

**Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung
der Universität Osnabrück**

Herausgeber: Prof. Dr. Michael Matthies

Beitrag Nr. 53

Für eine Geschichte der Systemwissenschaft

Johannes Zimmermann

Oktober 2010



**Institut für
Umweltsystemforschung
Universität Osnabrück**

ISSN-Nr. 1433-3805

**Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung
der Universität Osnabrück**

ISSN 1433-3805

Herausgeber:

Prof. Dr. Michael Matthies
Universität Osnabrück
Institut für Umweltsystemforschung
Barbarastr. 12

D-49069 Osnabrück

Tel. 0541/969-2575

Fax. 0541/969-2599

E-Mail: matthies@uos.de

<http://www.usf.uni-osnabrueck.de>

© USF – Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück

Für eine Geschichte der Systemwissenschaft

Universität Osnabrück
Institut für Umweltsystemforschung
Projektarbeit SS 2010
johannes zimmermann

Inhaltsverzeichnis

1. Warum Geschichte
2. Zum Umfang der Arbeit
3. Einleitung
4. **Vorgeschichten**
 - 4.1. ***Ganzheit und Zweck*** (Aristoteles)
 - 4.2. ***Mechanisch analytisches Weltbild*** (Galilei, Newton)
 - 4.3. ***Universelle Sprache, philosophisches System und Vollständigkeit der Erfahrung*** (Leibniz, Kant)
 - 4.4. ***Von einer allgemeinen Systematologie*** (Lambert)
5. **Theoretische Biologie** (Bertalanffy I)
 - 5.1. ***Entwicklungsumgebung*** (Weimarer Systemtheorien)
 - 5.2. ***Organistische Biologie***
6. **Neue Wissenschaften** (1940er)
 - 6.1. ***außeruniversitäre Großforschung***
 - 6.2. ***Kybernetik & Informationstheorie***
7. **General System Theory** (Bertalanffy II)
 - 7.1. ***Formalisiertes System***
 - 7.2. ***Die neue Philosophie der Systeme***
8. **Krisen der 70er-Jahre**
9. **Neue Systemtheorien** (1980er)
 - 9.1. ***Autopoiesis & Chaos***
 - 9.2. ***Komplexitätstheorie***
10. **Analogien der Zukunft**
 - 10.1. ***Wege***
 - 10.2. ***Analogiebildung***
 - 10.3. ***Symptom & Synthesis***
11. Offene Fragen/Zukurzgekommenes
12. Literaturverzeichnis
 - 12.1. Zitierte Literatur
 - 12.2. Thematisch sortierte Literatur

**„There are no answers,
only cross references“**

Norbert Wiener

Warum Geschichte

Geschichte macht sich verdächtig, im Vergangenen zu wühlen, wo doch der forschende Blick nach vorn Fortschritt verspricht. Das Erzählen längst vergangener Tage, kein Freund von Nützlichkeit.

Dass aber die Rückwärtsschau etwas Dynamisches innehat, das zu springen vermag und sich mit mal an aktuellen Orten wiederfindet, zu denen sie sehr wohl etwas zu sagen hat, das vermutet eine Theorie von Wissenschaft, die sich vom Forschen mehr als verknüpfte Aussagen und deren Überprüfbarkeit verspricht.

Eine unlängst geschriebene Geschichte der Objektivität¹ beschreibt, wie die Augen der Wissenschaft sich ändern können und Wissen immer auch Kriterien unterliegt, die es hervorbringen und bestimmen. Kritik und Kritisierbarkeit sind Poppers Ausgang aus der unausweichlichen Parteilichkeit². Geschichte, die zeigt, wie etwas wurde, was es ist, wird somit zum Instrument wissenschaftlicher Kritik:

1. Blickwinkel und Interesse von Diskursen. Was wird beobachtet, was nicht? Welche Fragen werden gestellt und leiten die Forschung an?
2. Abhängigkeiten erkennen. Die institutionelle Verflechtung von Wissenschaft und Gesellschaft.
3. Begriffsbildung. Die Schnitte der Abstraktion schaffen Modelle und Vorstellungen. Was schneiden sie weg?
4. Entwicklungen erkennen. Möglichkeiten und Grenzen von Theorien zeigen sich in der geschichtlichen Erfahrung.
5. Legitimität und Abgrenzung. Neue Ideen formulieren Ansprüche und wirken. Was wollten sie und wie viel konnten sie umsetzen?
6. Wiederholung. Diskussionen und Irrtümer kommen wieder. Von Vorgängern kann gelernt werden.
7. Analogien. Mit was werden Beobachtungen und Vermutungen verglichen und wie werden Übertragungen und Generalisierungen gerechtfertigt? Woher kommt die wissenschaftliche Sprache, welche Vokabeln nimmt sie auf?
8. Denken und Wissen selbst als System. Ihre Wechselwirkungen und Abhängigkeiten sind zu analysieren.

1 vgl. Daston (2007)

2 vgl. Popper (1962) 12. These

9. Anschauung und Weltbild. Theoriebildung (zumal die abstrakte) ist weltanschaulich bedingt.
10. Erklärungsüberschuss naturwissenschaftlicher Theorien. Was klingt bei einer Theorie alles mit, hat Implikationen und indirekte Verweise, zu denen sie nur offen schweigt?

Zum Umfang der Arbeit

Mein Text ist eine Projektarbeit im Rahmen des Bachelorstudiengangs angewandte Systemwissenschaft. Zeit und Umfang sind stark begrenzt, so dass kaum mehr als ein paar Aspekte genannt werden können. Er versteht sich deshalb nicht als eine geschlossene Darstellung, die weit und tief geht, sondern als zusammengetragenes, etwas aufbereitetes Material, das vielleicht einige Ideen und Anregungen auszuteilen vermag. Darum sei an dieser Stelle auch besonders auf das thematische Literaturverzeichnis und die Liste der offenen Fragen im Anhang verwiesen.

Meine eigene Motivation, angewandte Systemwissenschaft zu studieren, bestand im erkenntnistheoretischen Anspruch dieser „neuen Kultur“ und diese Arbeit ist für mich eine Gelegenheit, zumindest kurz, das vergangene Interesse zu untersuchen.

Innerhalb des Projekts machte ich Interviews mit SystemwissenschaftlerInnen, von denen ich viel Interessantes erfuhr. Ich möchte Herrn Prof. Matthies, Frau Prof. Pahl-Wostl und Herrn Prof. Umbach an dieser Stelle besonders dafür danken.

Einleitung

Die „*Leugnung des Zeitpfeils*“ wird von Ilya Prigogine und Isabelle Stengers als Kennzeichen einer veralteten Überzeugung ausgemacht, die ersetzt werden soll durch eine „*Wissenschaft, die nicht mehr nur von Gesetzen, sondern auch vom Ereignis spricht, einer Wissenschaft, die nicht mehr die Emergenz von Neuem und damit ihre eigene schöpferische Aktivität leugnen muss.*“¹ Dieser Zeitpfeil soll nun auch an eben jene neue Wissenschaft selbst angelegt und ihren Entwicklungen gefolgt werden.

Die Merkmale, die ich der Systemwissenschaft unterstelle und nach deren Vorgeschichte im Weiteren Ausschau gehalten werden soll, sind:²

1. Universalität. Eine allgemeine Sprache soll Prinzipien beschreiben, die für alle Systeme Geltung haben. Mathematik und Modellbildung dienen dazu.
2. Ganzheitsbezug. Eine Makroebene existiert, die durch Wechselwirkungen mehr als die aufsummierten Teile sein kann.
3. Komplexität. Rückgekoppelte Vorgänge, die eine lineare Beschreibung schnell untersagen, schaffen neue System-Phänomene, Emergenz.
4. Selbstorganisation. Die Entwicklung und der selbständige Erhalt von Ordnungen in Systemen, ermöglicht durch Adaptivität und Lernen.

Im ersten Teil werde ich historische Vorläufer vorstellen, die mit späteren Systemvokabeln rangierten und Kommendes präformierten. Besonders auf die Systematologie von Lambert (1782), die eine erste allgemeine Systemtheorie darstellt, sei verwiesen.

Die entscheidenden Impulse kamen weiter aus einer theoretischen Biologie der Weimarer Zeit, die die Autonomie des Lebens ohne metaphysische Anleihen zu sichern suchte. Angeregt durch die „neuen Wissenschaften“, die in den 1940er Jahren in großen Forschungsprojekten der Vereinigten Staaten entstanden und mit ihrer problemorientierten Interdisziplinarität neue Fragen aufwarfen, wurde eine Synthese der Wissenschaften gewagt, die in der allgemeinen Systemtheorie der 50er Jahre mündete. Die Denkfiguren waren populär und systemisches Denken ein probates Mittel zur Regelung von „*Mensch und Maschine*“. (Wiener)

Die Euphorie brach in den wirtschaftlich schwierigen Zeiten der 1970er-Jahre ab. Eine

1 Prigogine (1995) S. 8 und allgemein Prigogine & Stengers (1993)

2 Vgl. Matthies (2006) S. 2, 6-7, 10

allgemeine Krise der Rationalität ließ am unbegrenzten Fortschritt und kontrollierbaren Systemen zweifeln.

Noch einmal tauchten Systemkonzepte auf, die die Selbstorganisation und Komplexität von Vorgängen betonten und der Steuer- und Berechenbarkeit Grenzen setzten. Mit dieser letzten Welle, die bis ins Jetzt hineinreicht, ende ich.

