenzellen bzw. Gruppen von Nervenzellen zählen (vgl. Tafel 4). Intuitiv thematisiert dieses Problem etwa eine Variante der "Homunculus Fallacy": Nehmen wir an, die kognitiven Leistungen des Systems würden auf solchen Reizkorrelationen beruhen. Wie würde das System diese neuronalen Korrelate den entsprechenden Reizparametern zuordnen? Sicher wäre dies nur möglich durch eine "Instanz", die diese Beziehung von Reizparameter und Aktivitätsparameter "erkennt". Wenn Kognition auf Repräsentation beruht, sollte diese Leistung wiederum auf der Repräsentation dieser Parameter durch Korrelate "höherer Ordnung" geschehen. Wie würde das System aber diesen Korrelaten den Reiz und das Korrelat "erster Ordnung" zuordnen? etc. ad infinitum.

(3) Der Experimentator stellt durch die Kontrolle der Umgebung der Katze als seinem Forschungsgegenstand sicher, daß der relevante Reiz während des Experimentes immer im "rezeptiven Feld" der untersuchten Zelle verbleibt. Diese Kontrolle bezieht sich nicht zuletzt auf die motorische Aktivität des Tieres selbst und ist die entscheidende Voraussetzung, um die Reizkorrelation überhaupt herstellen zu können. Was durch jene Kontrolle der Aktivität des Tieres ausgeschlossen wird, ist aber eben die (autonome) Erzeugung einer Umwelt durch das Tier - in diesem Falle also die Bestimmung eines "Wahrnehmungsobjektes" durch das Appetenz- oder Erkundungsverhalten des Tieres, die Orientierungsbewegungen des Körpers oder des Kopfes und die Fixations- und Folgebewegungen der Augen. Auch dieses Problem ist intuitiv leicht nachvollziehbar: Das anästhesierte, paralysierte, künstlich beatmete und warmgehaltene Versuchstier ist ungefähr das ganze Gegenteil unserer Vorstellungen von Wachheit, Aktivität und Aufmerksamkeit der Wahrnehmung, die wir aus unserer Selbstbeobachtung oder der Beobachtung des gleichen Tieres in seiner "natürlichen" Umwelt gewinnen. Jener "Handlungscharakter" der Wahrnehmung wird aber nicht nur durch die fließenden Übergänge zwischen Erkundungsverhalten und Wahrnehmung oder die Abhängigkeit dessen, was wir überhaupt wahrnehmen, von unserem Handlungskontext deutlich, sondern auch aus dem (lückenhaften) empirischen Wissen der Neurobiologie selbst über den Anteil effektorischer Leistungen an der Wahrnehmung. So sind die Leistungen der Okulomotorik eine Grundbedingung für unsere visuelle Wahrnehmung. Sofort einsichtig ist dies im Falle der "Sakkaden", jener schnellen "Sprünge", die wir mit unseren Augen vollziehen, um ein uns interessierendes Objekt zu betrachten, oder der "glatten Augenfolgebewegungen", mit denen wir bewegte Objekte verfolgen. Doch selbst das scheinbar ruhende Auge vollzieht noch Mikrosakkaden und Tremorbewegungen, deren Lähmung in wenigen Sekunden zum Zusammenbruch der Wahrnehmung führt. Auch die Tastwahrnehmung basiert ganz wesentlich auf dem Muskelzittern und selbst unser Ohr nimmt nicht nur Schallwellen auf, sondern erzeugt sie auch. Neben den fast ausschließlich sensorisch innervierten "inneren Haarsinneszellen" gibt es in der Cochlea auch noch die vorwiegend effektorisch innervierten "äußeren Haarsinneszellen", die spontan oder reizinduziert durch ihre Bewegungen Schallschwingungen erzeugen. Der Ausfall der Beweglichkeit dieser Zellen führt zu einer beträchtlichen Abnahme der Sensitivität und Selektivität der auditorischen Wahrnehmung.

