Arbeitskreis "Theorie und Quantitative Methoden in der Geographie"
Dutch-German Symposium Blaubeuren 1988

ZUR AUTOPOIETISCHEN SYSTEMTHEORIE

Dieter Steiner

Gruppe Humanökologie
Geographisches Institut
ETH Zürich

1. EINLEITUNG

Angesichts der weltweiten ökologischen Krise scheint die Geographie nach einer Phase der "Verleugnung" zu einem ihrer traditionellen zentralen Themen, nämlich der Betrachtung der Mensch-Natur-Beziehungen, zurückfinden zu wollen. Eine Äusserung dieses Vorgangs ist das vielenorts erwachende Interesse an Theorie und Methodik einer Humanökologie, wobei sich dann auch rasch das Bedürfnis zeigt, die Grenzen der Geographie zu überschreiten und nach Verbindungen zu Biologie, Psychologie, Soziologie, Ökonomie usw. zu suchen (s. z.B. JAEGER und STEINER, 1988). In diesem Rahmen kommt es auch zu einer kritischen Überprüfung verschiedener Ansätze der Systemtheorie, die üblicherweise als Mittel dazu gesehen werden, das für die Behandlung komplexer Probleme unzureichende linear-kausale durch ein zirkulär-kausales und vernetztes Denken zu ersetzen. Damit ist die Hoffnung verbunden, dass zu einer mathematischen Modellierung führende formale Ansätze eine wichtige Hilfe für die Entscheidungsfindung bei konkreten praktischen Problemen sein könnten. Eine intensivere Beschäftigung mit dieser Thematik lässt aber doch oft die anfängliche Begeisterung für dieses Instrumentarium relativ rasch erlahmen. Sofern nämlich die verwendete Systemtheorie nicht direkt mit substanziellen disziplinären Theorien (z.B. Systemtheorie in der Physik mit denen der klassischen Mechanik oder der ungleichgewichtigen Thermodynamik) verknüpft ist, endet sie doch einfach in einer Art von formalem Reduktionismus. Dabei wird das, was inhaltlich dargestellt werden soll, nicht auf bestehende Theorien der angesprochenenen Disziplinen bezogen, sondern auf die inhärente Logik der formalen Modelle, also etwa auf die Mathematik der Rückkopplung (dazu s. auch DRUWE, 1988). Prominente ältere Beispiele für solche Reduktionismen sind die auf Vorstellungen der Ingenieur-Kybernetik beruhenden umstrittenen Weltmodelle von FORRESTER (1971) und MEADOWS (1972). Rezenteren Datums ist eine neue Welle von "sozialer Physik", die versucht, sozialwissenschaftliche Phänomene und Prozesse mit den formalen Ansätzen der Theorie der dissipativen Strukturen der physikalischen Chemie von PRIGOGINE (Beispiel: Modellierung von Vorgängen der Siedlungsentwicklung durch ALLEN und SANGLIER, 1981) oder der synergetischen Theorie des Lasers von HAKEN

(Beispiel: Modellierung von Migrationsprozessen durch WEIDLICH und HAAG, 1988) zu behandeln (1).

Dass derartigen Versuchen tatsächlich ein Wert zukommt, sei nicht bestritten. Dieser kann in Aha-Erlebnissen (wenn ..., dann ...) liegen oder aber in der Fähigkeit, in einem umfangreichen Datenmaterial empirische Regularitäten zu entdecken. Daraus abgeleitete eventuelle Ansprüche, mit solchen Ansätzen eine wesentliche Problemlösungskompetenz entwickeln zu können, müssen allerdings grundsätzlich in Frage gestellt werden. Es lässt sich zeigen, dass der Gebrauch formal-mathematischer Systemmodelle im wesentlichen der Fortsetzung eines Denkens innerhalb eines mechanistischen Weltbildes entspricht, das eng mit Vorstellungen von Voraussag-, Plan- und Kontrollierbarkeit verknüpft ist (JAEGER, STEINER UND FURGER, 1987; STEINER, FURGER und JAEGER, 1989) (2). Diese Vorstellungen haben uns aber die Probleme beschert, denen wir heute zusehends mehr ausgeliefert sind, und es ist keineswegs einzusehen, wie wir uns im Sinne des Münchhausen-Effektes am eigenen Schopf (also mit den bisherigen gleichen Methoden) aus dem Sumpf ziehen sollten. Die Unzulänglichkeit der formalen Systemtheorie in dieser Situation hat u.a. damit zu tun, dass sich eine zukunftsoffene Welt nicht auf ein System von algorithmischen Regeln abbilden lässt. Dies wird etwa in der Aussage von NAVEH und LIEBERMANN (1984) zum Ausdruck gebracht, dass zur Beschreibung von Ökosystemen (ich würde sagen: mindestens) auch noch natürliche Sprache vonnöten ist. Dies kann auch so interpretiert werden, dass es für die Lösung der ökologischen Probleme keine Formalismen gibt, aus denen fertige Rezepte ableitbar wären, sondern dass solche in einem diskursiven Stil zu entwickeln sind. Der Wert von Systemtheorie liegt dann v.a. auf einer qualititativen Ebene, auf der sie in einem nicht-formalen Sinne zu einem nicht-isolationistischen Denken beitragen kann. Dieses wiederum darf als wesentlicher Bestandteil eines neuen Weltbildes betrachtet werden, das als evolutionär bezeichnet werden kann (s. dazu POSER, 1987) und das die bisherige Dominanz des mechanistischen Denkens allmählich aufzulösen scheint (vgl. mit STEINER, FURGER und JAEGER, 1989, sowie STEINER, JAEGER und WALTHER, 1988).

In diesem Zusammenhang ist die Theorie der Autopoiese von Belang, gerade weil es für sie (im Gegensatz etwa zur Synergetik) bislang keine formalisierten Modelle gibt und vielleicht auch gar keine geben kann. Es handelt sich dabei um eine Theorie von lebenden Systemen, ursprünglich von den chilenischen Biologen Humberto MATURANA und Francisco VARELA für die Ebene der Biologe entwickelt, danach aber auch, was allerdings umstritten ist, auch auf sozialwissenschaftliche Situationen übertragen. Die autopoietische Theorie handelt zunächst von der Selbstorganisation lebender Systeme und befasst sich damit mit einer ontologischen Frage. Sofern Aspekte dieser Theorie (insbesondere die Auffassung von Autonomie) aber auch auf die Frage bezogen werden, wie Lebewesen (Menschen) ihre Umwelt erkennen, ist sie zweitens von epistemologischer Bedeutung. Man kann in diesem Sinne eine autopoietische System- von einer autopoietischen Erkenntnistheorie unterscheiden (3). Für die Geographie, und insbesondere für humanökologische Interessen innerhalb der Geographie, ist diese Theorie also von Interesse, nicht weil sie ein neuartiges quantitatives Instrumentarium zur Verfügung stellen könnte (was sie eben nicht kann), sondern weil sie als wesentlicher Beitrag zur Diskussion um die ökologische Problematik betrachtet werden darf, die nicht auf der wissenschaftlichen Ebene stehen bleiben, sondern auf die philosophisch-

weltanschauliche Ebene ausgedehnt werden sollte. Die folgenden Ausführungen stützen sich auf die relevante Literatur zur Autopoiese (4), sind aber auch das Resultat eigener Interpretation, die im Diskussionszirkel der Gruppe Humanökologie am Geographischen Institut der ETH Zürich entstanden sind (5).

2. FUNDAMENTALE ASPEKTE DER AUTOPOIETISCHEN SYSTEMTHEORIE

2.1 Organisation versus Struktur

Als Ausgangspunkt für die folgende Diskussion halten wir uns an die übliche Vorstellung eines Systems: Ein Gebilde, das aus Komponenten und aus Relationen zwischen diesen Komponenten besteht. Nun wird in der Theorie autopoietischer Systeme ein Unterschied zwischen dem Begriff der "Organisation" und dem der "Struktur" gemacht (MATURANA und VARELA, 1987, p.54; VARELA, 1979, p.8 ff.). Mit Organisation ist das Netzwerk der Relationen zwischen den Komponenten in einem abstrakten Sinne gemeint (6). Damit wird ein System als Einheit definiert und es werden Art und Dynamik der Interaktionen zwischen den Teilen bestimmt. Die Organisation sagt also nichts aus über die Eigenschaften der Komponenten, nur über die Beziehungen, die diese untereinander generieren müssen. Materialität wird impliziert, kommt aber in der Beschreibung der Organisation explizit nicht vor. Im Gegensatz dazu ist dann mit Struktur die Menge der tatsächlichen, d.h. physikalisch existierenden, zwischen Komponenten bestehenden Beziehungen in einem konkreten System gemeint. Indem sie dem angesprochenen abstrakten Organisationsprinzip folgen, integrieren diese Beziehungen das konkrete System in einem gegebenen physikalischen Raum. Um den Unterschied zwischen Organisation und Struktur am Beispiel eines nicht-lebenden Systems zu illustrieren: Das Prinzip "Tisch" wird organisatorisch durch ein bestimmtes Verhältnis von einer Platte zu Beinen repräsentiert. Die physikalische Realisierung kann aber verschieden aussehen: Ein Tisch kann verschieden viele Beine haben, seine Platte kann unterschiedliche Formen annehmen, das verwendete Material kann Holz, Plastic oder Stein sein usw.

Es sei an dieser Stelle auf ein begriffliches Problem hingewiesen, das dadurch entsteht, dass der Begriff der Struktur in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Bedeutung hat. Die Unterscheidung zwischen Organisation und Struktur im genannten Sinne mag dem in der Systemtheorie üblichen Sprachgebrauch entsprechen, wobei aber auch dort oft keine klare Unterscheidung zwischen abstrakten Modellen und realen Modellen (in denen die Referenz zur Materialität hergestellt wird) getroffen wird. Bei der Theorie der Strukturation der Gesellschaft von GIDDENS (1984), deren Verhältnis zur Autopoiese wir in 3.3. betrachten werden, ist mit Struktur gerade die Organisation gemeint, während anstelle der Struktur im Sinne von MATURANA und VARELA einfach vom (konkrekten) System, bzw. von den Relationen in diesem System gesprochen wird (7). Um beim Leser oder der Leserin beim Vergleich mit der Originalliteratur keine Verwirrung aufkommen zu lassen, werden wir bei der Besprechung der Eigenschaften der Autopoiese das Vokabular von MATURANA und

VARELA verwenden, wenn wir auf die Strukturationstheorie eintreten dagegen dem GIDDENSschen Sprachgebrauch folgen.