Ein Schwerpunkt der Ausführungen liegt bei Karl Ludwig von Bertalanffy, weil er mit seinen Arbeiten zur allgemeinen Systemlehre die Kernbegriffe und Sprache der Systemwissenschaft begründete und zur Verbreitung des Systemansatzes erheblich beitrug.¹

Eine dankbare Quelle fand ich im Buch „Allgemeine Systemtheorie“ von Klaus Müller, das an vielen Stellen bei Inhalt und Idee zur Seite stand.

Die Arbeit will, wie im Titel „*Für eine Geschichte der Systemwissenschaft*“ festgeschrieben, zunächst für eine Geschichte sich stark machen und dann einen kleinen Beitrag zu dieser einbringen.

1 vgl. Ramage (2009) S. 57, 61

Vorgeschichte I: Ganzheit und Zweck (Aristoteles)

Der Übergang von Platon zu Aristoteles geht mit einer Aufwertung der Erfahrung einher. Aristoteles (384 - 322 v. d. Z.) betrieb eine Vielzahl von empirischen Studien, die naturwissenschaftlichen von ihnen hatten oft lebendige Prozesse zum Thema. Die Systemwissenschaft findet daher bei ihm den Begriff des Organismus, den des Lebens und die spontane Selbstbewegung vor.¹

Die aristotelische Metaphysik kennt ein Systemganzes, das in Wechselwirkung zu seinen Teilen steht. Die frühe Schule der Atomisten behauptete, dass ein Ding durch seine Einzelteile vollkommen bestimmt sei, Aristoteles dagegen verweist auf weitere Ursachemöglichkeiten, die für die Beschreibung der Natur wesentlich sind. Zum Einen die *Finalursachen*, um die weitreichende Zweckmäßigkeit in der Natur zu erklären. Lebewesen verhalten sich zweckmäßig, sie tun etwas, damit ein gewünschtes Ziel eintritt. Die Finalität in Systemen wird Bertalanffy später wieder aufgreifen. Zum Anderen gibt es *Formursachen*, die die Gestalt betreffen und die konkrete Verwirklichung der Form, die seine Ausformung hervorrufen. Ein Entwicklungsprinzip klingt an und der *Entelechiebegriff* beschreibt in der Tat eine zielgerichtete Bewegung auf eine höhere Ordnung zu.²

Aristoteles generalisiert seine Aussagen über die Naturursachen und überträgt sie in seiner politischen Theorie. Naturzwecke und Zwecke von Handlungen und Gesellschaft (Polis) werden angeähnel. Das System überwiegt, muss ursprünglicher sein als seine Einzelteile, weil es das Ziel, die Entwicklung vorgibt. Der Aufbau der Polis ist vergleichbar mit der Bauform der Natur. Aristoteles Systembegriff, der ein existierendes Ganzes fasst, das mit seinen Teilen auf Form und Ziel hin wechselwirkt, ist somit hinreichend allgemein, dass er für Gesellschaft, Welt und Kosmos gleichermaßen verwendbar wird.³

1 vgl. Müller (1996) S. 19; Störig (1950) S. 181

2 vgl. Bertalanffy (1969) S. 79, Stoerig (1950) S. 181

3 vgl. dazu auch hinsichtlich der allgemeinen Gefahren einer Systemsoziologie: Müller (1996) S. 21

Vorgeschichte II: Mechanisch analytisches Weltbild (Galilei, Newton)

Das systemische Paradigma konstituiert sich oft in Abgrenzung zu einem „*mechanischen*“ bisweilen „*mechanistischen Weltbild*“, das es abzulösen gilt. Der Ursprung des mechanischen Ansatzes fällt mit der Geburt der modernen Naturwissenschaft im 17. Jahrhundert zusammen. Seit der Renaissance verbreitete sich mehr und mehr die Vorstellung, dass die Welt mit all ihren Erscheinungen nicht nur blasser Abglanz göttlichen absoluten Seins und daher Naturwissen keine mindere kreatürliche Erkenntnis von vergänglichen Gegenständen sei, sondern dass die Schöpfung (und unsere Erfahrung von ihr) göttlich ist, und eine Naturwahrheit existiert, in der sich Gottes Planen zeigt. Für Giordano Bruno steckte Gott in der Bewegung und Galileo Galilei gestand, dass seine Bibel der Natur gleiche. In der realen Welt offenbart sich also das Wirken des Allmächtigen, sie gilt es, daraufhin zu untersuchen.

Die mathematisch-experimentelle Methode, die mit Galilei richtungsweisend wurde und sich mit Newtons Erfolgen zur umfassenden Denkfigur der Aufklärung entwickelte¹, machte systematische Experimente sowie eine mathematisch formulierte Naturbeschreibungen üblich. Konkrete, technische Probleme rückten in der Vordergrund und ihre erfolgreiche Lösung in vielen Fällen wertete die Technik und mit ihr das mechanische Denken auf². Der Mechanismus erklärte, wie etwas funktioniert, bei Erfindungen wie auch nun in der Natur. Erst als Maschine ist die Natur zerlegbar und kann untersucht werden. Aus der (1) Beobachtung stammt das Problem, das (2) einer gedanklichen Analyse unterzogen wird, die es in verschiedene Teilprobleme zerlegt und in Gedankenexperimenten und mittels eines formalen Ansatzes wieder zusammensetzt. Aus dem entstandenen Modell werden (3) Vorhersagen abgeleitet und diese (4) mit Ergebnissen verglichen, die im systematischen Experiment erzeugt wurden. Das Experiment findet unter idealisierten, reproduzierbaren Bedingungen statt, so wird es möglich, die Natur gezielt auszufragen und sie zu Antworten zu zwingen. Kenntnisse über das Wesen der Dinge und Spekulationen über innere Zusammenhänge sind nicht möglich, dafür steht aber eine abstrakte Beschreibung zur Verfügung, die die Mechanismen beschreibt, wie die Welt funktioniert. Etwas erklären können heißt nunmehr, es zu zerlegen und wieder zusammensetzen. Spätestens als Newton mit seiner Gravitationstheorie ein kosmisches Grundgesetz gefunden zu haben schien, dass

1 vgl. Cassirer (1932) 1. Kapitel „Die Denkform des Zeitalters der Aufklärung“

2 Ein Überblick über Ausmaß der technischen Erfolge gibt Stollberg-Rilinger (2000) S. 165-6

die einzelnen Naturgesetze Galileis und Keplers zusammenbrachte, trat die mathematisch-experimentelle Methode ihren Siegeszug an und untersuchte die gesamte Welt, die für sie aus lauter Mechanismen bestand.¹

Systemwissenschaftler wie Bertalanffy oder auch Vester kritisieren das mechanische Weltbild. Wichtig jedoch ist, dass es nicht generell ablehnt wird. Hinter Galilei will die Systemwissenschaft nicht zurück. Formale Modelle mit empirischer Validierung sollen ihr erhalten bleiben, da sie naturwissenschaftliche Erfolgsrezepte sind. Vielmehr geht es darum, den mechanischen Ansatz als Sonderfall zu bestimmen, der für sogenannte *geschlossene Systeme* gilt, jedoch ansonsten versagen muss. Die Kritik bemängelt hauptsächlich den Analysevorgang, die Problemzerlegung: Die Masse eines newtonschen Körpers ist weder von der Zeit noch vom Ort abhängig, von ihnen kann abstrahiert werden. Die Geschwindigkeit zweier zusammenwirkender Gegenstände errechnet sich als Vektorprodukt der Einzelgeschwindigkeiten. Aus solchen Problemen der klassischen Mechanik folgt ein Systembegriff, der summarisch gefasst ist. Die Systemelemente sind ausreichend durch individuelle Eigenschaften (wie Masse, Ort, Impuls) beschrieben und setzen sich als Aggregat, als Summe zu einem Ganzen zusammen. Das hat Folgen für das mechanische Weltbild:

1. Substanzproblem. Die Analyse zergliedert den Anschauungsgegenstand. Ohne ein Korrektiv wird daraus ein bloßes Nebeneinander loser Teile, was kaum noch ein Ganzes sein kann. Der Ausgangspunkt des Interesses scheint verloren.²
2. Kausaler Determinismus. Ein Zustand (Z1) zu einem Zeitpunkt (t1) kann durch einen Gesetzeszusammenhang in einen anderen Zustand (Z2) im folgenden Zeitpunkt (t2) überführt werden. Die Annahme ist, dass die relevanten Variablen getrennt voneinander bestimmt und ihre Zusammenhänge untersucht werden können. Daraus folgt, dass sowohl Z2 vorausgesagt werden kann ($Z1 \Rightarrow Z2$), als auch dass Z1 vorangegangen sein muss ($Z2 \Rightarrow Z1$). Die Zeit ist reversibel. Vorhersage und Erklärung unterscheiden sich so in ihrer logischen Form nicht, gleiche Ursachen führen zu gleichen Wirkungen.
3. Mikrologische Kausalität. Von den Teilen kann auf das Ganze geschlossen werden. Es existiert demnach keine oder wenig Rückkopplung. Das System ist kausal passiv, es kann mit seinen Einzelteilen ausreichend beschrieben werden. Die Reduktion auf die Mikroebene der Teile ist möglich.