(4) Das Verfehlen von Individualität, Autopoiesis und Autonomie des Systems bedingt bereits das Verfehlen der kognitiven Leistungen des Systems. Die Reizparameter werden nicht als Variablen der vom System ausgegrenzten Umwelt behandelt, die vom System selbst erzeugten Relationen werden nicht als konstitutiv für die kognitive Leistung verstanden und die (autonome) Erzeugung der Umwelt durch das System (die ja letztlich das Ziel der kognitiven Leistung ist) wird vernachlässigt. Kognition erscheint somit als affirmative Abbildbeziehung oder Repräsentation, nicht jedoch als strukturelle Kopplung eines Systems mit seiner Umwelt. Es werden somit nicht jene strukturellen Veränderungen untersucht, die die eigentlich kognitive Leistung des Systems darstellen, sondern lediglich statistisch verifizierte epiphänomenale Korrelationen zwischen System und Umwelt, wie sie ein Beobachter (und nur ein Beobachter) im Ergebnis solcher Strukturveränderungen feststellen kann.

(5) Das lebende System wird durch seine experimentelle Manipulation auf einen subjektivitätslosen Mechanismus reduziert, statt seine Subjektivität in einem kommunikativen Verhältnis von Beobachter und (ebenfalls "beobachtendem") System zu verstehen.

Tafel 3: Die Probleme einer experimentellen Biologie am Beispiel der Untersuchung von Reizkorrelaten in der neuronalen Aktivität durch Einzelzellableitung (vgl. Tafel 1)

5. Ist empirische Systemforschung möglich?

Wurde mit der unter 4. vorgestellten Argumentation die Unmöglichkeit eines methodischen Reduktionismus nachgewiesen? Sicher nicht. Es konnte lediglich gezeigt werden, daß der anti-reduktionistische Entwurf einer biologischen Systemtheorie nicht über die experimentelle Methode der Physik begründet oder widerlegt werden kann. Nun wäre zu zeigen, wie die empirische Begründung dieser Theorie überhaupt aussehen könnte. Eben hier liegt aber der Schwachpunkt all jener in dieser Arbeit genannten anti-reduktionistischen Entwürfe: Sie sind bislang gänzlich irrelevant für empirische Forschung in der Biologie geblieben. Entsprechend sparsam ist demzufolge auch ihre Resonanz unter "Fachwissenschaftlern". Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß experimentelle Methoden keineswegs die einzige Möglichkeit zur empirischen Begründung einer Theorie darstellen und alternative beschreibende oder beobachtende Methoden keineswegs weniger "exakt" sein müssen. Doch scheint tatsächlich ein "tiefergehendes [...] Verständnis der Lebenserscheinungen", wie es in dem von Küppers antizipierten "methodischen Reduktionismus" eingefordert wird, eine systematische Untersuchung dieser Erscheinungen zu erfordern, die mit diesen Methoden nur sehr eingeschränkt möglich ist. In der Tat scheint eine empirische Systemforschung nicht dadurch möglich zu sein, daß man hinter die Standards experimenteller Forschung auf das Niveau einer deskriptiven Biologie zurückgeht, sondern nur dadurch, daß man jene experimentelle Forschung in einer neuen Methodologie systemwissenschaftlicher Forschung "aufhebt".

Wir haben ebenso betont, daß die Methoden biologischer Forschung allenfalls die Bezeichnung "quasi-experimentell" verdienen und die Einschränkungen der Möglichkeiten experimenteller Forschung eben aus der "Irreduzibilität der Lebenserscheinungen" erklärt werden können, wie man sie aus der Irreduzibilität der diskutierten Systemkonzepte auf physikalische Theorien ableiten kann. Vielleicht ließe sich eben aus der Explikation dieses "quasi-experimentellen" Charakters eine neue Methodologie ableiten, die diese Einschränkungen in eine neue Zwecksetzung empirischen Handelns integriert und zu Handlungsanweisungen führt, die die Kriterien der Organisation lebender Systeme zu begründen gestatten? Formal gesehen wäre es hierzu lediglich erforderlich, die unter 4. diskutierten Gegenüberstellungen zu den entsprechenden "paradoxen Aufforderungen" zu integrieren:

(1) Unterscheide die Unterscheidungen des Systems von seiner Umwelt durch die Bestimmung der Bestimmung relevanter Variablen durch das System.