Man kann sich unter Organisation ein Netz von Regeln vorstellen, die im Fall der Biologie materiell je nach Lebewesen verschiedenartig "implementiert" werden. Nach der Auffassung der autopoietischen Systemtheorie sind die grundlegenden Regeln dabei immer dieselben: Wenn sie erfüllt sind, entspricht dies einem organisatorischen Prinzip, das "Leben" bedeutet, sonst nicht (8). Wir haben es mit etwas zu tun, das eine holistische Eigenschaft aufweist, d.h. es gibt ein Ganzes, das einen Einfluss auf die Teile ausübt. Im Sinne eines evolutionären Weltbildes (vgl. dazu Anmerkung 6) wäre dabei darunter nicht eine Erscheinung von platonischer Qualität zu verstehen, sondern ein im Laufe der biologischen Evolution entstehendes, emergentes Phänomen. Dieses ist aber nicht einfach ein Epiphänomen, sondern eine neuartige Realität, die ihr eigenes (emergentes) Kausalvermögen entwickelt (9).

Nun ist in der Literatur zur Autopoiese vom Kausalvermögen einer übergeordneten Struktur explizit nicht die Rede. Es wird aber darauf hingewiesen, dass Lebewesen organisatorisch geschlossene Systeme sind, und dass organisatorische Geschlossenheit als "Mechanismus" mit der Fähigkeit, neue Einheiten zu bewirken, verstanden werden kann, Einheiten, die über einen gewissen Grad von Autonomie (s. dazu 2.2) und weitere emergente Eigenschaften verfügen. Im Sinne des Systemdenkens von WIENER (1965) kann man sagen, dass bei einer autopoietischen Organisation Information das Primat über Energie und Materie hat, d.h. diese Art von Organisation ist nicht aus den Prinzipien der Physik ableitbar. Damit kommt das angesprochene Thema implizit auch dort zur Sprache, wo von der Möglichkeit oder Unmöglichkeit einer mathematischen Formulierung der Theorie der Autopoiese die Sprache ist. Die dynamische Beschreibung eines Systems, in dem interdependente Variablen und reziproke Interaktionen auftreten, mit Hilfe des Instrumentariums der Differentialgleichungen ermöglicht zwar die Modellierung einer Form von organisatorischer Geschlossenheit. Dies kann nützlich sein, ist aber in seiner Anwendbarkeit prinzipiell auf das materielle, molekulare Niveau beschränkt (VARELA, 1979, p.88 ff., 201 ff.). Da zusätzlich informatorische Prozesse eine Rolle spielen, können autonome Systeme der Art, wie sie Lebewesen darstellen, nicht (nur) auf diese Weise adäquat dargestellt werden. Hier spricht VARELA von der Notwendigkeit von algebraisch-algorithmischer Beschreibung, womit er offenbar (im Gegensatz zur kontinuierlichen Darstellung mittels Differentialrechnung) den Gebrauch eines formalen Systems mit diskreten Einheiten meint. Tatsächlich versucht er auch, dem Prinzip der Zirkularität entsprechend eine Art von rekursivem Kalkül zu entwickeln (VARELA, 1975; VARELA, 1979, p.106 ff.). Allerdings wird dabei nicht klar, zu was dieses nütze sein soll, ausser dass damit gezeigt werden kann, dass bei zirkulären Situationen eine zweiwertige Logik nicht genügt und einer dreiwertigen Platz machen muss. Im übrigen wäre die schon in 1 angesprochene grundsätzliche Frage zu stellen, ob überhaupt ein formales System irgendwelcher Art genügen kann, um ein autopoietisches System adäquat zu beschreiben? Ist Leben eine Art von Struktur, die durch etwas wie ein Computerprogramm dargestellt werden kann? Wir notieren, dass ZELENY (1977) an diese Möglichkeit glaubt: Er präsentiert das Modell einer Zelle in der Form eines Nachbarschaftsprozesses, der sich auf einem quadratischen Gitter abspielt. Auch VARELA (1979, p.19 ff.) greift diese Idee auf. Spätestens bei der Frage der Interaktion zwischen Lebewesen und Umwelt aber scheint er die Brauchbarkeit formaler Systemezu verwerfen (s. 2.2), und man könnte sich also überlegen, ob

diese nicht schon "früher", d.h. bei der Betrachtung von Vorgängen innerhalb eines Organismus in Frage zu stellen wäre.

2.2. Kontrolle versus Autonomie

Einen breiten Raum nimmt in der autopoietischen Systemtheorie das Thema der Autonomie ein. Genauer gesagt, weist VARELA darauf hin, dass es bezüglich der Betrachtung von Systemen zwei grundsätzlich verschiedene Sichtweisen gebe, nämlich einerseits diejenige, die das Prinzip von Kontrolle von aussen bzw. der Fremdsteuerung betone, und andererseits diejenige, die das Prinzip von Autonomie oder Selbststeuerung als massgeblich betrachte. Dabei wird gesagt, dass sich diese beiden Perspektiven gegenseitig nicht ausschlössen, sondern dass sie komplementär zueinander seien (GOGUEN und VARELA, 1979; VARELA, 1979, p.xiii ff.,; VARELA, 1987a, p.90-91; hinsichtlich einer Diskussion um Humanökologie s. dazu auch STEINER, 1988).

Dass die autopoietische Systemtheorie im Gegensatz zu andern Arten von Systemtheorie die Autonomie-Perspektive betont, ist von grundlegender Bedeutung, da damit eine alte Kontroverse wieder auflebt, ein Streit, der für eine Zeitlang zugunsten der Kontroll-Perspektive entschieden schien. Blenden wir kurz zurück zur Entwicklung der Systemtheorie in der 40er und 50er Jahren nach dem zweiten Weltkrieg: Sie geht auf drei unterschiedliche Wurzeln zurück. Die erste hat ihren Ursprung in der Vorkriegszeit im abstrakten Konzept einer Rechenmaschine von TURING (1936), das später von von NEUMANN (1951) in seiner Theorie der Automaten aufgegriffen wurde und sich zu einer wichtigen Basis der modernen Informatik entwickelte. Die zweite liegt in militärischen Applikationen, insbesondere Problemen der Steuerung von Raketen: Sie führte mit den Arbeiten von WIENER (1965) zur sog. Kybernetik, der Theorie über Rückkopplung und Regulierung in Systemen und löste Entwicklungen im Elektroingenieurwesen (insbesondere auch im Analogrechnen) aus. Die dritte schliesslich liegt in der Beobachtung des Phänomens "Leben" und führte von BERTALANFFY (1971) zur Formulierung seiner Allgemeinen Systemtheorie ("General System Theory" = GST), die er als eine Theorie von in einem Fliessgleichgewicht sich befindenden offenen Systemen verstehen wollte. Es ergab sich damit ein Gegensatz zwischen einer ingenieur-orientierten und einer am Leben orientierten Auffassung, beide mit der Vorstellung verknüpft, eine allgemeine Grundlage für Systemtheorie überhaupt abgeben zu können. Die erstere Auffassung sah die Systemtheorie als Schlüssel zum Verständnis des Funktionierens von Systemen, und zwar derart, dass neue Systeme gebaut und bestehende Systeme kontrolliert und allenfalls auch nachgebildet werden könnten. Die letztere legte weniger Gewicht auf Operationalisierbarkeit, sondern mehr auf das Verständnis der Selbstkontrolle von Systemen. Bei diesem Disput neigte interessanterweise WIENER in späteren Jahren immer mehr der zweiten Auffassung zu. Bezüglich der Erkennbarkeit des Wesens von Systemen setzte er sich dabei in Gegensatz zu von NEUMANN. Dieser schrieb der Erkenntnis grundsätzlich einen problemlösenden Charakter zu. Für WIENER dagegen stand der Aspekt von Erkenntnis um ihrer selbst willen im Vordergrund, Erkenntnis als autonome, eigen-kreative Leistung (VARELA, 1987a, p.77 ff.; eine ausführliche Darstellung dieser Kontroverse findet sich bei HEIMS, 1984).

Nun ist natürlich die Vorstellung von Kontrollierbarkeit im Ingenieurwesen nicht nur angebracht, sondern notwendig. Es handelt sich ja um von Menschen entworfenen und gebauten Systemen, die eine bestimmte Leistung vollbringen sollen. Das Problem entsteht dann, wenn die Ingenieur-Auffassung auf Systeme allgemein, also auch auf natürliche Systeme angewandt wird. Spätestens beim Umgang mit Organismen oder ganzen Ökosystemen kann dies verheerende Folgen haben. Genau dies ist aber passiert: Die kybernetische Lehre über die Regulierung von Systemen hat sich als dominant durchgesetzt, und zwar in dem Sinne, dass Systeme, deren Regulationsmechanismen man verstanden zu haben glaubt (auch wenn es sich um eine Selbstregulierung handelt), der Kontrollierbarkeit durch den Menschen anheim gegeben sind. Als typischer Vertreter dieses Art von Denken kann das Buch von BENNETT und CHORLEY (1978) mit dem Titel "Environmental Systems. Philosophy, Analysis and Control" angesehen werden, in dem verstärkte Planung und Kontrolle als Mittel zur Überwindung der ökologischen Misere empfohlen werden (s. dazu auch die Kritik von GREGORY, 1980). In dieser Situation muss das Auftauchen der Theorie der Autopoiese, die die Autonomie von Systemen betont, erfrischend wirken. Eine strikte Anwendung des Gedankens von Autonomie hat zur Konsequenz, dass beim Umgang mit derartigen Systemen weder Voraussagen, noch gezielte Eingriffe möglich sind.

Diese Vorstellungen haben aber bisher keineswegs breite Zustimmung gefunden, auffallenderweise vor allem auch in der Biologie selbst nicht, für die die autopoietischen Vorstellungen ja speziell gemeint sind. In einem gewissen Sinne wiederholt sich hier die Geschichte: Die Theorie der Autopoiese befindet sich heute in einer ähnlichen Situation gegenüber dem vorherrschenden Paradigma von Synergetik wie früher die GST gegenüber der Kybernetik. Die Synergetik hat zwar mit ihren Phänomenen von Selbstorganisation, Bifurkation und Chaos wesentlich zur Entwicklung einer evolutionären Weltsicht beigetragen. Zu Recht wird aber (z.B. von HOHLFELD et al., 1986) darauf hingewiesen, dass die Behauptung von PRIGOGINE und STENGERS (1981), die neue Systemtheorie trage zu einem sanfteren Umgang der Menschheit mit der Natur bei, doch eher als fraglich zu betrachten ist. Tatsächlich wird auch mit der Synergetik weniger ein "Dialog mit der Natur" als vielmehr weiterhin ein Verhör der Natur betrieben. Die Synergetik ist in Gefahr, sich einfach zu einer nicht-linearen Version der Kybernetik zu entwickeln. Umso mehr sollte die Bedeutung der autopoietischen Theorie hervorgehoben werden.