1 Huber (2002) S. 222-5

2 vgl. Cassirer (1932) S. 65

4. Kein Außeneinfluss. Wechselwirkungen mit anderen Objekten sind vernachlässigbar. Geschlossene (planetarische) Systeme werden möglich.
5. Unbeteiligter Beobachter. Da die Teile isolierbar sind, greifen Messungen nicht in das Geschehen ein bzw. verändern das System nur unwesentlich.¹

Die historischen Ausführungen verweisen auf den Hintergrund einer Mechanik, die ab dem 17. Jahrhundert richtungsweisend wird. Die Begriffsbildung findet vermittelt durch ihre spezifische (astronomische) Anschauung statt. Beispielsweise ist der Einfluss der Planeten auf die Sonne durch den Massenunterschied gering und auch die großen Entfernungen legen eine Separierung in lose Einzelteile nahe. Die resultierende Methode trägt diesen Zeitkern in sich.

Vorgeschichte III: Universelle Sprache, philosophisches System und Vollständigkeit der Erfahrung (Leibniz, Kant)

Bertalanffy als auch Wiener beziehen sich mehrmals auf Leibniz. Er wird als Schutzheiliger der Kybernetik gekürt und die allgemeine Systemtheorie sieht sich als eine Fortführung seiner Ideen.²

Das Erbe, das hier angetreten und hochgehalten wird, besteht in einer universellen, formalen Sprache (*mathesis generalis, characteristica universalis*), die die allgemeine Beschreibung der Vorgänge und Gegenstände durch Symbole ermöglicht. Eine Universalwissenschaft wäre somit denkbar, die mittels eines Kalküls (*calculus ratiocinator*) wissenschaftliche Hypothesen überprüfen und neue Erkenntnisse zu gewinnen vermag.³

Was an dieser Stelle festgehalten gehört, ist das Ordnungspotential, das der Mathematik zugeschrieben wird. Ihre Symbole dienen als Bausteine einer allgemeinen Ordnung, die unmittelbar mit Denken, Natur und Gesellschaft zu korrespondieren scheint:

„Es besteht irgendeine Beziehung oder Ordnung unter den Zeichen, die einer solchen in den Dingen entspricht.“

(Leibniz (1677) S. 33)

1 für die Punkte 2-5 vgl. Müller (1996) S. 70-73

2 vgl. Wiener (1948) S. 33 und Bertalanffy (1957)

3 vgl. Poser (2005) S. 110/1

Mathematik nicht als Hypothese, doch als Strukturannahme und „*universelle Operationsschema*“ (Müller). Für Leibniz ist diese Ordnung im System mit einer Heilserwartung verknüpft, sie schütze vor Chaos und Fragmentierung. Als „*formal uniformity of nature*“ erhalten diese Gedanken Einzug in die spätere allgemeine Systemtheorie.¹

Der philosophische Systembegriff erfährt umfassende Verwendung bei Immanuel Kant. Er grenzt seinen Systembegriff vom Aggregat ab. Die systematische Erkenntnis ...

„setzt jederzeit eine Idee voraus, nämlich die von der Form des Ganzen der Erkenntnis, welches von der bestimmten Erkenntnis der Teile vorhergeht und die Bedingungen enthält, jedem Teile seine Stelle und Verhältnis zu den übrigen a priori zu bestimmen. Diese Idee postuliert demnach vollständige Einheit der Verstandeserkenntnis, wodurch diese nicht bloß ein zufälliges Aggregat, sondern ein nach notwendigen Gesetzen zusammenhängendes System wird.“

(Kant (1781) A645)

Erkenntnis ist durch den Verstand nur als System möglich. Er schafft eine Ordnung, stiftet Einheit, an der auch kein Weg vorbeiführt. Über das Wesen der Natur, die „*Dinge an sich*“ gibt es kein mögliches Wissen, nur durch die systematische Aufbereitung des Verstandes kommt es somit zur Erkenntnis. Die menschliche Begriffsbildung ist nach Kant ein komplexer, zusammengesetzter Vorgang, bei dem bereits die Anschauung durch Strukturierungen der ursprünglichen Empfindung geordnet wird. Raum und Zeit sind notwendige Voraussetzungen sinnlicher Vorstellung. Der Verstand verknüpft dann die zeitlich und räumlich strukturierte Anschauung mit den Verstandesbegriffen, die ebenfalls den Rang von Denkvoraussetzungen erhalten. Die Kausalität, an deren Notwendigkeit Hume zweifelte und damit Kant aus seinem Schlummer riss, ist ein solcher Verstandesbegriff, ohne den gar keine Erfahrung möglich sein kann.²

Keinesfalls geht es jedoch bei Kant darum subjektive Bedingtheiten auszuteilen oder einer Präformationslehre nach dem Mund zu reden, der gemäß es sich um „*eingepflanzte Anlagen zum Denken*“ handelte. Kant verlangt Notwendigkeit und Objektivität und er findet sie in der möglichen Vollständigkeit der Erfahrung, die in ihrer Beständigkeit gar nicht möglich wäre, wenn nicht das äußere Geschehen auch dieser Ordnung folgen würde. Die Bedingung der Möglichkeit der Erfahrung entspricht der

1 vgl. Müller (1996) S. 27, 321 und Bertalanffy (1969) S. 63

2 Störig (1950) S. 404

Bedingung der Möglichkeit der Gegenstände (der Erfahrung).¹

Die Bedeutung, die bei Kant dem System zukommt, ist beachtlich.² Die systemische Ordnung garantiert, in ihrer möglichen Vollständigkeit der Erkenntnis, die mögliche Ordnung der Natur und auch die des Wissens. Die Philosophie triumphiert zum „*System der Vernunftkenntnis durch Begriffe*“. Interessant ebenfalls, dass er bei der Beschreibung des Ganzen auch schon auf organismische Analogien von Körper, Tier und Wachstum zurückgreift und der organischen Welt eine „*bildende Kraft*“ zu schreibt, die durch einen Mechanismus allein nicht erklärt werden kann:

„Organisierte Wesen sind also die einzigen in der Natur, welche, wenn man sie auch für sich und ohne ein Verhältnis auf andere Dinge betrachtet, doch nur als Zwecke derselben möglich gedacht werden müssen, und die also zuerst dem Begriff eines Zwecks, der nicht ein praktischer sondern Zweck der Natur ist, objektive Realität, und dadurch für die Naturwissenschaft den Grund zu einer Teleologie (...) verschaffen“

(Kant (1793) A296)

Vorgeschichte IV: Von einer allgemeinen Systematologie (Lambert)

Eine erste ausgearbeitete, allgemeine Systemtheorie kann wohl Johann Heinrich Lambert (1728-1777) zugeschrieben werden. In seinem „Fragment einer Systematologie“, das aus dem Nachlass 1782 veröffentlicht wurde und auf Arbeiten der Jahre 1764-1771 zurückgeht, findet sich ein allgemeiner Systembegriff, der keine einheitliche Erfahrung oder vernünftige Ordnung nur meint, sondern ein **reales**, „*zweckmäßig zusammengesetztes Ganze*“, dessen Teile:

„mit Absicht gestellt oder geordnet, und alle miteinander so verbunden seyn, daß sie gerade das der vorgesetzten Absicht gemäße Ganze ausmachen und dieses muß (...) fort dauern können“

(Lambert (1782) §3,4)

Dieser Systembegriff fasst viel. Von den Planeten, der Natur über Gesellschaft, Gesetzen zu Gedichten. Das alles solle sich einer gemeinsamen Struktur erfreuen, die sich durch

1 Kant (1781) B167/8, Cassirer (1937) S. 28/9, 72/3

2 Vgl. die 1. Einleitung der Kritik der Urteilskraft zum philosophischen System allgemein in Kant (1793) sowie vgl. Kant (1781) A833/4 (Organismusanalogien)

„Es zeigt sich dann erst aus der durchgängigen Vergleichung derselben, was jeder allgemeine Satz auf sich hat, und was er in einzelnen Fällen vorstellt und sagen will. Man kann auch nicht sagen, daß man vorher sich seine Allgemeinheit ausführlich vorstelle, oder davon behörig überzeugt sey.“

(Lambert (1782) §9)

Die Natur gebe ein besonders gutes Vorbild zum Studium der Systeme ab (s. o. §46) und eine Folgeabschätzungen von Risiken sei nötig (s. o. §33).

Was an Lamberts Systematologie ergreift, ist die Fülle der Ähnlichkeiten und Vorwegnahmen zu späteren Themen der Systemtheorie. Er geht von einem Begriff aus, der für alle konkreten Systeme gelten soll, und fasst (anders als noch Kant) ein System als real existierend auf, als einen Gegenstand unserer Erfahrung, der gewissen allgemeinen Eigenschaften und Regelmäßigkeiten folgt, deren abstrakter Formulierung die Aufgabe einer Theorie der Systeme ist. Er arbeitet diese systemischen Strukturen heraus und klassifiziert die vorkommende Fülle anhand allgemeiner Eigenschaften. Darüber hinaus denkt Lambert über die Rechtfertigung eines allgemeinen Systembegriffs nach und fordert seine stetige Prüfung in der Erfahrung. Gemeinsamkeiten mit dem späteren Bertalanffy-Programm sind nicht zu übersehen¹ und wenn seine Systematologie hier als Vorgeschichte abgehandelt wird, dann sicher nur, weil sie zunächst leise verhallte.