- (2) Stelle die Herstellung von Relationen durch das System im Rahmen seiner Autopoiese her.
- (3) Kontrolliere die (autonome) Erzeugung einer Umwelt durch das System.
- (4) Reproduziere die Plastizität der Strukturen des Systems als Grundlage seiner strukturellen Kopplung an eine Umwelt.
- (5) Objektiviere die Subjektivität des Systems durch die Erzeugung kommunikativer Beziehungen mit dem System und die Subjektivität des Beobachterverhältnisses durch die Beschränkung der Kommunikationen mit dem System auf explizite, reproduzierbare und protokollierte Operationen mit standardisierten (oder standardisierbaren) und protokollierten Forschungsmitteln.

Diese Aufforderungen können mit den Methoden der Polykontexturalen Logik zumindest quasi-formal expliziert und durch die (gegenüber 3. fehlenden) Beschreibungsanweisungen ergänzt werden. So setzt (1) die Möglichkeit von Unterscheidungen von Unterscheidungen in der einer Polykontexturalen Logik zugrundeliegenden Kenogrammatik voraus. Anweisung (2) erfordert eine Relationstheorie, wie sie sich aus dem Konzept der Proemialrelation ableiten läßt. Der "Kontrolle von Autonomie" unter (3) läßt sich in der volitiven Interpretation einer dreiwertigen Logik ein Sinn geben (Diese Forderung entspricht übrigens formal der aus der Familientherapie bestens bekannten "semantischen Falle" vom Typ: Sei spontan!). Die unter (4) erfaßte "Kognition der Kognition" läßt sich in einer kognitiv interpretierten dreiwertigen Reflexionslogik erfassen und über eine vierwertige "Handlungslogik" mit (3) vermitteln. Der unter (5) gestellten Forderung entspricht eine höherwertige polykontexturale Logik (vgl. Ziemke 1994). Die in diesen Erläuterungen angeführten "Worthülsen" sollten nicht darüber hinwegtäuschen, daß für all diese Konzepte bestenfalls einige Grundlagen entwickelt worden sind, die noch weit davon entfernt sind, eine angemessene "Logik der Forschung" für eine systemwissenschaftliche Methodologie bereitzustellen. Der angemessenste Terminus für eine solche Methodologie ist vielleicht jener der "systematischen Beobachtung". Die Handlungsanweisungen experimenteller Forschung werden nicht auf das System selbst, sondern auf den System-Umgebungs-Komplex bezogen. Das System wird mit einer systematisch variierten und immer mehr den ökologischen Bedingungen des Systems angeglichenen künstlichen Umgebung konfrontiert, in der es sich von einer Umwelt unterscheiden, seine Autopoiese erhalten, seine Umwelt erzeugen, sich an diese Umwelt koppeln und in kommunikative Interaktionen treten kann. Die am Maßstab der Kriterien der Organisation des Systems relevanten Variablen werden messend verfolgt ("beobachtet"), die vom System selbst erzeugten Relationen und die vom System selbst erzeugte nicht-kommunikative bzw. kommunikative Umwelt ermittelt und zu der gegebenen Umgebung und den "Kommunikationsangeboten" in Beziehung gesetzt. Zweck des Experiments ist nicht mehr die Manipulation des Systems, sondern die Kommunikation mit dem System gemäß der Kriterien seiner (Selbst-)Organisation. Inwieweit sich Ansätze für eine solche Methodologie bereits in vorhandenen "quasi-experimentellen" Methoden finden lassen, zeigt Tafel 4 in Anknüpfung an

das bereits in Tafel 1 und 3 diskutierte Beispiel. Wie eine "integrative" Methodologie der "systematischen Beobachtung" aussehen könnte, muß jedoch weiteren Arbeiten überlassen bleiben.