Kommen wir nun aber zu einer Gegenüberstellung der beiden Systemmodelle (VARELA, 1979, p.xiii ff.; VARELA, 1987a, p.90-91). Das Kontroll-Modell (auch Heteronomie-Modell genannt) entspricht den Auffassungen der Kybernetik und der Informationswissenschaften. Es ist gut formalisiert und darstellbar durch die Sequenz Input-Transformation-Output und zugehörige Rückkopplungsschleifen. Das Paradigma der Interaktion des Systems mit der Umwelt ist das der Instruktion, was bedeutet, dass das Ziel von aussen vorgegeben ist. Damit muss es zwischen der Umwelt und dem System einen Transfer von Information derart geben, dass ein Sachverhalt der Umwelt im Innern des Systems adäquat repräsentiert wird. Es muss also zu einer Korrespondenz zwischen bestimmten Zuständen in der Umwelt und gewissen Zuständen im Innern des fraglichen Systems kommen. Mit andern Worten: Ein bestimmter Input soll zu einem gewünschten Output führen, und wenn dies nicht der Fall ist, wird von "Fehler" gesprochen. Inputs aus der Umwelt sind also entweder gewollt oder wirkliche Störungen; auf alle Fälle haben sie kausalen Charakter. Die Grenze des Systems wird durch

einen Beobachter oder einen Entwerfer festgelegt. Man beachte, dass die Annahme des Ingenieurs, er nehme etwa seinen Maschinen gegenüber eine Kontrollfunktion wahr, trotzdem die Existenz autonomer Systeme, nämlich von Menschen, voraussetzt (10).

Das Autonomie-Modell hat eindeutig einen vageren Charakter, d.h. es ist nicht ohne weiteres voll formalisiert darstellbar, insbesondere auch, weil die Vorstellung von Autonomie sehr rasch auch Fragen ethischer Natur aufwirft. Das Paradigma der Interaktion mit der Umwelt ist hier die Konversation. Das System interpretiert die Umwelt, und sein Eigenverhalten wird schlussendlich bestimmen, was von den aus der Umwelt aufgenommenen "Reizen" überhaupt Bedeutung erlangt. Man kann also in diesem Fall nicht eigentlich von einer Informationsübertragung im üblichen Sinne reden, und damit auch nicht von Fehlern. Es gibt keine Korrespondenz zwischen inneren System- und äusseren Umweltzuständen. Es kann allerdings unbefriedigende Resultate geben, aber dies wären dann eher Unterbrechungen in der Kommunikation. Die Kommunikation selbst führt zu "Inputs" aus der Umwelt, die also nicht kausal interpretierbar sind, die als Perturbationen bezeichnet werden (mit der Vermeidung des Terms "Störung" wird darauf hingewiesen, dass eine Perturbation positive wie auch negative Bedeutung haben kann). Solche Perturbationen können Strukturanpassungen zur Folge haben, wobei das Ziel aber die Aufrechterhaltung der internen Kohärenz und die Weiterexistenz der bisherigen Organisation und Identität ist. Es kann allerdings vorkommen, dass Perturbationen aus der Umwelt einen repetitiven Charakter annehmen, was dann vom Organismus berücksichtigt wird. Es wird in diesem Fall von struktureller Kopplung gesprochen. Wenn aber davon die Rede ist, autopoietische Systeme seien geschlossene Systeme ohne Inputs, ist dies im Sinne einer organisatorischen Geschlossenheit zu verstehen (VARELA, 1979, p.55 ff.; VARELA, 1987a . Dies bedeutet, dass es nichts aus der Umwelt gibt, das zur Organisation des Systems beitragen würde. Das System organisiert sich selbst und versucht, seine Organisation gegenüber Perturbationen aufrecht zu erhalten. Damit definiert das System auch selbst seine eigene Grenze. Wenn die Geschlossenheit unterbrochen wird, verschwindet die Einheit.

Wie gesagt, vertritt VARELA die Auffassung, dass das Kontroll-Modell und das Autonomie-Modell zu einander komplementäre System-Betrachtungsweisen darstellen. Er macht aber kein Hehl aus seiner Auffassung, dass er (natürlich immer im Zusammenhang mit Lebewesen) die letztere als fundamentaler betrachtet. Hier müsste vielleicht die Frage gestellt werden, ob man dieser Meinung zustimmen kann. Ist es nicht wahrscheinlicher, dass die Umwelt eben doch auch einen beträchtlichen Einfluss auf Organismen ausübt, bzw. dass dies wechselseitig der Fall ist, und dass deshalb der Auffassung von BATESON (1972), wonach immer Organismus und Umwelt zusammen eine Überlebenseinheit darstellen, ein grosses Mass an Plausibilität zukommt. Tatsächlich setzt auch an diesem Punkt eine Kritik von ROTH (1987) an, der die Relativität der Autonomie von Lebewesen betont: Diese können nur als materiell-energetisch offene Systeme ihre autopoietische Organisation verwirklichen. Im Zusammenhang mit der Umweltproblem-Diskussion kann eine Auffassung, die Lebewesen einen zu hohen Grad an Autonomie zubilligt, auch den im philosophischen Sinne negativen Effekt haben, dass die Regenerationskapazität der Natur überschätzt wird.

2.3. Autopoiese versus Allopoiese

Wir kommen nun zum zentralen Begriff der Autopoiese (= Selbstproduktion). Das Konzept wurde anfangs der 70er Jahre erstmals vorgestellt (z.B. MATURANA, VARELA und URIBE, 1974). Es betrifft die Art und Weise, wie Selbstorganisation bei Lebewesen funktioniert und beinhaltet folgendes: Es gibt Prozesse (Netzwerke von Relationen), die die System-Komponenten produzieren. Das Verhalten dieser Teile wiederum ist so, dass sie ständig diese Prozesse regenerieren und realisieren (VARELA, 1979, p.12 ff.). Es besteht also eine Zirkularität zwischen Produzent und Produkt, eine Situation, die VARELA gerne mit der Zeichnung von M.C.ESCHER symbolisiert, auf der sich zwei Hände gegenseitig selbst zeichnen (MATURANA und VARELA, 1987, p.30; VARELA, 1985, p.295). Man kann auch sagen, dass die System-Operationen ihre eigenen Grenzen spezifizieren. Autopoietische Systeme sind autonom, sie ordnen alle Veränderungen der Erhaltung ihrer eigenen Organisation unter. Diese ist, solange ein Lebewesen lebt, invariant. Man könnte damit sagen, ein solches System sei in einem ganz fundamentalen Sinne relationen-statisch, und damit wäre offensichtlich mehr gemeint als mit dem Begriff der Homöostase, die bei der einfachen Rückkopplung eine Rolle spielt und sich lediglich auf eine Zustandsinvarianz bezieht. Ein autopoietisches System erhält auf diese Weise aktiv eine eigene Identität.

Es gibt autopoietische Systeme verschiedener Ordnung (MATURANA und VARELA, 1987a, p.83 ff.). Das grundlegende Beispiel eines autopoietischen Systems 1.Ordnung ist die biologische Zelle. Aus einer molekularen Suppe hebt sich eine Zelle dadurch heraus, dass sie Grenzen definiert. Dies geschieht durch molekulare Produktionsvorgänge, und diese werden ihrerseits erst durch die Existenz von Grenzen möglich gemacht. Chemische Umwandlungen und physikalische Grenzen bedingen einander also wechselseitig. In einem vielzelligen Organismus schliessen sich Zellen zu einer übergeordneten metazellulären Organisation zusammen und bilden damit eine autopoietische Einheit 2.Ordnung. Es wäre wohl denkbar, was aber von MATURANA und VARELA nicht gemacht wird, ein ganzes Ökosystem als autopoietisches System 3.Ordnung zu begreifen: Der Nahrungsketten-Zyklus stellt die Prozesse dar. Diese "produzieren" und "reproduzieren" verschiedenartige Lebewesen als Komponenten, die ihrerseits wiederum für den Fortgang der Prozesse sorgen. Allerdings besteht doch ein grundlegender organisatorischer Unterschied gegenüber dem Niveau der Organismen: Ein Ökosystem definiert nicht seine eigene Grenze, sondern seine Abgrenzung richtet sich nach externen Lebensbedingungen. Man müsste sich überlegen, was dieser Unterschied bedeutet.

Noch etwas unklarer wird die Angelegenheit, wenn wir nicht ein Ökosystem als übergeordnete Einheit betrachten, sondern eine soziale Gemeinschaft, zu der sich einzelne Lebewesen der gleichen Art, also autopoietische Einheiten 2.Ordnung, zusammenschliessen. Kann hier das Ergebnis als autopoietische Einheit 3.Ordnung bezeichnet werden? Mit andern Worten: Kann man bei einem sozialen System davon reden, dass es autopoietisch (selbstproduzierend) organisiert sei? MATURANA und VARELA sind sich selbst hier offenbar nicht einig. Während der erstere dies als möglich erachtet, ist der letztere äusserst skeptisch. In ihrem gemeinsamen Buch "Der Baum der Erkenntnis" drücken sie sich denn auch relativ vorsichtig und nicht unbedingt eindeutig aus. Sie reden von strukturellen Kopplungen dritter Ordnung (MATURANA und VARELA, 1987, p.196 ff.). Wir haben das Konzept der strukturellen Kopplung in 2.2 kennen gelernt: Es handelt sich um repetitive und

rekursive Interaktionen (Perturbationen) zwischen Organismen und ihrer Umwelt. In ähnlicher Weise kann es zu strukturellen Kopplungen zwischen Organismen kommen. Dies bedeutet dann eine Ko-Ontogenese bezüglich dieser Organismen, wobei aber jedes Individuum seine eigene Anpassung und Organisation beibehält. Sofern solche strukturellen Kopplungen als Stammesgeschichte beidseitiger Strukturveränderungen zu begreifen sind, kann auch von Koevolution gesprochen werden. Der Frage nach Übertragbarkeit des Konzeptes von Autopoiese auf soziale Systeme soll in 3.3 speziell bezüglich menschlicher Gemeinschaften noch näher nachgegangen werden.

Im Gegensatz zu einem autopoietischen System ist ein allopoietisches System dadurch ausgezeichnet, dass es als Produkt etwas hat, das von ihm selbst verschieden ist (VARELA, 1979, p.15). Man betrachte als Beispiel eine Maschine. Ihre Organisation kann zwar ebenfalls als eine Verkettung von Prozessen verstanden werden, aber diese Prozesse haben keinesfalls die Eigenschaft, dass sie die Komponenten der Maschine produzieren. Veränderungen, die solche Systeme erleiden können, ohne dass ihre Organisation verloren geht, ist der Produktion von diesem anderen untergeordnet. Solche Systeme sind also heteronom, ihre Identität ist extern definiert, ihre Grenze von einem Beobachter bestimmt.