¹ vgl. Müller (1996) S. 31 die Fußnote 46

Bertalanffy I: Theoretische Biologie

a) *Entwicklungsumgebung* (Weimarer Systemtheorien)

1. Weltkrieg. 17 Millionen Tote, massive Zerstörungskraft einer angewandten Kriegswissenschaft: Flugzeuge, U-Boote, Artilleriegeschütze, Giftgas. Jahrelanger Stellungskrieg. Das deutsche Kaiserreich und die Habsburger Monarchie unterlagen. Gebietsumverteilung, republikanische Neuordnung.

Die Niederlage der deutschen Kriegsparteien und die anschließende Republikgründung wurde vielfach als Katastrophe empfunden. Es gab eine breite Ablehnung der neuen Verhältnisse, bei Intellektuellen aber auch in der Gesamtbevölkerung.¹ Der beklagte Ordnungsverlust begründete sich selbst darüber hinaus mit:²

1. Fortschrittskritik. Das Zerstörungspotential der Technik im 1. Weltkrieg ließ über die Grenzen und Schattenseiten der Wissenschaft spekulieren. Der Fortschrittsglaube des 19. Jahrhunderts brach.
2. Statusverlust. Durch die Bildungsreformen beklagte die alte Elite an Universitäten eine „Vermassung“ und „Auslieferung“ ihrer Bildungsideale.
3. Wirtschaftskrise. Die Kosten des Krieges und seiner Zerstörungen waren hoch. Der Weltmarkt erreichte erst ca. 60 Jahre später wieder das Vorkriegsniveau. Ein düsterer Alltag aus Inflation und Arbeitslosigkeit.
4. Grundlagenkrise der Physik. Der klassischen Physik, die lange Zeit zumindest naturwissenschaftliche Ordnung versprach, wurde durch Relativitäts- und Quantentheorie zugesetzt, ihre Absolutheit und Begrifflichkeit nachhaltig erschüttert.
5. Neue Kultur. Die Gegnerschaft von Expressionismus, Zwölftonmusik und neuer Sachlichkeit.

Ein „*Hunger nach Ganzheit*“ (Müller) entstand, die sättigt und wieder heile macht. Hunger nach Gewissheit und festem Grund, der nicht in der Realität zu finden schien.

„Die Krisenstimmung der Weimarer Republik äußert sich als Gefühl einer 'planetarischen Krise der Daseinsordnung'. 'Zersetzung', 'Vermassung' und 'Nivellierung' sind die gängigen Termini, in denen sich diese Gestimmtheit artikuliert, um unversehens vom politischen Raum in philosophische Sphären

1 Winkler (2000) S. 552-5

2 Vgl. Müller (1996) S. 39-40, 48

überzuspringen. In der Terminologie nahezu aller Richtungen der akademischen Philosophie mischen sich kultur-, wissenschafts- und technikkritische Motive mit einer latent politisch besetzten Ganzheitsmetaphorik, um sich hierüber zugleich zu polarisieren.“

(Müller (1996) S. 41)

Fragen werden gestellt, nach einem „*unzerstörbaren Seinsboden*“ (Husserl), der gegen das „*Fortströmen der Erfahrung*“ hilft. Für Husserls kritische Geschichtsphilosophie besteht Rettung vor der „*einseitigen Rationalität*“ in der Rückkehr. Sinnvoraussetzungen müssen freigelegt werden. Ganzheit im Sinne einer Entelechie zur Vernunft (vgl. Aristoteles). Bei Heidegger wird das System zur Vollendung der Neuzeit. Sein „*Ganzseinkönnen*“ übergibt das Subjekt vollkommen an das System, es geht in seiner Herrschaft auf.¹

Es ist auch die Zeit Spenglers, der den „*Untergang des Abendlandes*“ ankündigt und mit vielen biologischen Analogien eine „*Morphologie der Weltgeschichte*“ entwirft, in der Staaten wie Organismen wachsen, zu Größe kommen und schließlich niedergehen und sterben. Spenglers Fatalismus findet sein Bild im Soldaten aus Pompeji, der pflichtbewusst und angesichts der Unausweichlichkeit des Niedergangs auf seinem Posten bleibt und weiter wacht, als der Vulkan ihn mitsamt der Stadt verschlingt.

In der Biologie war es der Vitalismus, der einen ganzheitlichen Anspruch debattierte. Nach ihm reichte wissenschaftliche Reduktion nicht aus, um das Phänomen des Lebens zu erklären. Es muss etwas Besonders (Seele, Intention) angenommen werden. Ebenfalls betonte die psychologische Gestalttheorie, dass Gegenstände der Realität als ein sinnvolles Ganzes wahrgenommen werden und nicht als lose Reize.²

Der Unschärferelation von Heisenberg aus dem Jahre 1927, nach der z. B. Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens (notwendigerweise) nicht beliebig genau bestimmbar sind, folgte ihre breite Popularisierung: Die Eigenschaften eines Teilchens seien nur durch ihre Wechselwirkungen im Ganzen zu erforschen. Messen bedeute immer auch Eingriff, der verändert. Die klassische Kausalität schwächelte, nicht einzelne Objekte sondern nur Systemzustände ließen sich kausal beschreiben. Die genaue Vorhersage bleibe vage, die Zukunft offen. Freiheit, Leben, Autonomie und Bewusstsein – sie sind seit der Quantentheorie indeterministisch diskutier- und als Emergenz oder Entität mit der Unschärfe begründbar.

1 Vgl. Müller (1996) 40, 44-5

2 Vgl. Bernal (1957) S. 637f., Müller (1996) S. 50

Gegen diese Ganzheit als „*allgemeine Stimmung*“ formierte sich der logische Positivismus. Sein Programm war Wissenschaftskritik. Eine Forschungslogik sollte her, die ausgehend von empirischen Befunden der „Ganzen“ Spekulation ein Ende bereite. Im Sinnkriterium der Überprüfbarkeit stecke der Schlüssel zum Ausweg aus einer sinnlosen Zeit. Mengenlehre statt Ganzheitlichkeit, Reduktion statt Holismus und Enzyklopädie des Wissens statt einem System.¹

Dass Bertalanffy Anschluss an diese Diskurse hatte, zeigt sich, wenn nicht schon in seinem Philosophiestudium, der Promotion bei Moritz Schlick, der den positivistischen Wiener Kreis gründete, deutlich in seinen Publikationen zum Beispiel zu Spengler.²

Die Weimarer Ganzheitsmetaphysik schwappt in die sich gründende Systemwissenschaft hinein und bleibt mehr oder weniger latent am Wirken, als auftauchende Analogie oder politische Vorstellung bei der sozialen Modellierung.³

b) Organistische Biologie

Die frühen Arbeiten Bertalanffys in den 1920er und 30er Jahren hatten ihren Ausgangspunkt im Phänomen des Lebens. Viel verwies darauf, dass das Leben als Ganzes aufgefasst werden musste. Die Entwicklungstheorie von Hans Driesch zum Beispiel zeigte, dass gleiche Endzustände durch unterschiedlichste Anfangsvoraussetzungen erreicht werden können (Äuqifinalität). Wachstum scheint durch das Ziel gesteuert. Driesch erneuerte damit die Teleologie des Aristoteles (s. o.). Dennoch gab es keine Hinweise auf lebende Substanzen, irgendetwas was diese zielgerichtete Entwicklung hervorrufen könnte. Es fehlte eine wissenschaftliche Theorie. Dem Leben in seiner Besonderheit gerecht zu werden, aber auch gleichzeitig theoretisch beizukommen, das ist die selbst gestellte Aufgabe einer Synthese von Mechanismus und Vitalismus, an der die organistische Biologie sich versuchte.

Der Widerspruch von physikalischer Theorie, die im zweiten Hauptsatz der Thermodynamik ein sich einstellendes Gleichgewicht mit maximaler Entropie fordert, und biologischen Organisationsleistungen, ist ein scheinbarer, wenn das Leben als

1 Müller (1996) S. 63

2 Vgl. z. B. BCSSS Bibliographie auf <http://www.bertalanffy.org/media/pdf/pdf32.pdf> (24.8.2010)

3 Vgl. Schlusskapitel

„*offenes System*“ betrachtet wird. Im Unterschied zu geschlossenen Systemen, die für das mechanische Weltbild typische Analysemethoden erlauben (vgl. Kapitel Mechanisch analytisches Weltbild) und nur Spezialfall sind, konzipierte Bertalanffy eine Theorie offener Systeme. Über klare Systemgrenzen hinweg tauscht ein offenes System ständig mit seiner Umwelt Energie und Materie aus und befindet sich somit keinesfalls in einem Gleichgewicht maximaler Entropie, wo weder energetische noch materielle Flüsse stattfinden und keinerlei Arbeit verrichtet wird. Die Schwierigkeit der Theoriebildung lag darin, zu klären, wie ohne thermodynamisches Gleichgewicht - also unter ständigen Ströme in und aus dem System - trotzdem stabile Eigenschaften, ja das Leben sich erhalten kann. Das Konzept vom *Fließgleichgewicht*¹ verspricht viel. Es besagt, dass die Veränderungen durch die Flüsse insgesamt gleich Null sind, die Massenbeziehungen des Systems sich also nicht verändern bei gleichzeitig möglichen Wechseln der notwendigen Stoffe.

Neben dem offenen System im Fließgleichgewicht entwickelte Bertalanffy einen Ganzheitsbegriff, den er an die Gestalttheorie anlehnte. Die „*Gestaltetheit*“ ist ein Ergebnis der ständigen Interaktion der Teile eines Systems. Ordnung wird möglich. Differenzierungsprozesse, Spezialisierungen aber auch Zentralisierungen -verbunden mit einer Zunahme der Komplexität, schaffen die Gestalt des Lebens.