(1/2) Der erste Schritt zu einer empirischen Erforschung der Erzeugung von Relationen durch das System über relevante Variablen, die das System selbst unterscheidet, ist die Entwicklung von Methoden, die über die parallele Messung der Aktivität mehrerer Nervenzellen die Untersuchung der Dynamik von Neuronenpopulationen in der Aktualgenese der Wahrnehmung ermöglichen. Anders als über Methoden der Untersuchung von Reizkorrelaten in der neuronalen Aktivität werden über solche Methoden die vom System selbst erzeugten (internen) Relationen seiner Komponenten im Rahmen seiner Autopoiese durch die Auswertung von Korrelationen zwischen Aktivitätsparametern verschiedener Neuronen untersucht.

Bereits mit Einzelelektrodenmessungen ist unter Verwendung geeigneter Filterverfahren die Messung der Aktivität mehrerer in der Nähe der Elektrodenpitze liegender Neurone möglich. Diese Ergebnisse haben bereits Anfang der 80er Jahre zu wichtigen Erkenntnissen der Dynamik lokaler Neuronengruppen geführt, wie der Theorie der "Synfire Chains" von Abeles (1982). Entscheidend für ein Verständnis der neurobiologischen Grundlagen von Wahrnehmung scheint aber gerade die korrelierte Aktivität von unter Umständen sehr weit voneinander entfernt liegenden Einheiten zu sein. Die parallele Messung mit mehreren bis vielen Mikroelektroden wird auf diese Weise unumgänglich sein. Neben der Schaffung der aufwendigen apparativen Voraussetzungen gelten die Bemühungen der Forscher dabei besonders der Entwicklung solcher Analyseverfahren, die einerseits die exponentiell wachsenden Datenmengen zu handhaben gestatten und andererseits eine hinreichende Sensitivität gegen schnelle dynamische Veränderungen in den Interaktionen vieler Einheiten aufweisen (Gerstein et al. 1989, Aertsen et al. 1989). Das wichtigste Ergebnis der bislang auf Grundlage dieser Methodik durchgeführten Experimente ist, daß sich die effektive Konnektivität zwischen jeweils zwei Neuronen nicht nur in Abhängigkeit von Stimulus und Stimuluskontext, sondern auch vom Verhaltensstatus des Tieres sehr schnell (im Bereich von wenigen Zehnern bis Hunderten von Millisekunden) drastisch ändern kann (Aertsen et al. 1991) und somit die Erzeugung von Relationen durch das System selbst im Rahmen seiner Autopoiese zugänglich gemacht werden könnte.

Die bislang aufsehenerregendsten Ergebnisse gelangen den Arbeitsgruppen um Singer und Eckhorn (Eckhorn et al. 1988, Gray et al. 1989, Engel et al. 1992). Durch die parallele Messung mit zwei Mikroelektroden an anästhesierten, aber auch wachen Versuchstieren (Katze, Affe) konnten in der Aktivität von jeweils zwei Neuronenpopulationen mit der gleichen Orientierungsselektivität Oszillationen nachgewiesen werden, die unabhängig voneinander sind, wenn die Lichtbalken in ihren rezeptiven Feldern sich unabhängig voneinander bewegen, die sich untereinander synchronisieren, wenn die Lichtbalken sich kohärent bewegten, die aber am stärksten synchronisiert sind, wenn nur ein Lichtbalken beide rezeptive Felder überstreicht. Solche Synchronisationen können innerhalb bestimmter Kolumnen, zwischen verschiedenen Kolumnen, zwischen verschiedenen Hirnarealen und beiden Hirnhemisphären nachgewiesen werden. Sowohl die experimentellen Ergebnisse als auch die Modellstudien legen nahe, daß jene Synchronisation nicht auf einem gemeinsamen Input, sondern der reziproken Aktivierung der Einheiten beruht. Die gemessenen Korrelationen stellen also keine Effekte dar, die durch die "Manipulation" des Systems erzeugt werden, sondern beruhen auf der Erzeugung von Relationen durch das System selbst. Belegen ließe sich eine solche Interpretation durch die Verwendung eines "reichhaltigeren" Reizangebots, das die Unterscheidung verschiedener möglicher Kohärenzen (verschiedener "Szenensegmentationen") durch das System in Abhängigkeit des "Verhaltensstatus" erfordern würde. Auf diese Weise würde an die Stelle der experimentellen Erzeugung solcher interner Relationen die "systematische Beobachtung" der vom System selbst vollzogenen Unterscheidungen und hergestellten Relationen treten, die sich im Rahmen seiner Autopoiese interpretieren lassen würden.