VARELA (1979, p.204) möchte sich mit der Theorie der Autopoiese auch explizit von anderen Selbstorganisationmodellen abgrenzen. So weist er darauf hin, dass die dissipativen Strukturen von NICOLIS und PRIGOGINE (1977) im Vergleich dazu allopoietische Systeme darstellen: Sie sind organisatorisch offen und kommen nur durch konstante Flüsse über die Grenzen weg zustande, d.h. die Inputs müssen als Teil der Organisation betrachtet werden. Auch der berühmte Hyperzyklus von EIGEN und SCHUSTER (1979), der als Vorstufe zur Organisation von Leben betrachtet wird, gehört, so VARELA, nicht zu den autopoietischen Systemen, da dort die Art und Weise, wie die Reaktionen eine Einheit im Raum konstitutieren, oder dies auch nicht tun, keine Berücksichtigung findet.

3. BEDEUTUNG DER AUTOPOIETISCHEN SYSTEMTHEORIE

3.1. Implikationen für die Biologie

Wir werden uns hier kurz mit der Bedeutung von autopoietischen Vorstellungen für die Biologie beschäftigen. Dies scheint uns nicht unwesentlich zu sein, da die Art und Weise, wie wir unsere Mitwelt, d.h. andere Lebewesen und ganze Ökosysteme betrachten, von grundsätzlicher Bedeutung für die theoretische Entwicklung einer wissenschaftlichen Humanökologie, aber auch für die sehr praktische Frage des konkreten Überlebens des Menschen auf diesem Planeten sein dürfte.

Die bisherige Entwicklung der Biologie ist durch das Vorherrschen eines darwinistisch geprägten Kontrollmodell-Denkens innerhalb des mechanistischen Weltbildes geprägt gewesen. Die Kontrollinstanzen sind einerseits Gene, andererseits die Umwelt. Bezüglich der Bedeutung der Gene wird in der sog. synthetischen Theorie (s. z.B. WUKETITS, 1981) eine

einseitige Richtung der Kausalität von den Genen zur Phänologie eines Organismus angenommen (11). Eine Evolution kommt dann durch das Zusammenwirken von Variation und Selektion zustande: Zufallsmutationen bewirken neue phänologische Eigenschaften, und die damit behafteten Organismen werden durch die Konfrontation mit den Umweltbedingungen einem Überlebenstest unterworfen. Die Kreativität der biologischen Evolution wird reduziert auf Zufall und Notwendigkeit. Eine extreme Auffassung ist dabei die, dass die Verbindung zwischen Zufall und Notwendigkeit direkt auf der Ebene der Gene stattfindet, d.h. nicht die ganzen Organismen, sondern die Gene werden als Überlebenseinheiten betrachtet (DAWKINS, 1976). Gängig ist auch die Vorstellung, dass es im Laufe der Evolution zu einer Optimierung gekommen ist. Klarerweise muss dabei der Mensch als Krone der "Schöpfung" erscheinen: "Wir haben klein angefangen, als Bakterien und Zellen, und sind zu einer glorreichen, mit Verstand ausgestatteten Spezies herangewachsen" (VARELA, 1984, p.159).

Die Betonung der autonomen, autopoietischen Organisation bei lebenden Systemen ist eine Kampfansage an die Vorstellungen einer darwinistischen Selektion des Tüchtigsten. Es gibt nicht Lebewesen, die besser oder schlechter angepasst sind, sondern Lebewesen sind im Prinzip, da sie ja leben, angepasst. Es gibt nur eine Existenz des Erlaubten. Es sind viele Strukturvarianten möglich, die zu lebensfähigen Organismen führen (VARELA, 1979, p.35 ff.). Das Prinzip der natürlichen Auslese macht dem Prinzip des "natürlichen Driftens" Platz (MATURANA und VARELA, 1987, p.103 ff.). Die Stammesgeschichte einer Art besteht darin, dass diese selbst ihren evolutiven Weg sucht, wobei dieser nicht vorgezeichnet ist, aber auch nicht beliebig sein kann. In jedem Moment der Evolution gibt es nur eine limitierte Anzahl von möglichen Bahnen, denen die Entwicklung folgen kann. Neben den evolutiven Strukturveränderungen kann auch die Ontogenese von Organismen als ein mehrmaliger Strukturwandel verstanden werden, natürlich immer so, dass die autopoietische Organisation bestehen bleibt (MATURANA und VARELA, 1987, p.84; VARELA, 1979, p.32). Ein struktureller Wandel ist in erster Linie das Ergebnis der inneren Dynamik von autopoietischen Systemen 2.Ordnung. In zweiter Linie können auch Perturbationen aus der Umwelt, besonders wenn sie sich repetitiv stabilisieren und damit als strukturelle Kopplung bemerkbar machen, zu einer Strukturveränderung beitragen.

Das Konzept der Autopoiese von Lebewesen, im hier besprochenen Zusammenhang besonders die Vorstellung, dass biologische Phänomene nicht aus ihrer Struktur (Materialität) allein erklärbar sind (VARELA, 1979, p.43), passt gut zu andern Entwicklungen in der Biologie. VARELA und MATURANA nehmen darauf nicht Bezug; hier möchten wir aber ergänzend auf sie hinweisen, da auch sie wesentliche Mosaiksteine im Wandel von einem mechanistischen zu einem evolutionären Weltbild sind. Im Gegensatz zur schon erwähnten synthetischen Theorie der Evolution, der ein Einbahnkonzept Gene-Phänologie zugrunde liegt, gewinnen heute Auffassungen an Boden (s. z.B. WUKETITS, 1981), die die Zirkularität des Vorgangs betonen. Natürlich wird nicht bestritten, dass die Gene grundlegende Information organisatorischer Art enthalten. Die hierarchische Organisation eines Lebewesens wird aber so verstanden, dass jedes Niveau als Umwelt für die Komponenten unter ihm fungiert, und dass es von diesen Ebenen her Rückkopplungseffekte zum Niveau der Gene gibt. In gewissem Sinne könnte man dies so verstehen, dass sich ein Organismus innerhalb einer emergenten Organisation selbst interpretieren kann. Wichtig ist

dabei jedenfalls, dass sich der Organismus nicht nach den kumulativen Auswirkungen einzelner Gene ausrichtet, sondern nach einem übergeordneten organisatorischen Prinzip. Hier wird von modernem Strukturalismus gesprochen (RIEPPEL, 1988a). Dabei wäre "Struktur" in diesem Begriff offensichtlich im Sinne von GIDDENS und nicht in dem von VARELA zu verstehen (vgl. mit 2.1). In der darwinistischen Sicht ist auch die Embryonalentwicklung ein extern gesteuerter Anpassungsprozess, während sie nach der strukturalistischen Auffassung ein Prozess ist, bei dem kreative Potenzen der Neubildung einschränkenden Entwicklungszwängen gegenüberstehen. Auf den Fortgang der Evolution bezogen heisst dies, dass neue Formen aus solchen kreativen Veränderungen entstehen. Dabei sind Baupläne (also Prinzipien untergeordneter Organisation) langlebige Gebilde. Wenn sie ändern, ändern sie schlagartig im gesamten oder mindestens in ganzen wesentlichen Teilen. Die gradualistische Auffassung der schrittweisen Entwicklung über eine lange Folge kleiner und kleinster Änderungen wird durch das Konzept des sog. Punktualismus ersetzt (ELDREDGE und GOULD, 1972). Dieses ist auch in Übereinstimmung mit dem fehlenden fossilen Beleg von Zwischenformen. Dass es eine allmähliche Anpassung eines Tiers mit Vorderbeinen zu einem Tier mit Flügeln hätte geben können, ist absurd. Flügel müssen plötzlich als Ganzes entstanden sein. Neue Formen wurden damit erst nach Entstehung in ihrer Ganzheit durch die Selektion getestet.

Es gibt weiterhin Hinweise darauf, dass die Fähigkeit eines Organismus, organisatorische Information zu interpretieren, nicht auf seine eigenen Grenzen beschränkt bleibt, sondern auch auf die Umwelt ausgeweitet werden kann (12). Mindestens scheinen die Biologen CAIRNS, OVERBAUGH und MILLER (in Nature 335, p.142, 1988, nach Zeitungsnotiz) in Versuchen mit Bakterien nachgewiesen zu haben, dass sie bei Umweltveränderungen zielgerichtet mutieren können. Diese Schlussfolgerung ergibt sich aus der Beobachtung, dass eine Anpassung bedeutend schneller erfolgte, als dies nach dem Prinzip reiner Zufallsmutationen möglich gewesen wäre. Nun hat natürlich VARELA schon davon gesprochen, dass ein Organismus seine Umwelt selektiv interpretiert. Ob er unter seinem Begriff der Strukturanpassung infolge Perturbation auch eine zielgerichtete Mutation verstehen würde, ist nicht bekannt. Es besteht aber doch wohl der Verdacht, dass VARELA den Beitrag der Umwelt zur evolutiven Entwicklung zu gering einschätzt. Sofern ein Mechanismus einer zielgerichteten umweltbezogenen Veränderung von allgemeiner Gültigkeit ist, würde die in 2.2 zitierte Auffassung von BATESON über eine Einheit von Lebewesen und Umwelt vermehrten Auftrieb erhalten.