Eine theoretische Biologie, die nach Gesetzen sucht und diese mathematisch formuliert, muss nicht reduktionistisch sein. Zu diesem Schluss kommt Bertalanffy in Anlehnung an Boltzmanns statistische Thermodynamik, die eine Gesamtbeschreibung vornimmt, ohne Rekurs auf die Wirkungen der Einzelteile machen zu müssen. Exakte Systemgesetze können damit aufgestellt werden.²

Bertalanffy versuchte durch Verallgemeinerung des Entropiebegriffs (Entropie wird mit Ordnung *assoziiert*) und Formalisierungen, ein allgemeines Modell für offene Systeme anzugeben, aus dem mathematisch deduziert werden kann, denn:

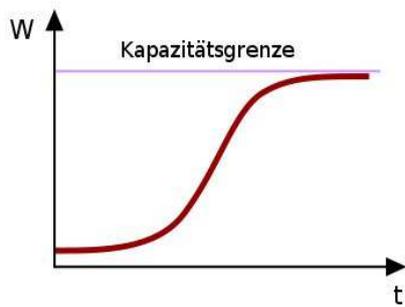
„was für uns wichtig ist, ist der Umstand, daß die Existenz stationärer, dynamischer 'Gleichgewichte' in offenen Systemen (...) die Existenz bestimmter Ordnung des Geschehens, die durch dynamische und nicht strukturell-maschinelle Prinzipien garantiert ist, aus allgemeinen physikalischen Betrachtungen abgeleitet werden kann.“

(Bertalanffy (1940) S. 526)

1 Vgl. Bertalanffy (1940). Es sei auf die Synonyme „steady state“, „dynamisches Gleichgewicht“ oder „quasistationäre Lösung“ hingewiesen.

2 vgl. Drack S. 3, 5, 8

Mit einfachen Differentialgleichungssystemen lassen sich bereits Stabilitätsuntersuchung durchführen, die auf ständige selbstverstärkende Prozesse,



Fließgleichgewichte oder periodische Lösungen hinweisen. Ebenfalls kann das vitalistische Konzept der Äquifinalität von Hans Driesch, das von Zwecken, Zielen und Finalität spricht, formal dargestellt werden, in dem die Veränderungen eines Zustands als Entfernung vom Fließgleichgewicht beschrieben werden. Unabhängig von

Abb2: Graph von wikipedia Eintrag: den Anfangsbedingungen stellt sich im formalen Modell Populationsdynamik (24.8.2010)

ein Fließgleichgewicht ein, das zielsicher angesteuert zu werden scheint. Für logistische Wachstumsprozesse zum Beispiel ist die Funktion mit einer Obergrenze, einer Ziel-Kapazität versehen, die „äquifinal“ angesteuert wird:

$$\frac{dW}{dt} = W(t) \cdot (K - W(t)) \quad (W \text{ ist der Bestand, } K \text{ die Kapazität})$$

Aus der allgemeinen Betrachtung mittels eines formalen Modells lassen sich Eigenschaften, wie Fließgleichgewicht, Äquifinalität folgern, so dass:

„viele Eigentümlichkeiten organischer Systeme, die oft als vitalistisch oder mystisch angesehen wurden, sich als Deduktionen aus dem Systembegriff und den Eigenschaften gewisser ziemlich allgemeiner Systemgleichungen, in Verbindung mit gewissen thermodynamischen und statisch-mechanischen Betrachtungen, ableiten lassen.“

(Bertalanffy (1940) S. 528)

Die gewonnenen Eigenschaften gelten - unabhängig von konkreten, komplizierten Beziehungen - für offene Systeme überhaupt.

Unklar bleiben die sozialen Implikationen. Bertalanffy teilte den geschichtsphilosophischen Pessimismus Spenglers. Der Systembegriff wird allgemein formuliert, in ihm schwingt die Weimarer Ganzheitsmetaphysik mit und Analogien zum politischen oder Wirtschaftssystem drängen sich auf, werden aber bewusst von Bertalanffy nicht ausgeführt, weil er wohl um die Mythengefahr einer „*autoritären Biologie*“ (Plessner) wusste.

Ebenfalls ist fraglich, ob er das Leben wirklich besonders beschrieben hat, wenn doch Selbstregulation bereits in einfachen, physikalischen Bereichen auftritt und der

Entropiebegriff aus der Thermodynamik importiert wurde. Dass Einzelheiten dann nur Spezialfälle allgemeiner Gleichungen sind, verwundert nicht.¹

Mit dem Programm einer theoretischen Biologie, die zur allgemeinen Systemlehre sich mehr und mehr ausbaute, reiste Bertalanffy 1937 nach Chicago, sie der Öffentlichkeit erstmalig vorzustellen. Doch stieß er hier kaum auf Interesse, das erst nach dem Krieg mit einem stärkeren Bewusstsein für interdisziplinäre Ansätze geweckt wurde.

¹ Bertalanffy (1940) S. 528, vgl. Müller (1996) S. 88-9, 65

a) Außeruniversitäre Großforschung

Der entscheidende Faktor für die neue, gemeinsame Forschung sei der Krieg gewesen, schreibt Norbert Wiener 1948 in der Einleitung seiner kybernetischen Gründungsschrift und erklärt ganz offen die Rückkopplung anhand von Flugabwehrkanonen, die im zweiten Weltkrieg durch Informationen über aktuelle Flugdaten die künftige Bahn des gegnerischen Flugzeugs berechneten und feuerten. Die neuen Wissenschaften von Informationstheorie bis zur Spieltheorie stehen seither unter Verdacht, verschwörerische Kriegswissenschaften zu sein.¹ Die Diskussion, wie weit einzelne Projekte und Personen an einem (von den USA nicht angefangenen!) Weltkrieg beteiligt waren, möchte ich an dieser Stelle nicht führen. Es sei allerdings auf die weit ins 19. Jahrhundert hineinreichende, notwendige Steuerung der Lebenswelt durch kybernetische Prinzipien verwiesen.²

Den nach '45 sich etablierenden neuen Forschungszweigen ist die interdisziplinäre Erforschung komplexer Sachverhalte gemein. Sie unterstehen einem allgemeinen Anwendungsinteresse und verändern das Verständnis von Theorie, Erklärung und Rationalität. Mit ihnen war die Hoffnung verknüpft, ausgehend von konkreten Aufgaben in gemeinsamer Anstrengung das differenzierte Einzelwissen nutzbar zu machen. Die Merkmale³ im Einzelnen:

1. Problemorientierung. Die Grundbegriffe werden problembezogen definiert (nicht gegenstandsbezogen).
2. Technik. Reine und angewandte Wissenschaft kommen zusammen.
3. Administrative Wissenschaft. Durch die politische Konzentration der Forschungsmittel an wenige (neugegründete) große Laboratorien, an die konkrete Aufgaben gestellt waren, entsteht dort eine rege, außeruniversitäre Forschung.
4. Universelle Anwendbarkeit für kombinatorischer Erkenntnisgewinne.
5. Formalisierung. Die mathematische Modellierung von Kommunikation, zielgerichteten Handeln und sozialer Interaktion.
6. Interdisziplinarität. Keine Trennung von Natur- und Geisteswissenschaften, das

1 Filmbeispiele: die Spieltheorie in Kubriks „Dr. Strange Love“ und die Kybernetik bei Dammecks „Der Lunabomber“

2 vgl. Rieger (2003) Einleitung und Müller (1996) S. 91

3 Vgl. Mueller (1996) S. 90,-1, 95, 97-8

gemeinsame Arbeiten macht eine allgemeine Wissenschaftssprache, über die Fachgrenzen hinweg, nötig.

b) Kybernetik und Informationstheorie

In seiner mathematischen Theorie der Kommunikation forderte Claude Elwood Shannon 1948, dass ein System unabhängig vom konkreten Inhalt der Kommunikation sein muss:

„The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point. Frequently the messages have meaning; that is they refer to or are correlated according to some system with certain physical or conceptual entities. These semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem. The significant aspect is that the actual message is one selected from a set of possible messages. The system must be designed to operate for each possible selection, not just the one which will actually be chosen since this is unknown at the time of design.“

(Shannon (1948) S. 1)

Was als Wegbereiter der Digitalisierung, Übertragung und Speicherung von Nachrichten zum Beispiel in späteren Computern dienen sollte, generalisiert ebenfalls den Systembegriff und befreit ihn von den direkten materiellen Bezügen, wie sie noch im „offenen System“ Bertalanffys als explizit biologische Systeme vorkommen.

Der Informationsgehalt einer Nachricht wird in Zusammenhang mit der statistischen Mechanik gebracht. Das übertragende Entropiekonzept der Thermodynamik zeigt an, wie hoch der Informationsgehalt ist. Je weniger Entropie, umso besser die Information. Wie auch schon bei Bertalanffy zeigt Entropie so etwas wie „Ordnung“ an, eine nicht weiter begründete These.¹

Rückkopplung war das zentrale Konzept, das die Kybernetik präsentierte. Ein System steht mit seiner Umwelt in Verbindung und kann verschiedene Messungen durchführen, auf diesem Wege Nachricht über den Ist-Zustand erhalten, ihn mit einem Sollwert vergleichen und entsprechend reagieren – eine Rückkopplungsschleife oder *feedback*.