(3) Die intuitive Unzufriedenheit mit dem offensichtlichen Mangel an "ökologischer Validität" des in Tafel 1 diskutierten experimentellen Ansatzes mag auch der Grund dafür sein, daß in letzter Zeit

immer mehr an wachen Versuchstieren gearbeitet wird, die in gewissem Umfang zu Bewegungen in der Lage sind. Die Tiere, zumeist Affen, werden in einen "Primatenstuhl" gesetzt, in dem der Kopf des Tieres fixiert ist und die Augenbewegungen durch am Auge implantierte Spulen, die sich in einem Magnetfeld bewegen, gemessen werden können. Der Affe wird trainiert, auf bestimmte Signale bestimmte (ruhende oder bewegte) Punkte auf dem Schirm zu fixieren oder zu verfolgen und/oder einfache Diskriminationsaufgaben auszuführen. Bewegungen der Arme und Hände werden in diese Aufgaben insofern einbezogen, als das Tier das Erkennen des Reizes und/oder die Diskrimination von Reizen entsprechend des Trainings durch Zeigebewegungen oder das Berühren eines "touch bars" signalisieren muß. Je nach dem verwendeten Versuchsaufbau kann dieses Training nun lediglich zu einer neuen Form des Ausschlusses einer Rückkopplung der Bewegung auf das sensorische System entsprechend eines experimentellen Paradigmas werden oder aber diese Rückkopplung selbst zum Gegenstand einer "systematischen Beobachtung" werden. Besteht die Trainingsaufgabe nämlich lediglich darin, auf einen gegebenen Reiz mit einer gegebenen Bewegung zu reagieren, so wird das Verhalten des Tieres wiederum vollständig über eine Stimulus-Response-Beziehung kontrolliert. Minimalforderung eines "relevanten" Experiments wäre die selbständige Unterscheidung von Verhaltensstrategien durch das Tier, die die Unterscheidung verschiedener "Wahrnehmungsstrategien" einschließen und ihrerseits zur Erzeugung und Modifikation des Reizes und seiner Einwirkung auf das Tier führen sollten. An die Stelle der Kontrolle einer vorgegebenen Bewegung würde so die "systematische Beobachtung" der Bewegungen des Tieres während der Messung seiner neuronalen Aktivitätsparameter und in Bezug auf die Auswertung der vom System selbst erzeugten Relationen neuronaler Aktivität stehen. Voraussetzung sind auch hier effektive Verfahren zur Messung dieser Bewegungen. Wie bereits erwähnt sind gerade Augenbewegungen heute sehr elegant "messend zu beobachten". Für die bisherige Erforschung der Okulomotorik ist die zentrale Frage: "Why does the world appear stable despite the execution of several saccades per second?" (Ilg/Hoffmann 1993) Die durch die hier dargestellten Überlegungen provozierte künftige Frage könnte sein: How does the world appear stable *because* of the execution of several saccades per second?