3.2. Konsequenzen epistemologischer und ethischer Art

Die Auffassung der organisatorischen Geschlossenheit, die bei der autopoietischen Systemtheorie eine fundamentale Rolle spielt, wird auch auf das Funktionieren von neuralen Systemen (Gehirnen mit zugehörigen Nervensystemen) angewendet. Allerdings gilt sie hier nicht für das Produzieren und Produziert-werden der physischen Realisierung eines neuralen Systems, sondern im informatorischen Sinne, d.h. der Art und Weise, wie es Nervensignale verarbeitet. Neurale Systeme haben aber eine konstitutive Bedeutung für die Realisierung der Autopoiese der ganzen Organismen. Erste Schlussfolgerungen, dass auch hier, wenn nicht vollständige, so doch sehr grosse Autonomie besteht, wurden von LETTVIN, MATURANA

et al. (1959) bei Untersuchungen über das Sehen des Frosches gezogen. Es zeigte sich, dass das, was das Auge dem Gehirn vermittelt, keineswegs eine Abbildung der Realität ist. So kann ein Frosch nur bewegte Objekte erkennen kann; wenn er nichts anderes um sich herum hätte als tote Fliegen, würde er jämmerlich zugrunde gehen. VARELA (1987a, p.80 ff.) beschäftigt sich auch mit den Auswirkungen dieser Autonomie beim menschlichen Sehvorgang. Er tut dies z.B. mit dem folgenden Hinweis: Wenn das Bild eines Objektes auf die *Retina* fällt, wird dieses auf ein Zentrum im Mittelhirn projiziert, auf das *Corpus geniculatum*. Dieses spielt die Rolle einer Relais-Station, und von hier werden dann Reize auf die Sehrinde übertragen. Hier endet die in den üblichen Neurologie-Lehrbüchern vorkommende Beschreibung des Sehvorganges. Diese enthält nach VARELA nur den kleinsten Teil der wirklichen Geschichte. Wenn man nämlich die Zahl neuraler Verbindungen betrachtet, sieht man, dass nur rund 20% der Eingänge zum *Corpus geniculatum* von der *Retina* stammen. Die restlichen 80% haben ihren Ursprung im Hirn selbst. Diese Sachlage wird im autopoietischen Sinne so interpretiert, dass das Hirn ein operational geschlossenes System ist. Ein Input über das Auge wird als Perturbation aufgefasst; was die Reaktion darauf sein soll, wird ausschliesslich von der Struktur des jeweiligen Nervensystems bestimmt (Beispiele zu optischen Perzeptionsphänomenen finden sich in MATURANA und VARELA, 1987, p.21 ff. und VARELA, 1979, p.250 ff.). Was passiert, ist also nicht wie der Vorgang einer Befehlsübertragung über eine Kommandokette zu verstehen (was wiederum mit dem Kontrolldenken übereinstimmen würde), sondern eher wie Gespräche an einer Cocktailparty. Das Gehirn ist nach dieser Auffassung nicht eine Vorrichtung zur Aufnahme und Verarbeitung von Information, sondern darauf angelegt, Regelmässigkeiten herzustellen (s. dazu auch MATURANA und VARELA, 1987, p.177 ff.).

VARELA (1986) stellt sich damit auch in Gegensatz zu den von der evolutionären Erkenntnistheorie vertretenen Ideen. Diese wurde ursprünglich von LORENZ (1973) aufgegriffen und später von RIEDL (1981) und VOLLMER (1983) verfeinert. Diese Theorie versucht, das Problem des (menschlichen) Erkennens der Aussenwelt aus der Biologie heraus zu erklären. Die Vorstellung ist die, dass die Lebewesen im Laufe der Evolution aus ihrer Umwelt Naturgesetzlichkeit (z.B. das Auge die optischen Gesetze) extrahiert haben, dass also ein Erkennen der Natur stattfindet, dessen Ergebnisse zuerst genetisch, später auch neural verankert werden. Erkenntnis kann man sich dabei als einen kreis- oder besser spiralförmigen Prozess vorstellen, der zwischen Erfahrung und Erwartung abwechselt. Damit soll auch der alte Streit zwischen Empiristen (alle Erkenntnis ist das Resultat von Erfahrung) und Rationalisten (alle Erkenntnis geht auf dem Menschen *a priori* zur Verfügung stehende Strukturen zurück) geschlichtet. werden. Diese Auffassungen setzen voraus, dass auf der fortgeschritttenen Stufe von Gehirnen und Nervensystemen eine Innen-Repräsentation von informatorisch übertragenen Zuständen der Aussenwelt stattfindet. Nach VARELA ist diese Vorstellung falsch. Die genannte organisatorische Geschlossenheit bedeutet dagegen, dass Lebewesen selbst eine Welt hervorbringen, bzw. einer Welt einen Sinn geben können (VARELA, 1987a, p.85 ff.) (13).

Extrem ausgelegt führt dieser Befund zu einer Position von radikalem Konstruktivismus (SCHMIDT, 1987; WATZLAWICK, 1985). Bezüglich VARELA ist es aber fair darauf hinzuweisen, dass er seine Auffassungen in dieser Hinsicht gar nicht auf die Spitze treibt. Er weist darauf hin, dass die Vorstellung eines Mittelweges zwischen Subjektivismus und

Objektivismus der Wirklichkeit am nächsten kommen dürfte (VARELA, 1987a, p.91-92). "Dieser Logik zufolge ist unser Verhältnis zur Welt wie das zu einem Spiegel, der uns weder verrät, wie die Welt ist, noch wie sie nicht ist. Er zeigt uns, dass es *möglich* ist, dass wir so sind, und so zu handeln, wie wir gehandelt haben. Er zeigt uns, dass unsere Erfahrung *lebensfähig* ist (VARELA, 1985, p.308). Andererseits ist es in der heutigen Situation auch offensichtlich, dass wir gerade in dieser Hinsicht neuerdings ein grosses Fragezeichen setzen müssen. Unsere Zivilisation hat sich eine technische Welt der Machbarkeit konstruiert, die derart umweltfremd sein könnte, dass das Überleben der Menschheit in Frage gestellt ist.

Aus der These, dass autonome, autopoietische Systeme keine Informationsübertragung betreiben (vgl. mit 2.2), folgt auch eine Ablehnung der zentralen Idee der kognitiven Wissenschaften, nämlich: Alles, was im Gehirn passiert, wickelt sich nach Regeln eines formalen Systems ab. Diese Regeln werden eines Tages bekannt sein, und damit werden mit Hilfe der künstlichen Intelligenz menschliche Leistungen nachvollziehbar sein. VARELA (z.B. 1987a) betont, dass mit dieser Auffassung der sinnstiftende, autonome Aspekt lebender Systeme vernachlässigt wird. Die biologischen Grundlagen des Erkennens sind sicher nicht allein mittels einer Untersuchung der neuralen Prozesse verstehbar. Unerlässlich ist ein Verständnis für die Verwurzelung dieser Prozesse im Ganzen des Lebewesens.

Nun stellt sich noch die Frage, wie ein Beobachter als autonomes, autopoietisches System ein anderes System überhaupt erkennen kann. Nach dem Kontroll-Denken ist dies kein Problem. Eine Voraussetzung ist allerdings, dass der Mensch nicht eine behavioristische Marionette ist, sondern selbst tatsächlich ein autonomes System, das gezielt manipulativ auf die Umwelt einwirken kann. Ein fremdes System (damit ist ein nicht selbst gemachtes gemeint), kann danach so untersucht werden, dass man erkennt, wie es "funktioniert", und es schliesslich auch kontrollieren kann. Wenn man aber annimmt, dass das fremde System selbst auch ein autopoietisches System ist, kann dies nicht zum Erfolg führen. Eine Empfehlung, die in dieser Situation angeboten wird, ist die, dass man versuchen solle, sich in die Situation des beobachteten Systems zu versetzen. Dies ist aber eigentlich nicht möglich, da der Beobachter nie, auch in seiner Phantasie nicht, in angemessener Weise den Standpunkt des fraglichen Systems einzunehmen, d.h. dieses gewissermassen von innen heraus zu betrachten imstande ist. Dagegen kann er versuchen, mit diesem System dadurch in Beziehung zu treten, dass er es als Teil eines erweiterten Systems betrachtet, zu dem er selbst als Beobachter auch gehört. Zweifellos heisst das aber, dass ein System mit interagierendem Beobachter nie dasselbe ist wie ein System ohne Beobachter (VARELA, 1979, p.57).

Dass diese Situation bei der Betrachtung von "sozialen Objekten", d.h. von Mitmenschen oder ganzen menschlichen sozialen Systemen zutrifft, dürfte plausibel sein, ebenso dass damit unvermeidlicherweise ethische Fragen der klassischen (d.h. auf den Umgang mit den Mitmenschen bezogenen) Art auftauchen, da das Agieren in einem sozialen System das Leben anderer beeinflussen kann. Dies gilt sowohl für das Agieren im Sinne einer wissenschaftlichen Untersuchung wie natürlich auch ganz allgemein in jeder alltäglichen Situation. Die bisherige Dominanz darwinistischer Vorstellungen über das Evolutionsgeschehen hat sich auch im gesellschaftlichen Bereich niedergeschlagen und kann, ganz im Sinne des Kontroll-Denkens, mit Begriffen wie Konkurrenz, Diskrimination, Unterdrückung, Ausbeutung usw. beschrieben werden (VARELA, 1979, p.46). Das

Autonomie-Denken legt dagegen Prinzipien wie Gleichberechtigung, gegenseitiger Respekt, partnerschaftliches Verhältnis usw. nahe. Martin BUBER (vgl. mit HUBER, 1975) charakterisiert die beiden Haltungen inbezug auf die Frage von Mitmenschlichkeit mit seiner Unterscheidung von Ich-Es- und Ich-Du-Beziehung. Die in der ökologischen Notsituation entstehende Frage aber ist, ob die letztere nicht allgemein für den Umgang mit autopoietischen Systemen, also auch für die Begegnung mit andern Lebewesen oder Ökosystemen gelten sollte. Sollten diese nicht auch den Rang von "sozialen Objekten" haben, mit denen der primäre Umgangsstil normalerweise ein dialogischer ist, wobei dann auch hier immer und automatisch schon die ethische Dimension vertreten wäre. Was bei archaischen Gesellschaften weitgehend selbstverständlich war, sollten wir, auf unsere Weise natürlich, wieder aufbauen: Ein Ich-Du-Verhältnis mit der Natur um uns herum. MATURANA (1985) verweist auf die Existenz von Liebe als biologisches Phänomen und drückt es so aus: "Liebe besteht darin, einem anderen in einem spezifischen Interaktionsbreich Raum für seine Existenz in Koexistenz mit einem selbst zu öffnen."

3.3. Übertragung des Konzeptes der Autopoiese auf soziale Systeme

Wir haben schon festgestellt, dass die (biologische) Theorie der Autopoiese bislang in der Biologie keinen grossen Anklang gefunden hat. Interessanterweise wird ihre Anwendbarkeit auf menschliche soziale Systeme dagegen intensiv diskutiert. Vielleicht hängt dies mit den in 3.2 genannten epistemologischen und ethischen Komponenten zusammen, die dieser Theorie zukommen. MATURANA und VARELA selbst sind sich über die Übertragbarkeit des Konzeptes nicht einig. Der erstere betrachtet sie als möglich, der letztere ist sehr skeptisch. Dieser weist darauf hin, dass soziale Systeme zwar in einem definierten Bereich oder Raum existieren, wobei dieser Raum aber nicht ein physikalischer ist. Auch ist die Frage der Abgrenzung unklar: Während ein echtes autopoietisches System eine topologisch (durch seine Organisation) definierte topologische Grenze aufweist, ist dies bei sozialen Systemen nicht der Fall. Soziale System verfügen hingegen über einen gewissen Grad an Autonomie, aber insgesamt bretrachtet findet VARELA es weit hergeholt, soziale Interaktionen unter dem Blickwinkel der Autopoiese beschreiben zu wollen. Er meint, es handle sich bei diesem Versuch um einen Kategorienfehler, um eine Verwechslung von Autonomie und Autopoiese (VARELA, 1979, p.54-55).