¹ vgl. Wiener (1948) S. 33, Shannon (1948) S. 11, Bertalanffy (1940) S. 323 & Müller (1996) S. 120f.

Die Kybernetik als Wissenschaft der Kommunikation und Kontrolle (Wiener) zeigt also, wie durch Nachrichtenaustausch Steuerung möglich wird: Informationen über den tatsächlichen Zustand fließen und durch entsprechendes Reagieren wird das System kontrolliert. Die Bekämpfung der Entropie, das Aufrechterhalten der Ordnung durch ständige Rückkopplung und Ausgleich, ein ausreichend abstraktes Konzept, um es übertragen zu können:

„It is my thesis that the physical functioning of the living individual and the operation of some of the newer communication machines are precisely parallel in their analogous attempts to control entropy through feedback.“

(Wiener (1950) S. 27)

Nachricht und feedback als Beschreibung von Handlungen, bis zur Gesellschaft: Eine allgemeine Kybernetik kündigte sich an und erfuhr in den 50er, 60er Jahren eine beträchtliche Aufmerksamkeit, die bis zur selbst gesteuerten Systemtheorie der Gesellschaft Parsons oder auch zu Kassenschlagern wie „*Psycho-Cybernetics & Selffulfillment*“ reichte.¹ Die breite Popularisierung und Analogiebildung, obwohl der anfängliche Anwendungsbereich der Kybernetik begrenzt ist und der Informationsbegriff gleiche Codierung voraussetzt, erstaunt, kann aber vielleicht durch folgende Punkte² ein Stück weit einleuchten:

1. Funktionale Beschreibung. *Wie* ein System funktioniert (und nicht warum) stand im Mittelpunkt des kybernetischen Ansatzes. Der Einsatz ist also nicht klar umrissen und kann erfolgen, wo immer Analogien aufgemacht werden.
2. Metatheorie. Als formale Theorie über alle möglichen Technologien, die unabhängig vom konkreten Medium formuliert ist, kann die Kybernetik universellen Anspruch behaupten, zumal sie sich nicht aus anderen Wissenschaften ableitet und eigene Grundlage angibt.
3. Euphorie. Spätestens mit dem vermehrten Einsatz von Digitalrechner und Vergleichen von Selbstregulation mit Selbstbewusstsein hin zur künstlichen Intelligenz, war ein hohes Interesse mit Hang zur „*metaphorischen Überdehnung*“ (Müller) geweckt.
4. Probleme. Eine Reihe von schweren Aufgaben in verschiedensten Gebieten erforderte interdisziplinäre Ansätze mit allgemeiner Sprache über die Fachgrenzen hinweg. (z. B. Reaktoren, Raumfahrt)

1 vgl. Maltz (1970), Müller (1996) S. 133f.

2 vgl. Müller (1996) S. 123, 126, 136

Nichtlinearität in elektrischen Schaltkreisen motivierte Norbert Wiener. Ähnlich wie Bertalanffy mit seinen „*offenen Systemen*“ schuf Wiener eine Klasse nichtlinearer Systeme, zu denen lineare nur als einfachere Spezialfall gehören. Am Beispiel der Astronomie und Meteorologie erklärt er im 1. Kapitel der „Kybernetik“ den Unterschied anhand der Zeit, die in nichtlinearen Systemen nicht umkehrbar sein kann, da die Teile untereinander stark gekoppelt sind. Zustände werden zeitabhängig und Entwicklungen sichtbar, die es notwendig machen, zwischen Vergangenheit und Zukunft zu unterscheiden. Typisch für komplexe Phänomene wie das Leben. Durch die neuen Verfahren der Kybernetik werden nun Techniken und Maschinen entworfen, denen es gelingt, mit Nichtlinearitäten umzugehen, da ihre Handlungen durch Rückkopplung von „Sinnesorganen“ abhängen. Sie handeln in der Zeit wie lebendige Lebewesen, sind aber trotzdem Maschinen. Wiener löst für die Kybernetik damit den Vitalismusstreit, weil er im selbstregulierten Automaten das grundlegenden Stabilitätsprinzip des Lebens sieht, was erfolgreich mechanisch konstruiert werden kann.

Methodisch setzt die Kybernetik auf die black box. „*The box, for whatever reason, cannot be opened*“, schrieb Ashby und skizzierte damit die kybernetische Zurückhaltung gegenüber dem Erkenntnisobjekt, das als potentiell nichtlineares System nicht in Einzelteile zerlegbar und kaum vollständig erforschbar ist. Durch Veränderung der Umgebungsbedingungen kann qualitativ beschrieben werden. Freiheitsgrade und Parametervariationen interessieren ebenso wie Bedingungen für Gleichgewichte oder Schwellenwerte sowie Lernvorgänge. Trotz unsicherer Grundlage, was in der Box tatsächlich geschieht, ohne genaue Gesetze zu formulieren, offeriert die Kybernetik ein formales Prognoseverfahren, was eine Anwendung in komplizierten Umgebungen ermöglicht.¹

Die Botschaft lautet: Kontrolle ist möglich. Das Interesse der Kybernetik liegt bei der Regelung und Handhabung nicht vollständig erfassbarer Systeme, hierfür entwickelt sie Methoden. Analysen über das System selbst, stellt sie wenig an, es soll erstmal nur steuerbar und wenn möglich ausgeglichen werden, damit es in einen verwendbaren Gleichgewichtszustand sich hält.

Für Bertalanffy bietet der „*Maschinenblick*“, die Art des praktischen Technikers, Anlass zur Kritik und er zweifelte daran, ob kybernetische Prinzipien - mit ihrer auf Kontrolle fokussierten, einseitig negativen Rückkopplung - all zu weit übertragen werden sollten.

¹ vgl. Müller (1996) 129f., Hammond (2003) S. 64, 71

Allerdings muss hierzu auf die spätere Kybernetik zweiter Ordnung verwiesen werden, die Wachstum, Selbstorganisation, Autonomie und teilhabende Beobachtung stärker betont.¹

¹ vgl. Ramage (2009) S. 22 (second order cybernetics) und Bertalanffy (1969) S. 149f. 210f. 160-3, vgl. Foerster (1979)

General System Theory

a) Formalisiertes System

Nach seinem Besuch 1937 in Chicago präsentierte Bertalanffy erst wieder 1948 in Alpbach seinen Entwurf zu einer allgemeinen Systemtheorie. Von da an sollte es schnell voran gehen. In Stanford beschlossen 1954 der Ökonom Boulding, der Neurowissenschaftler Gerard, der Mathematiker Rapoport zusammen mit Bertalanffy einen Verein zu gründen, der zwei Jahre später (1956) offiziell als „Society for General Systems Research“ (SGSR)¹ gegründet wurde und eine erste Institutionalisierung der Systemwissenschaft darstellte. Das seitdem erscheinende Jahrbuch „General Systems“ des Vereins beinhaltet viele der Ideen und Diskussionen, die zur Entstehung und Ausformulierung der allgemeinen Systemtheorie beitrugen.

Die neuen Wissenschaften wurden mit der Zeit eigenständiger, nicht mehr nur externe Aufgaben sondern auch interne Fragen kamen auf. Doch ihr theoretischer Status blieb ungewiss, es fehlte an einer gemeinsam ausformulierten Theorie und Reflexion der eigenen Praxis. Auch das „offene System“ Bertalanffys war *irgendwie* allgemein gemeint, doch erstmal nur theoretische Biologie. Das diffuse Selbstverständnis aufzugreifen, die von allen Beteiligten proklamierte Allgemeingültigkeit zu begründen, zu zeigen, dass die verschiedenen Ansätze trotz Unterschiede zusammengehören, eine Vision entwickeln, ja mit Recht ein eigenes Paradigma einfordern, das war wohl die Aufgabe, die die 50er und 60er Jahre mit Arbeit ausfüllte. In diesem Sinne fragte Anatol Rapoport: „*How does one integrate the integrators?*“.

Hall und Fagen lieferten gleich in der ersten Ausgabe des Jahrbuchs 1956 einen Definitionsvorschlag für den zentralen Systembegriff:

„A system is a set of objects together with relationships between the objects and between their attributes.“

(Hall (1956) S. 127)

Eine relationale Beschreibung, die klar sagt, was denn am Ganzen mehr ist als die Summe der Teile, nämlich die Beziehungen zwischen ihnen. Von konkreten Systemteilen wird abgesehen und einem formalen Modell steht nichts mehr im Wege. Der Mathematik -als „Demonstrationsobjekt“ (Müller) der allgemeinen Systemtheorie- kommt die

¹ 1988 umbenannt in: „International Society for the Systems Sciences“ (ISSS)

Aufgabe zu, eine gemeinsame Struktur (Isomorphismus) zu beschreiben, die in vielen Modellen unterschiedlichster Wissensbereiche wiederkehrt, „*a formal correspondance founded in reality inasmuch as it can be considered as constituted of 'systems' of whatever kind.*“¹ Weil sich in unseren *Theorien* über die Welt an vielen Stellen Parallelen finden, -so lautet die Argumentation-, lohnt es sich, diese Parallelen genau zu betrachten, in ihnen selber Muster zu erkennen, aus denen vielleicht allgemeine Ableitungen möglich sind, die somit für alle konkreten, ähnlichen Zusammenhänge ebenfalls gelten müssten. Eine gemeinsame Grundlage der Erkenntnisbereiche wäre das, eine Sprache, die alle Verstehen können, weil sie ausdrückt, was allen Bereichen - bei aller Zersplitterung der Wissenschaften - gemein ist. „*The unity of science*“, die die Ganzheit der Erkenntnis wieder zusammenbringt und Zusammenarbeit, Interdisziplinarität fundiert. (Und nicht zu guter Letzt durch Konzeptübertragung auch Arbeitersparung bietet.)