(4) Auch die Plastizität neuronaler Strukturen im Rahmen einfacher Lernprozesse ist in den letzten Jahren zunehmend zum Gegenstand empirischer Forschung geworden. So zeigen Läsionsstudien, die kortikale Reorganisationsprozesse etwa im Gefolge von Läsionen der Retina (Gilbert/Wiesel 1992) oder Deafferentationen (Pons et al. 1991) untersuchen, daß auch das Nervensystem erwachsener Tiere noch eine enorme Plastizität aufweist. Detailliertere Untersuchungen zeigen etwa trainingsspezifische Veränderungen der "Merkmalskarten". So vergrößert sich bei Experimenten, in denen das wache Versuchstier auf die Unterscheidung akustischer Reize einer bestimmten Frequenz trainiert wurde massiv das Gebiet im primären auditorischen Cortex, das den umgebenden Frequenzbereich "codiert", und geht auf die ursprüngliche Größe zurück, wenn das Tier auf weit entfernte Frequenzen "umtrainiert" wird (Recanzone et al. 1993). Ähnliche Effekte lassen sich für den primären somatosensorischen Cortex (Recanzone et al. 1992) und für die inferiotemporalen visuellen Areale (bislang also nicht für die primären) zeigen (Sakai/Miyashita 1991; Eskandar et al. 1992). Ein wichtiger Beleg dafür, daß diese Reorganisationsprozesse sich als Erzeugung struktureller Kopplungen eines autonomen und autopoietischen Systems interpretiert werden müssen, ist die Feststellung, daß sich trainingsabhängige Plastizität nur dann zeigen läßt, wenn der Stimulus erwartet und verhaltensrelevant ist, nicht also bei verhaltensirrelevanter "Beschallung". Jene kognitiven Leistungen im Kontext der Autopoiese und Autonomie des Systems zu untersuchen, würde wiederum die "systematische Beobachtung" seines Verhaltens jenseits der manipulierten Stimulus-Response-Beziehungen erfordern.

Tafel 4: Ansätze für eine Methodologie der "systematischen Beobachtung" in der neurobiologischen Erforschung des sensorischen Systems

Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft/Graduiertenkolleg Kognition, Gehirn, Neuronale Netze (KOGNET).

Literatur

Abeles, M., *Local Cortical Circuits*, Berlin, Heidelberg 1982

Aertsen, A./G.L.Gerstein/M.K.Harbib/G.Palm, Dynamics of neural firing correlation: modulation of 'effective connectivity', *J.Neurophysiol.* 61,900-917 (1989)

Aertsen, A. et al., Neural interactions in the frontal cortex of a behaving monkey: signs of dependence on stimulus context and behavioral state, *J.Hirnforsch.* 32, 735-743 (1991)

An der Heiden, U./G.Roth/H.Schwegler, Principles of self-organization and self-maintenance, *Acta Biotheoretica* 34, 125-138 (1985)

Ashby, W.R., *Design for a brain*, London 1952

Carnap, R./H.Hahn/O.Neurath, *Wissenschaftliche Weltauffassung - der Wiener Kreis*, in: Schleichert, H. (Hg.), *Logischer Empirismus - der Wiener Kreis*, München: 1975, 201-222

Churchland, P.S., *Neurophilosophy. Towards a unified science of the mind-brain*, Cambridge, London 1986

Eckhorn, R. et al., Coherent oscillations: A mechanism of feature linking in the visual cortex? Multiple electrode and correlation analyses in the cat, *Biol.Cybernetics* 60,121-130 (1988)

Engel, A.K./P.König/A.K.Kreiter/T.B.Schillen/W.Singer, Temporal Coding in the visual cortex: new vistas on integration in the nervous system, *Trends Neurosci.* 15,6,218-226 (1992)

Eskandar, E.N./B.J.Richmond/L.M.Optican, Role of Inferior Temporal Neurons in Visual Memory. I. Temporal Encoding of Information about Visual Images, Recalled Images, and Behavioral Context, *J.Neurophysiol.* 68,1277-1295 (1992)

Gerstein, G.L./P.Bedenbaugh/A.M.H.J.Aertsen, Neuronal Assemblies, *IEEE Transact.Biomed.Engin.*36, 1, 4-14 (1989)

Gilbert, C.D./T.N.Wiesel, Receptive Field Dynamics in Adult Primary Visual Cortex, *Nature* 356, 150-152 (1992)

Gray, C.M./P.König/A.K.Engel/W.Singer, Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties, *Nature* 338,334-337 (1989);