Dagegen kann man Organismen und soziale Systeme als Systeme gleicher Klasse betrachten und zwar insofern, als sie beide Metasysteme darstellen, die sich aus autopoietischen Systemen als Komponenten zusammensetzen. Im Vergleich haben allerdings die Komponenten bei Organismen nur minimale, bei sozialen Systemen andererseits maximale Autonomie (MATURANA und VARELA, 1987, p.216-217). Mit andern Worten, beim Organismus ist die individuelle Kreativität der ihn bildenden Komponenten eingeschränkt, da diese für ihn existieren. Beim menschlichen sozialen System dagegen gibt es eine erweiterte individuelle Kreativität der Miglieder, da das System für sie existiert. Dass hier von Kreativität der Systemteile die Rede ist, weist darauf hin, dass übergeordnete Strukturen (jetzt im Sinne von GIDDENS (1984)) zwar Regeln darstellen, die Einschränkung beim möglichen Verhalten der Teile nach sich ziehen, andererseits aber auch ermöglichend wirken. Des weiteren sagen beide, MATURANA und VARELA, dass die Realisierung der Autopoiese der

Komponenten eines sozialen Systems konstitutive Bedeutung für die Realisierung des sozialen Systems selbst habe. Eine Kollektion von lebenden Systemen, die über Relationen eine Einheit bilden, die nicht ihre Autopoiesen involvieren, sei kein soziales System. Und umgekehrt müssten, insofern Menschen autopoietische Systeme sind, alle ihre Aktivitäten als soziale Organismen ihren individuellen Autopoiesen genügen (14). In einem abgeschwächten Sinne könnte man somit bei einem sozialen System in Übereinstimmung mit der Theorie von GIDDENS (1984), die Rekursivität zwischen sozialer Struktur und Individuen postuliert, die folgende Analogie zu einer eigentlichen Autopoiese sehen: Die soziale Struktur ergibt sich aus dem Netzwerk von Regeln, die Relationen zwischen Menschen ermöglichen und bestimmen. Sofern man solche Relationen als Prozesse auffassen will, haben wir eine Situation, in der die Prozesse die Komponenten des Systems zwar nicht produzieren, aber doch ihre Existenz ermöglichen.

Nun hat LUHMANN (1982, 1984), der in Kontakt mit MATURANA ist, in seiner Theorie sozialer Systeme den Begriff der Autopoiese aufgegriffen, allerdings nicht in der gerade besprochenen Art (s. auch Sammelband mit Reaktionen und Kommentaren zu dieser Theorie in HAFERKAMP und SCHMID, 1987). Für ihn sind soziale Systeme Sinn-Systeme. Sinn entsteht durch ein Netzwerk von aufeinander bezogenen Begriffen und Konzepten in einer Sprachgemeinschaft. Damit erst wird sprachliche Kommunikation möglich. Die Vorstellung von Autopoiese bezieht sich nun auf den Kommunikationsvorgang: Kommunikation produziert neue Kommunikation. Es gibt also in einem nicht-physikalischen Sinne eine Selbstproduktion, wobei die Aufeinanderfolge von Ereignissen an die Stelle des Ersetzens von Komponenten tritt. Bei dieser Analogie muss man sich aber, wie DRUWE (1988) richtig bemerkt, fragen, was Prozesse und was Komponenten sind, d.h. stellen die Kommunikationsereignisse beides dar? (15). Ein anderes Problem, wie mir scheint, ist das, dass das so augefasste soziale System nicht aus Menschen, sondern aus Kommunikationsereignissen besteht. Alles übrige, was auch noch Menschen ausmacht, ist einfach Umwelt für dieses System. MATURANA (erwähnt in HARGENS, 1987) würde in diesem Falle, in dem nicht die Menschen als solche, sondern nur Handlungen betrachtet werden, auch nicht mehr von einem System mit sozialen, sondern von einem solchen mit parasozialen Beziehungen sprechen, womit er ausdrückt, dass auch nach seiner Auffassung die Teile eines sozialen Systems Menschen sind. Man kann wohl der Meinung sein, dass eine solche Abstraktion (d.h. eine einseitige Betrachtung), wie sie LUHMANN vornimmt, für gewisse Zwecke nützlich sein kann. Von einem humanökologischen Gesichtspunkt aus, ist sie aber sehr unbefriedigend. Wenn Personen nicht Teilnehmer an, sondern nur Umwelt von sozialen Systemen sind, wird die Notwendigkeit einer Brücke zwischen Psychologie und Soziologie klein geschrieben, wenn nicht sogar mutwillig verleugnet. Hier scheint die Theorie von GIDDENS (1984) doch realer zu sein, indem sie Menschen aus Fleisch und Blut (und auch mit Psyche) vorsieht. Im übrigen ist LUHMANN (1986) der Meinung, dass Kommunikation wenig mit sich gegenseitig Verstehen zu tun hat. Für das System ist dies nebensächlich; als selbstorganisierendes System entwickelt es eine Eigendynamik, die so oder so zu einer Fortsetzung führt. Dass man sich prinzipiell gar nicht verstehen kann, könnte man natürlich aus der autopoietischen Vorstellung von Kognition (vgl. mit 3.2) postulieren, wo sich jedes neurale System ja seine eigene interne Welt schafft. Eine solche Folgerung wäre aber auch für VARELA und MATURANA extrem. Sie würden sagen, dass verstehendes Kommunizieren möglich ist, allerdings nur dort, wo sich Kognitionsbereiche

derart überlappen, dass ein gemeinsamer Sinn entstehen kann (VARELA, 1979, p.49, 267 ff.).

Ausser der Rezeption der autopoietischen Theorie bei LUHMANN hat das Gedankengut von MATURANA und VARELA einen wesentlichen Einfluss im Bereich der Psychotherapie (speziell der Familientherapie) auszuüben begonnen. Dies zeigt sich etwa darin, dass die beiden auf der Mitarbeiterliste des Herausgebers der Zeitschrift für systemische Therapie (Verlag Modernes Lernen, Dortmund) aufgeführt sind, was, da sie ja von Haus aus Biologen sind, doch auffällig ist. Einerseits kann es hier darum gehen, eine Familie als kleines soziales System in irgendeinem der oben genannten Sinne als autopoietisch zu verstehen. STEINER und REITER (1986) diskutieren z.B. die Auffassungen von MATURANA (1980), wonach ein soziales System (eine Familie) nur solange ein soziales System (eine Familie) ist, als durch die Mitgliedschaft in diesem System die Autopoiese der beteiligten Individuen realisiert wird. Auch die Vorstellungen von LUHMANN werden besprochen. Zum andern steht die in 2.2 genannte Kontroverse zwischen Kontroll- und Autonomiedenken im Vordergrund (s. dazu REITER und STEINER, 1986). Es wird darauf hingewiesen, dass beim Kontroll-Modell die Familie als ein System mit Input und Output und einem rückkoppelnden Regelsystem verstanden wird, als ein System auch, bei dem ein Therapeut oder eine Therapeutin relativ zielgerichtet von aussen eingreifen kann. Beim Autonomie-Modell dagegen wird das System als organisatorisch geschlossen gesehen, das von aussen nur durch Perturbationen "verstört" werden kann. Dies mag eine Strukturveränderung zur Folge haben; die Art der Veränderung ist aber nicht unter der Kontrolle der therapierenden Person, sondern des Familiensystems.

Zum Schluss dieses Beitrages möchte ich eine spekulative Frage stellen. Bezüglich Lebewesen haben wir gesehen, dass es nach der autopoietischen Theorie eine übergeordnete Form emergenter Organisation gibt, die invariant ist und Leben bedeutet. Darunter gibt es die variablen Organisationstypen, die zu verschiedenen Bauplänen führen. Stellen wir nun der biologischen Organisation die GIDDENSschen Strukturen sozialer Systeme gegenüber. Wie wir aus dem Fortgang der kulturellen Evolution wissen, sind diese variabel und sie könnten deshalb mit den verschiedenen Bauplänen der Organismen verglichen werden. Erinnern wir uns weiter daran, dass eine wesentliche Komponente sozialer Strukturen ihr Sinngehalt (ihre Bedeutung innerhalb einer Sprachgemeinschaft) ist, das Prinzip, das LUHMANN hervorhebt. Nun die Frage: Ist es denkbar, dass es, ähnlich dem invarianten übergeordneten Prinzip Leben im Bereich der Biologie, für menschliche Gesellschaften ein übergeordnetes invariantes Prinzip Sinn gibt, dem sich die einzelnen "Baupläne" unterordnen müssten, es aber nicht tun, ein Prinzip, das wir noch nicht erkannt haben, oder das für uns in der Vergangenheit vielleicht verloren gegangen ist? Könnte es daran liegen, dass wir heute daran sind, unsere Lebensgrundlagen und uns selbst zu zerstören?

ANMERKUNGEN

(1) Soweit im folgenden diese gerade genannten Theorien der Selbstorganisation weiter zur Sprache kommen werden, wird in beiden Fällen von Synergetik die Rede sein. Dies scheint gerechtfertigt, indem man die Theorie der dissipativen Strukturen als deterministische makroskopische Modellierung von Sachverhalten auffassen

kann, die mit synergetischen Ansätzen i.e.S. durch das stochastische Verhalten der Teile auf dem Mikroniveau beschrieben werden.