Hall & Fagen wie auch Bertalanffy schlagen nun für die weitergehende, allgemeine Untersuchung ein Differentialgleichungsmodell vor, das aus n Systemteilen besteht, die den jeweiligen Zustand des Systems vollständig beschreiben:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= f_1(x_1, \dots, x_n) \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ \frac{dx_n}{dt} &= f_n(x_1, \dots, x_n) \end{aligned}$$

Die Veränderung einer beliebigen Systemgröße x_i hängt von den Zuständen aller anderen Systemteile ab, was die Funktion $f_i(x_1, \dots, x_n)$ ausdrückt. Das ist also die formale Repräsentation der „geheimnisvollen“ Ganzheit, der größeren Summe. Mathematisch entmystifiziert.

Für das Fließgleichgewicht, an dem sich alle Systemgrößen insgesamt nicht mehr verändern, muss gelten:

$$\frac{dx_1}{dt} = \dots = \frac{dx_n}{dt} = 0$$

und (x'_1, \dots, x'_n) sind die Lösungen dieser Gleichungen. Diese können nun weiter auf ihre Stabilität hin untersucht werden: Bleibt das System im erreichten Fließgleichgewicht oder verändert es sich kurz darauf wieder? Selbst für diesen allgemeinen Fall, in dem die Funktionen noch nicht weiter spezifiziert wurden, lassen sich formal Kriterien ableiten,

1 Bertalanffy (1969) S. 85

die für Stabilität oder Instabilität gelten müssen. Für detailliertere formale Ausführungen sei auf die Literatur verwiesen¹, wichtig an dieser Stelle nur, das prinzipielle Vorgehen der Analyse eines allgemeinen, mathematischen Modells, aus dem sich bereits Folgerungen tätigen lassen.

„The general aim of Bertalanffy's approach was to determine principles that applied to systems in general, to classify logically different types of systems, and to work out mathematical models for describing them, with the ultimate aim of unifying science.“

(Hammond (2003) S.)

Solche Prinzipien, die die Systemtheorie als allgemeine Systemgesetze unterstellt und untersucht, wären² unter anderen:

1. Wachstum. Viele Systeme wachsen, ihre Teile verändern sich stark. Exponentielles oder logistisches Wachstum wären allgemeine Wachstumsmodelle.
2. Selbstregulation. Die Fähigkeit eines Systems eine Störung auszugleichen und zu einem Gleichgewicht zurückzukehren, um seine Organisiertheit zu bewahren.
3. Finalität. Wenn ein gewisser Gleichgewichtszustand angesteuert wird. Stellt dieser sich unabhängig von den Anfangsbedingungen ein, dann liegt Äquifinalität vor.
4. Konkurrenz. Modelle für die Entwicklung von Systemgrößen, wenn das Wachstum von begrenzten Ressourcen abhängig ist.
5. Mechanisierung. Dynamiken, die zur Reduzierung der Komplexität die starken Wechselwirkungen schwächen und dezentrale Subsysteme ermöglichen, die dann spezialisierte Einzelaufgaben wahrnehmen. (Bsp.: Körperorgane)
6. Ordnung. Aufrechterhaltung der Systemstruktur, möglich durch Fließgleichgewichte, aber auch Instabilitäten (z. B. Grenzyklen).

Bei aller Vorliebe zur mathematischen Modellierung weist Bertalanffy auch an einigen Stellen auf die Notwendigkeit von qualitativen Beschreibungen oder Wortmodellen hin:

„A verbal modell is better than no modell at all, or a modell which because it can be formulated mathematically, is forcibly imposed upon and falsifies reality.“³

1 z. B. Bertalanffy (1969) S. 56ff. oder Jetschke (1989) & Malchow (2008)

2 Vgl. Hammond (2003) S. 119, Bertalanffy (1969) S. 54ff.

3 Bertalanffy (1969) S. 24,47 und Bertalanffy (1940) S. 522

b) Die neue Philosophie der Systeme

- Zentral für die Implikationen, die sich aus dem Systemansatz ergeben, ist die Annahme von strukturellen Ähnlichkeiten in den verschiedenen Wissensbereichen („*Isomorphien*“), die dann durch allgemeine Systemprinzipien beschreibbar werden. Diese Isomorphien ersetzen die oft unklaren Analogien und ermöglichen erst den präzisen Systembegriff, der noch in den Weimarer Anfangszeiten durch unklare Andeutungen belastet war. Im Gegensatz zu der Annahme über die Gleichförmigkeit der Natur, die oft als Voraussetzung der naturwissenschaftlichen Forschung gesehen wird, arbeiten Isomorphien aber noch eine Ebene darüber. Zwischen den Gesetzen, die über gewisse Sachverhalte gebildet wurden, werden Zusammenhänge hergestellt. In den formalen Eigenschaften der Einzeldisziplinen wird nach „*Eigenschaften höherer Stufe*“ (Müller) gesucht. Die Ordnung der Ordnungen - das Ziel der allgemeinen Systemtheorie. Die hochgradig abstrakte Vorgehensweise wird durch die Sprache der Mathematik möglich, doch setzt zugleich voraus, dass ein Erfahrungsgegenstand, der als System gefasst werden soll, diese „*formale Korrespondenz*“ (Bertalanffy) höherer Ordnung aufweist. Die Systemhaftigkeit wird auf die formale Isomorphie festgeschrieben.¹
- Der Systembegriff soll auf Systeme aller Art anwendbar sein. Er wurde daraufhin so allgemein wie möglich formuliert, muss aber spezifische Aussagen machen können, um für konkrete Situationen zu nützen. Existiert darüber hinaus ein System nur als Modell oder finden sich Systeme in der Realität wieder? (Bertalanffy unterscheidet zwischen realen und abstrakten Systemen.)
- Ein System kann sich mitunter auf verschiedene Weisen aufrechterhalten. Ursache-Wirkungs-Beziehungen sind bei starken Wechselwirkungen gar nicht mehr isolierbar. Funktionale Erklärungen beschreiben die Erfordernisse, damit das System weiterbesteht und bewerten einzelne Zusammenhänge nach ihrem Beitrag dazu. Gleichgewichtsanalysen erklären „von oben“. Eine geänderte Vorstellung von Kausalität.
- Das mathematische Modell wird genutzt, um mit ihm Aussagen über die *Struktur* der Realität zu machen. Die mathematische Theorie dient nicht mehr dazu, Ableitungen zur empirischen Überprüfungen zu machen, sondern Muster

¹ vgl. zur Isomorphie: Bertalanffy (1969) S. 80-86, 63, 87 und Müller (1996) S. 201ff.

zuerkennen, also Einsichten in die Wirklichkeit zu liefern. *Die Struktur der Welt scheint mathematisch.*¹

- Die Simulation ermöglicht eine andere Erfahrung. Experimente finden in einer (idealisierten) Wirklichkeit statt, am Computer kann sie nun als konstruiertes Modell strukturell untersucht werden. Die Bedingungen der Möglichkeit der Erfahrung (Kant) ist nun durch die Bedingung der Möglichkeit der Simulation gegeben.²
- Bertalanffy schlägt eine „*perspective philosophy*“ vor, die die Erkenntnis selbst als komplexen Vorgang begreift, in dem biologische, psychologische, kulturelle und linguistische Faktoren wechselwirken. Nicht eine spezielle Erkenntnisart, sondern eine Vielzahl von Sichten. Interdisziplinäres Erkennen ist nötig, um einseitige Verkürzung zu verhindern.³

1 vgl. Sawyer (1982) S. 13 und Müller (1996) S. 225f.

2 vgl. Müller (1996) S. 229-238 und Bertalanffys Sicht dazu bei Hammond (2003) S. 119, 122

3 vgl. Hammond (2003) S. 106 und Bertalanffy (1969) S. 239ff.

Krisen der 70er-Jahre

Die Entwicklungen in den 70er Jahren brachten eine Steuerungskrise mit sich, die vor allem an der administrativen Verwirklichung des Systemansatzes zweifeln ließ.

Nach einer gigantischen Popularitätswelle, die das systemische Denken in alle möglichen Bereiche trug, von Molekularbiologie, Management, Erkenntnistheorie, Zukunftsforschung, Bildungspolitik, soziologischer Organisationsforschung oder auch der Simulation des Wettrüstens und der staatlichen Budgetierung, sind es vor allem gesellschaftliche Gründe, die das Versprechen nach Steuerbarkeit und Planungssicherheit diskreditierten:

1. Vietnam-Krieg
2. Ökonomische Krise
3. Öl-Schock
4. Studentenbewegung
5. Post-Behavioral revolution

Doch darf die Bedeutung des gesellschaftlichen Scheiterns für die allgemeine Systemtheorie nicht unterschätzt werden, schrieben Bertalanffy und Rapoport 1956 im Vorwort der ersten Ausgabe von *General Systems* noch:

„the utility of mathematical models of generalized systems stands or falls with their applicability to social and behavioral sciences.“

Die sozialwissenschaftliche Anwendung war nicht etwa ein nachgelagertes, womöglich übereilt missverstandenes Aufgreifen, sondern von Beginn ein zentrales Anliegen der Systemtheorie.¹

Der Aufschwung der Nachkriegszeit war beendet und eine ökonomische Krise ergriff die Welt, die mit dem Staatsinterventionismus der Neoklassik nicht zu beenden war. Auf die Nähe von allgemeiner Systemtheorie und neoklassischer Synthese, die Keynesianismus mit der allgemeinen Gleichgewichtstheorie verband, sei nur kurz verwiesen, insbesondere auf Paul Samuelson, der sich intensiv mit Gleichgewichtsanalysen und mathematischen Isomorphismen befasste².