Günther, G., *Cybernetic Ontology and Transjunctional Operations*, in: Yovits, M.C., G.T.Jacobi & G.Goldstein (eds.), *Self-Organizing Systems*, Washington: Spartan Books 1962, 313-392

Günther, G., *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik, I-III*, Hamburg: Meiner 1976, 1979, 1980

Hooker, C.A., Towards a general theory of reduction, Part I-III, *Dialogue* 20, 38-59, 201-236, 496-529 (1981)

Ilg, U.J./K.-P.Hoffmann, Motion perception during saccades, *Vision Res.* 33, 211-220 (1993)

Janich, P., *Grenzen der Naturwissenschaft*, München: Beck 1992

- Küppers,B.O., Der Ursprung biologischer Information. Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung, München, Zürich 1986
- Löfgren,L., Complexity of Descriptions of Systems: A Foundational Study, *Int.J.Gen.Syst.* 3, 197-214 (1977)
- Maturana,H.R., Erkennen. Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1982
- Pask,G., Organizational Closure of Potentially Conscious Systems, in: Zeleny,M. (ed.), *Autopoiesis: A Theory of the Living Organization*, Amsterdam 1981, 263-308
- Pons,T.P. et al., Massive Cortical Reorganization After Sensory Deafferentation in Adult Macaques, *Science* 252, 1857-1860 (1991)
- Recanzone,G.H./W.M.Jenkins/G.H.Hradek/M.M.Merzenich, Progressive Improvement in Discriminative Abilities in Adult Owl Monkeys Performing a Tactile Frequency Discrimination Task, *J.Neurophysiol.* 67,1015-1030 (1992)
- Recanzone,G.H./M.M.Merzenich/C.E.Schreiner, Changes in the Distributed Temporal Response Properties of SI Cortical Neurons Reflect Improvements in Performance on a Temporally Based Tactile Discrimination Task, *J.Neurophysiol.* 67,1071-1091 (1992)
- Recanzone,G.H./C.E.Schreiner/M.M.Merzenich, Plasticity in the Frequency Representation of Primary Auditory Cortex Following Discrimination Training in Adult Owl Monkeys, *J.Neurosci.* 13,87-103 (1993)
- Rosenblueth,A./J.Bigelow/N.Wiener, Behavior, Purpose and Teleology, *Philosophy of Science* 10,18-24 (1943)
- Ruben,P., Wissenschaft als Allgemeine Arbeit, *SOPO* 2,7-40 (1976)
- Sakai,K./Y.Miyashita, Neural Organization for the Long-Term Memory of Paired Associates, *Nature* 354, 152-155 (1991)
- Schmidt,S.J., Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus, Frankfurt/Main 1987
- Schmidt,S.J., Kognition und Gesellschaft: Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus 2, Frankfurt/Main 1992
- Varela,F.J., Principles of Biological Autonomy, New York, Oxford: North Holland 1979
- v.Foerster,H., Observing Systems, Seaside/Cal. 1982
- v.Foerster,H., Sicht und Einsicht. Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie, Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg 1985
- Ziemke,A., Biologie der Kognition und Transklassische Logik, *Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion* 45 (1990)
- Ziemke,A., Selbstorganisation und Transklassische Logik, *Selbstorganisation* 2, 27-52 (1991)
- Ziemke,A., System und Subjekt. Biosystemforschung und Radikaler Konstruktivismus im Lichte der Hegelschen Logik, Braunschweig, Wiesbaden 1992
- Ziemke,A., Kybernetik, Systemtheorie und Transklassische Logik, in: ICS (Hg.), *Kybernetik und Systemtheorie - Wissenschaftsgebiete der Zukunft?* Greven 1993

Ziemke,A., Was ist Wahrnehmung? Versuch einer Operationalisierung von Denkformen der Hegelschen "Phänomenologie" für kognitionswissenschaftliche Forschung, Berlin: Duncker & Humblot 1994

Anschrift des Verfassers:

Bernsauelerberg 67, D-53804 Much