(2) Ein mechanistisches Weltbild hat sehr viel auch mit atomistischen Vorstellungen zu tun, wonach Entitäten höherer Ordnung sich aus Entitäten niedrigerer Ordnung zusammensetzen und sich aus dieser Zusammensetzung auch erklären lassen. Wenn aber das Ganze in diesem Sinne nur die Summe seiner Teile ist, kann man natürlich auch kontrollierend und reparierend eingreifen, also das Ganze in seine Komponenten zerlegen und es anschliessend unbeschadet wieder zusammenfügen. Wenn wir nun der formalen Systemtheorie einen mechanistischen Hintergrund zuschreiben, scheint dies zunächst im Widerspruch mit der im Bereich der Sozialwissenschaften häufig geübten Kritik an der Systemtheorie zu stehen, wonach diese zu funktionalistisch sei. Mit andern Worten, der Vorwurf ist der, dass man sich ein System als aus Komponenten bestehend vorstellt, deren Verhalten völlig dem Wohl des Gesamtsystems untergeordnet sind, die also für das Gesamtsystem eine bestimmte Funktion ausüben. Das heisst aber doch, dass hier eine organismisch-holistische Position besteht, die als Gegensatz zur mechanistischen gesehen werden kann: Bei der ersteren stellt man sich die Teile als durch das Ganze bestimmt vor, bei der letzteren umgekehrt das Ganze durch die Teile. Abgesehen davon, dass hierbei üblicherweise gerade nicht formale Ansätze kritisiert werden, glaube ich doch, dass der Widerspruch nur scheinbar ist. Ein funktionaler Ansatz stimmt mit dem Modell einer Maschine überein. Eine Maschine ist aber in Teile zerlegbar, und das was sie tut lässt sich aus dem Verhalten ihrer Teile erklären. Allerdings ist dieses einem übergeordneten Zweck untergeordnet, der aber nicht Teil der Maschine, sondern von aussen vorgegeben ist. Aber das Maschinen-Denken ist natürlich Bestandteil des mechanistischen Weltbildes. Ein funktionalistisch-systemtheoretisches Modell der Gesellschaft kann auf diese Weise als Pendant zu einer Maschine gesehen werden. Es stellt sich dann bei diesem Vergleich nur die Frage, wer die Instanz ist, die den Zweck des Systems von aussen vorgegeben hat.

(3) Genauer betrachtet ist wohl der Ausdruck "autopoietische Erkenntnistheorie" nicht ganz korrekt. Der Erkenntnisvorgang ist im strengen Sinne kein autopoietischer Vorgang. Deshalb wäre es vielleicht besser, von einer an der autopoietischen Systemtheorie orientierten Erkenntnistheorie zu reden.

(4) Zu den grundlegenderen und ausführlicheren Werken von MATURANA und VARELA gehören MATURANA und VARELA (1980), MATURANA und VARELA (1987) und VARELA (1979). Dort, wo in diesem Beitrag genauere Verweise auf die Literatur zur Autopoiese vorkommen, beziehen sie sich, mit Ausnahmen, auf die beiden zuletzt genannten Bücher. Aus den Titeln der übrigen im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten geht im allgmeinen hervor, welche Themen sie behandeln.

(5) Die Gruppe Humanökologie am Geographischen Institut der ETH Zürich ist aus Vorläufern heraus offiziell im Herbst 1985 entstanden. Ausgangspunkte waren erstens eine gewisse Frustration mit einer Quantitativen Geographie, die ihre theoretischen Versprechen nicht hatte einlösen können und in der Folge zu einer reinen Methodik verkümmert war, und zweitens eine Besorgnis um die ökologische Problematik unserer Zeit. Die Gruppe Humanökologie hat im Bereich der Forschung zwei Schwerpunkte: Ein erster beschäftigt sich mit Fragen im Bereich von Ökonomie und Ökologie, insbesondere derjenigen, wie weit ein Wandel der Wirtschaft zu einem umweltverträglicheren Stil in Sicht ist oder auch gefördert werden könnte. Die Verbindung zur Geographie ergibt sich über die mit einem bestimmten Wirtschaftsstil zusammenhängenden räumlichen Strukturen. Ein zweiter Schwerpunkt hat mit Fragestellungen bezüglich Umweltbewusstsein und umweltbezogenem Handeln der Bevölkerung zu tun. Diese Forschungsanstrengungen geschehen auf dem Hintergrund einer weltanschaulichen und theoretischen, aber auch methodischen Diskussion.

(6) Wie anschliessend klar werden sollte, ist mit der Aussage, Organisation sei etwas "Abstraktes" , gemeint, dass sie losgelöst von der physischen Realisierung betrachtet wird. Ansonsten ist sie sehr real in dem Sinne, dass sie einPrinzip darstellt, das die einzelnen Lebewesen überdauert, diesen aber bei ihrer Verwirklichung zur Verfügung steht.

(7) Die GIDDENS'sche Theorie passt übrigens bestens in den Rahmen der Wissenschaftstheorie des angelsächsischen Realismus, einer neueren philosophischen Richtung (s. dazu z.B. BHASKAR, 1974 und 1979; HARRÉ, 1986, HARRÉ et al., 1985; SAYER, 1984). Diese erscheint uns im Zusammenhang mit der Entwicklung einer evolutionären Perspektive als Hintergrund für eine Humanökologie von grosser Bedeutung zu sein. Ein Versuch, realistisches Gedankengut für die deutschsprachige Geographie in kritischer Weise zu rezipieren liegt von BECK (1986) vor.

(8) Man könnte argumentieren, dass der Schritt von Organisation zu Struktur bei der autopoietischen Theorie zu gross sei. Schliesslich weisen Pflanzen und Tiere verschiedene Baupläne auf (man vergleiche etwa ein Fisch mit

einem Insekt), und ist in der Biologie wohl üblicher, auf dieser Ebene von Organisation zu reden. Es handelt sich dabei auch hier um eine Menge von Regeln, die nun von Bauplan zu Bauplan verschieden aussehen können, aber sich auf alle Fälle den invarianten Regeln des Prinzips Leben unterordnen müssen. Sofern wir im folgenden die beiden Ebenen voneinander unterscheiden wollen, werden wir dies mit den Bezeichnungen übergeordnete bzw. untergeordnete Organisation tun.

(9) Allerdings sei darauf hingewiesen, dass auch eine über die Vorstellungen von Emergenz hinausgreifende Diskussion um die Möglichkeit vorbestimmter Muster durchaus wieder einen gewissen Grad von Salonfähigkeit gewonnen hat (s. die Darstellung der "Neuen Biologie" von ANGROS und STANCIU, 1988).

(10) Andernfalls müsste er einer Position zuneigen, die dem Verhaltensmodell des klassischen Behaviorismus (ein Paradebeispiel für das Denken im Sinne eines Kontrollmodells im humanwissenschaftlichen Bereich!) entspräche, bei dem der Mensch im Sinne der Reiz-Reaktions-Sequenz eine durch die Umwelt gesteuerte Marionette ist. Die Entwicklung von Technik müsste in dieser Sicht eine Reaktion auf Umwelteinflüsse sein. Ein solcher Griff in die Trickkiste würde es auch ermöglichen, den Menschen von jeglicher Verantwortung für die ökologische Krise frei zu sprechen. Wenn nämlich der behavioristische Ansatz zuträfe, wäre die Umwelt selbst daran schuld, dass sie zerstört wird.

(11) Eine logische Folge einer derartigen Perspektive ist natürlich, dass Gentechnologie als wichtig und machbar angesehen wird. RIEPPEL (1988b) kritisiert die damit verbundenen allzu mechanistischen Auffassungen und weist auf "die Gefahr einer Genmanipulation ohne Blick auf das Ganze" hin.

(12) Es stellt sich dann die Frage, ob die Umwelt eines Organismus gewissermassen als Organisation auf höherem hierarchischen Niveau zu begreifen wäre. Eine Frage, die in dieser Richtung zielte, haben wir schon in 2.3 bei der Diskussion über Ökosysteme als mögliche autopoietische Systeme 3.Ordnung gestellt.

(13) Zur Ergänzung weisen wir darauf hin, dass VARELA (1979, p.211 ff.) auch bezüglich des Funktionierens des Immunsystems entsprechende Auffassungen hat.

(14) Wenn hier davon die Rede ist, dass Interaktionen in einem sozialen System die Autopoiesen seiner Mitglieder unterstützen müssen, ist klar, dass die neuralen Systeme, die an diesen Interaktionen mitmachen bzw. sie erst ermöglichen, eine grundlegende Rolle spielen. Heisst dies aber auch, dass die Psychen dieser Mitglieder an der Autopoiese beteiligt sind?

(15) Es sei an dieser Stelle auf DÜRRENBERGER (1989) hingewiesen, der die Gedanken von LUHMANN differenzierter interpretiert: "Soziale Systeme bestehen nach Luhmann weder aus Personen noch aus Handlungen, sondern aus Kommunikation und aus nichts anderem. ... Handlungen ... sind bei Luhmann Spezialformen von Kommunikation und zwar in folgendem Sinn: Eine Handlung wird über die Zuschreibungen von Kommunikation auf Personen konstituiert. Kommunikation ist der basale, selbstreferentielle Prozess sozialer Systeme. ... Kommunikation und Handlungen sind analog zu Prozess und Elementen eines autopoietischen Systems konstruiert."

(16) Neben der Familientherapie haben die Konzepte von Selbstorganisation und Autopoiese heute auch in der Organisations- und Managementlehre Eingang gefunden (s. dazu z.B. MORGAN, 1986; ULRICH und PROBST, 1984).

4. LITERATUR

4.1. Ausgewähltes Schrifttum zur Theorie der Autopoiese

DRUWE, U., 1988: "Selbstorganisation" in den Sozialwissenschaften. Wissenschaftstheoretische Anmerkungen zur Übertragung der naturwissenschaftlichen Selbstorganisationsmodelle auf sozialwissenschaftliche Fragestellungen. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 40 (4): 762-775.

GOGUEN, J.A., VARELA, F.J., 1979: Systems and distinctions; duality and complementarity. *International Journal of General Systems* 5 : 31-43.

HAFERKAMP, H., SCHMID, M. (Hrsg.), 1987: *Sinn, Kommunikation und soziale Differenzierung. Beiträge zu Luhmanns Theorie sozialer Systeme*. Suhrkamp, Frankfurt a/M.

LETTVIN, J.Y., MATURANA, H.R., MCCULLOCH, W.S., PITTS, W.H., 1959: What the frog's eye tells the frog's brain. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers* (47): 1940-1951.

LUHMANN, N., 1982: Autopoiesis, Handlung und kommunikative Verständigung. *Zeitschrift für Soziologie* 11 (4): 366-379.

LUHMANN, N., 1984: *Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie*. Suhrkamp, Frankfurt a/M.

LUHMANN, N., 1986: *Ökologische Kommunikation. Kann die moderne Gesellschaft sich auf ökologische Gefährdungen einstellen?* Westdeutscher Verlag, Opladen.

MATURANA, H.R., 1975: The organization of the living: A theory of the living organization. *International Journal of Man-Machine Studies* (7): 313-332.

MATURANA, H.R., 1980: Man and Society. In BENSELER, F., HEJL, P.M., KÖCK, W. (Hrsg.): *Autopoiesis, Communication, and Society*: 11-31, Campus, Frankfurt a/M.

MATURANA, H.R., 1982: *Erkennen. Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie*. Vieweg, Braunschweig und Wiesbaden.

MATURANA, H.R., 1985: Reflexionen über Liebe. *Zeitschrift für systemische Therapie* 3 (3): 129-131.

MATURANA, H.R., 1987: Kognition. In SCHMIDT, S.J. (Hrsg.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*: 89-118, Suhrkamp, Frankfurt a/M.

MATURANA, H.R., VARELA, F.J., 1980: *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*. Reidel, Dordrecht u.a..

MATURANA, H.R., VARELA, F.J., 1987: *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Scherz, Bern u.a..

MORGAN, G., 1986: *Images of Organization*. Sage, London.

REITER, L., STEINER, E., 1986: Paradigma der Familie: Turings Maschine oder autopoietisches System? *Familiendynamik* 11 (3): 234-248.

ROTH, G., 1987: Autopoiese und Kognition: Die Theorie H.R.Maturanas und die Notwendigkeit ihrer Weiterentwicklung. In SCHMIDT, S.J. (Hrsg.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*: 256-286, Suhrkamp, Frankfurt a/M.

STEINER, E., REITER, L., 1986: Zum Verhältnis von Individuum und sozialem System: Hierarchie, strukturelle Koppelung oder Interpenetration? *Familiendynamik* 11 (4): 325-342.

ULRICH, H., Probst, G.J.B. (Hrsg.), 1984: *Self-Organization and Management in Social Systems*. Springer, Berlin u.a..

VARELA, F.J., 1975: A calculus for self-reference. *International Journal of General Systems* 2 : 5-24.

VARELA, F.J., 1979: *Principles of Biological Autonomy*. North Holland, New York, Oxford

VARELA, F.J., 1984a: Two Principles for Self-Organization. Ulrich, H., Probst, G.J.B. (Hrsg.): *Self-Organization and Management of Social Systems*: 25-32, Springer, Berlin u.a..

VARELA, F.J., 1984b: Das Gehen ist der Weg. In KAKUSKA, R. (Hrsg.): *Andere Wirklichkeiten*: 155-167, Goldmann, München.

VARELA, F.J., 1985: Der kreative Zirkel. Skizzen zur Naturgeschichte der Rückbezüglichkeit. WATZLAWICK, P. (Hrsg.): *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus*: 294-309, Piper, München, Zürich.

VARELA, F.J., 1986: *A neurobiologist's view of the scientist's mind*. Textkassette, K.Hammerle, Innsbruck.

VARELA, F.J., 1987a: Die Auto-Organisation im Hirn und kognitive Prozesse. In GUNTERN, G. (Hrsg.): *Der blinde Tanz zur lautlosen Musik*: 71-121, Institut für Systemwissenschaft Oberwallis, Brig.

VARELA, F.J., 1987b: Autonomie und Autopoiese. In SCHMIDT, S.J. (Hrsg.): *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*: 119-132, Suhrkamp, Frankfurt a/M.

VARELA, F.J., MATURANA, H.R., URIBE, R., 1974: Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems* (5): 187-196.

ZELENY, M., 1977: Self-organization of living systems: a formal model of autopoiesis. *International Journal of General Systems* 4 : 13-28.

4.2. Weitere zitierte Literatur

ALLEN, P.M., SANGLIER, M., 1981: Urban evolution, self-organization and decision-making. *Environment and Planning A* 13 : 167-183.

AUGROS, R., STANCIU, G., 1988: *Die neue Biologie. Der Umbruch in der Wissenschaft vom Leben - die Wiederentdeckung der Weisheit der Natur*. Scherz, Bern, München und Wien.

BATESON, G., 1972: *Steps to an Ecology of Mind. A Revolutionary Approach to Man's Understanding of Himself*. Ballantine Books, New York .

BECK, G., 1986: Fundament kritischer Wissenschaft? Über einen neuerlichen 'Realismus' in der Geographie. In FISCHER, M.M., KEMPER, F.-J. (Hrsg.): *Modelle für diskrete Daten und raumbezogene Probleme:* 131-161, Schriftenreihe des Österreichischen Instituts für Raumplanung, Reihe B,12, Wien.

BENNETT, R.J., CHORLEY, R.J., 1978: *Environmental Systems. Philosophy, Analysis and Control*. Methuen, London.

BERTALANFFY, L. von, 1971: *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. Penguin, Harmondsworth, Middlesex.

BHASKAR, R., 1975: *A Realist Theory of Science*. Leeds Books, Leeds.

BHASKAR, R., 1979: *The Possibility of Naturalism*. Harvester, Hassocks.

DAWKINS, R., 1976: *The Selfish Gene*. Oxford University Press, Oxford.

DÜRRENBERGER, G., 1989: *Menschliche Territorien. Geographische Aspekte der biologischen und kulturellen Evolution*. Zürcher Geographische Schriften 33, Verlag der Fachvereine, Zürich (im Druck).

EIGEN, M., SCHUSTER, P., 1979: *The Hypercycle - A Principle of Natural Selforganization*. Springer, Berlin u.a..

ELDREDGE, N., GOULD, S.J., 1972: Punctuated Equilibria: an Alternative to Phyletic Gradualism. In SCHOPF, T.J.M. (Hrsg.): *Models of Paleobiology*: 82-115, Freeman, Cooper and Co., San Francisco.

FORRESTER, J.W., 1971: *World Dynamics*. Wright-Allen, Cambridge MA.

GIDDENS, A., 1984: *The Constitution of Society*. University of California Press, Berkeley, Los Angeles.

GREGORY, D., 1980: The ideology of control: systems theory and geography. *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie* 71(6): 327-342.

HARGENS, J., 1987: Die Wirklichkeit: Wahrheit oder Illusion? *Psychologie Heute* 14 (4): 48-53.

HARRÉ, R., 1986: *Varieties of Realism. A Rationale for the Natural Sciences*. Basil Blackwell, Oxford.

HARRÉ, R., CLARKE, D., DE CARLO, N., 1985: *Motives and Mechanisms. An Introduction to the Psychology of Action*. Methuen, London und New York.

HEIMS, S.J., 1984: *John von Neumann and Norbert Wiener. From Mathematics to the Technologies of Life and Death*. MIT Press, Cambridge MA, London.

HOHLFELD, R., INHETVEEN, R., KÖTTER, R., MÜLLER, E., 1986: Der Wissenschaftler und die Natur - Ein Dialog? Versuch einer kritischen Würdigung der Argumente Prigogines. In ALTNER, G. (Hrsg.): *Die Welt als offenes System. Eine Kontroverse um das Werk von Ilya Prigogine*: 32-47, Fischer, Frankfurt a/M.

HUBER, G., 1975: Menschenbild und Erziehung bei Martin Buber. In HUBER, G.: *Gegenwärtigkeit der Philosophie. Vorträge und Aufsätze*: 128-145, Birkhäuser, Basel.

JAEGER, C., STEINER, D., FURGER, F., 1987: *Systems theory: Organismic cosmology or mechanistic model?* Paper, 5th European Sympoisum on Quantitative and Theoretical Geography, Bardonecchia, Italy; Geographisches Institut ETH, Zürich.

JAEGER, D., STEINER, D., 1988: Humanökologie: Hinweise zu einem Problemfeld. *Geographica Helvetica* 43 (3): 133-140.

LORENZ, K., 1973: *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*. Piper, München und Zürich.

MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J., BEHRENS, W.W., 1972: *The Limits to Growth*. Universe Books, New York.

NAVEH, Z., LIEBERMANN, A.S., 1984: *Landscape Ecology. Theory and Application*. Springer, New York u.a..

NEUMANN, J. von, 1951: The General and Logical Theory of Automata. In JEFFRIES, L.A. (Hrsg.): *Cerebral Mechanisms in Behavior*, Wiley, New York.

NICOLIS, G., PRIGOGINE, I., 1977: *Self-Organization in Non-Equilibrium Systems*. Wiley, New York.

POSER, H., 1987: Gibt es eine Einheit der Wissenschaft? Zum Naturverständnis der Gegenwart. *Information Philosophie* 15 (5): 5-18.

PRIGOGINE, I., STENGERS, I., 1981: *Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens*. Piper, München und Zürich.

RIEDL, R., 1981: *Biologie der Erkenntnis. Die stammesgeschichtlichen Grundlagen der Vernunft*. Paul Parey, Berlin und Hamburg.

RIEPPEL, O., 1988a: Die strukturalistische Sicht der Dinge. Eine Herausforderung an den Darwinismus. *Neue Zürcher Zeitung* (103), 4.5.1988.

RIEPPEL, O., 1988b: "Wie" und "Warum" - zur Diskussion in der Bioethik. *Neue Zürcher Zeitung* (253), 29./30.10.88, Zürich.

SAYER, A., 1984: *Method in Social Science. A Realist Approach*. Hutchinson, London u.a.

SCHMIDT, S.J. (Hrsg.), 1987: *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*. Suhrkamp, Frankfurt a/M.

STEINER, D., 1988: Technologisches und humanökologisches Denken in der Umweltdiskussion an der Hochschule. In STEINER, D., JAEGER, C., WALTHER, P. (Hrsg.): *Jenseits der mechanistischen*

Kosmologie - Neue Horizonte für die Geographie?: 99-104, Berichte und Skripten 36, Geographisches Institut ETH, Zürich.

STEINER, D., FURGER, F., JAEGER, C., 1989: Mechanisms, Forms and Systems in Human Ecology. In YOUNG, G., SUTTON, D., BORDEN, R., PRATT, J. (Hrsg.): *Human Ecology and Decision-Making: An International and Interdisciplinary Collaboration*. Proceedings of the 3rd International Conference of the Society for Human Ecology, San Francisco CA 1988 (in Vorbereitung)

STEINER, D., JAEGER, C., WALTHER, P. (Hrsg.), 1988: *Jenseits der mechanistischen Kosmologie - Neue Horizonte für die Geographie?*. Berichte und Skripten 36, Geographisches Institut ETH, Zürich.

TURING, A., 1936: On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society, Series 2* 42 : 230-265.

VOLLMER, G., 1983: *Evolutionäre Erkenntnistheorie*. S.Hirzel, Stuttgart.

WATZLAWICK, P. (Hrsg.), 1985: *Die erfundene Wirklichkeit. Wie wissen wir, was wir zu wissen glauben? Beiträge zum Konstruktivismus*. Piper, München und Zürich.

WEIDLICH,W., HAAG, G. (Hrsg.), 1988: *Interregional Migration. Dynamic Theory and Comparative Analysis*. Springer, Berlin u.a..

WIENER, N., 1965: *Cybernetics*. MIT Press, Cambridge MA.

WUKETITS, F.M., 1981: *Biologie und Kausalität. Biologische Ansätze zur Kausalität, Determination und Freiheit*. Paul Parey, Berlin und Hamburg.