Das allgemeine Krisenbewusstsein dehnte sich aus. Enttäuschung wich Kritik, die nicht

1 vgl. Müller (1996) S. 197

2 vgl. Samuelson (1949) z. B. gleich der erste Satz: *„The existence of analogies between central features of various theories implies the existence of a general theory which underlies the particular theories and unifies them with respect to those central features.“* und Müller (1996) S. 227, 311, 209

nur die Planer selbst, sondern ihre Konzepte, ja in letzter Konsequenz die Wissenschaft selber angriff. Rationalitätsskepsis, die technischen und wissenschaftlichen Möglichkeiten einer Lösung der Probleme wurden als ungenügend eingeschätzt, da sie selber Teile des Problems zu sein schienen.

Das große Versprechen auf Steuerung der Gesellschaft brach, die politische Systemplanung zur Regulierung verschiedenster Vorgänge scheiterte. Selbst wenn Bertalanffy und andere Systemtheoretiker¹ auch immer wieder gegen einen alles integrierenden Funktionalismus und gegen Gleichgewichtsdogmen anschrieben, so ist doch von viel größerer Bedeutung, dass die wissenschaftliche Kritik, die in der Krise entstand, *mit* der Systemtheorie und ihrer Begrifflichkeit argumentierte:

1. Komplexität. Die Grenzen der Vorhersage und Kontrolle liegen in der überall komplexen Welt. Ihre Beherrschung und erfolgreiche, externe Regulierung sind oft nicht möglich.
2. Meadows. Erstmals wurde in der Studie „*Limits of Growth*“ 1972 eine systemische Modellierung dazu genutzt, eine negative Zukunft hochzurechnen. Computermodell und Systemanalyse sagen einen Zusammenbruch vorher, wenn Umweltverschmutzung, Ressourcenverbrauch, Industrialisierung und Bevölkerungswachstum weiter zunehmen.
3. Spontane Selbstorganisation. Die Möglichkeit ohne externe Regulierung sich zu entwickeln und zu organisieren ist eine wichtige Systemeigenschaft. Nicht die Kontrolle sondern die Unterstützung der eigenständigen Prozesse ist relevant.

Die Systemtheorie war also selbst in ihrem (administrativen) Scheitern in der Lage, die Krise zu untersuchen und sich mit ihren eigenen Konzepten einen bleibenden Gebrauch zu sichern. Das verdeutlicht, wie sehr nicht etwa nur technische Erfordernisse dem neuen Denken zuarbeiteten, sondern die Ordnung des Wissens selbst, die Episteme, es erforderten und zu einer „*herrschaftlichen Wahrnehmungsfigur*“ der Zeit machten².

Die Systemtheorie ist tot, es lebe die Systemtheorie.

1 Vgl. Bertalanffy (1969) S. 44, 150, 161, Hammond (2003) S. 64, 103, Müller (1996) S. 197

2 Rieger (2003) S. 10, 263 und vgl. für den ganzen Abschnitt Müller (1996) S. 311-7

Neue Systemtheorien (1980er)

a) Autopoiesis und Chaos

Die Verschiebung des Systemvokabulars ausgelöst durch die Krisen der 70er Jahre führte weg von zustandsdeterminierten Systemen, homoöstatischen Gleichgewichtsanalysen und externer Kontrollfokussierung – hin zu Betrachtungen von Instabilitäten, Katastrophen, starken Veränderungen und nicht steuerbarer Selbstorganisation. Ganz im Sinne der Wissenschaftskritik der Zeit waren das Eingeständnisse, die bescheiden in Unvorhersehbarkeiten, Spontanität und Irreversibilität steckten. Prigogine kommentierte die neue Ausrichtung mit „*respect not controll*“.¹

Das biologische Konzept der Autopoiesis ähnelt zunächst der Theorie offener Systeme Bertalanffys (s. o.), in dem es die Einzigartigkeit des Lebens klären möchte. Thermodynamische Gesetze haben ihre Geltung, doch sind nicht ausreichend für das Phänomen des Lebens:

„Vielmehr hängen die Phänomene, die autopoetische Einheiten in ihrem Operieren erzeugen, von der Organisation der Einheit ab und von der Art, wie diese verwirklicht wird, und nicht von den physikalischen Eigenschaften ihrer Bestandteile, welche nur den Raum ihrer Existenz bestimmen.“

(Maturana et al. (1984) S. 60)

Die autopoietischen Systeme sind nun dadurch charakterisiert, dass sie sich andauernd selbst erzeugen. Der Prozess der Selbsterzeugung ist für sie entscheidend, nicht einzelne Eigenschaften wie Fortpflanzung, Sinneswahrnehmung oder Bewegung. Die besondere Organisiertheit solcher Systeme führt dazu, dass sie ihr eigenes Produkt sein können, was Maturana und Varela als die Besonderheit des Lebens angeben.²

Die besondere Form, der Prozess kennzeichnet das Lebendige, was aristotelisch klingt (Formursache). Die Definition ist rekursiv, da das autopoietische System erzeugt, was es voraussetzt, soll aber genau das auch sein, denn in der Rekursion liegt gemäß der Theorie der Unterschied von lebendig und unlebendig. Das Netzwerk aus interagierenden Teilen schafft eben die Struktur, die den Vorgang ermöglicht, reproduziert sich so. (Formalisierte Betrachtungen sind durch rekursive Funktionen,

1 vgl. Müller (1996) S. 325

2 vgl. Maturana et al. (1984) S. 50, 56

Fixpunktbetrachtungen und Eigenwerte möglich.)

Die Aufrechterhaltung der Selbsterzeugung wird zum obersten Gebot. Die durch Evolution entstandene, stabile Organisation, die die Autopoiesis ermöglicht, ist autonom und funktioniert für sich *ohne einen Eingriff*. Stabilität bedeutet Fortsetzung der Autopoiesis. Methodisch bedeutet dies eine *black box*, die nicht analysiert werden kann, durch eine „Initialstruktur“ gegeben ist, klare Grenzen zur Umwelt hat und sich selbst erhält. Keine Gesetze, nur formale Charakterisierungen sind möglich. Die methodische Parallele zur Kybernetik endet aber, da autopoietische Systeme sich der Fremdregulation entziehen, die nur zur Störung des Systems führt. Außerdem schließt die Definition von Autopoiese Viren aber auch Maschinen aus.

Die Theorie autopoietischer Systeme war innerhalb der Systemtheorien eher eine Randströmung, wurde aber insbesondere für die Systemtheorie Luhmanns entscheidend.¹

Die Chaostheorie ist die Wissenschaft von besonderen nichtlinearen Systemen. Lineare Beschreibungen setzen voraus, dass (1) Änderungen an den Anfangsbedingungen proportionale Veränderungen im Systemverhalten nach sich ziehen und (2) von zwei getrennt betrachteten Zuständen auf ihre gemeinsame Wirkung geschlossen werden kann (Superkompositionsprinzip). Mathematisch ausgedrückt heißt das:

$$f(a \cdot x) = a \cdot f(x) \quad (1)$$

$$f(x \cdot y) = f(x) \cdot f(y) \quad (2)$$

Systeme, für die das nicht zutrifft, sind lange bekannt. Bereits im 19. Jahrhundert untersuchte Henri Poincaré das Dreikörperproblem und zeigte, dass hierfür keine elementaren Lösungen existieren. Kipphänomene gibt es seit den 1920er Jahren, bei ihnen können kleine Veränderungen bereits große Wirkungen (ein „Kippen“) hervorrufen. Auch legte Norbert Wiener in seiner Kybernetik viel Wert auf die Beschreibung von Nichtlinearitäten. Jedoch fanden die nichtlinearen Bedenken auch in Kreisen der Systemtheorie lange Zeit wenig Verwendung, da sie wesentlich schwerer zu handhaben sind und für sie keine geschlossene mathematische Theorie existiert, die stets Lösungen und Prognosen erlaubt.²

Wie vor ihr die Katastrophentheorie fokussiert die Chaostheorie in den 70er- und 80er-Jahren genau diese nichtlinearen Systeme. Chaos bezeichnet das Verhalten eines

1 vgl. Müller (1996) S. 326-331 und 351ff. zu Autopoiesis & Luhmann

2 vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Nichtlinearitaet> (20.6.2010) & vgl. Müller (1996) S. 340

mathematischen Systems, das ab einem bestimmten kritischen Wert der Parameter nicht mehr linear beschreibbar ist. Ein solches Verhalten wurde oft ungenauen Beobachtungen oder unvollständigem Wissen zugeschrieben, die Chaostheorie hingegen *produziert* das Chaos anhand bereits einfacher Gleichungen und zeigt wie es *systemintern* zustande

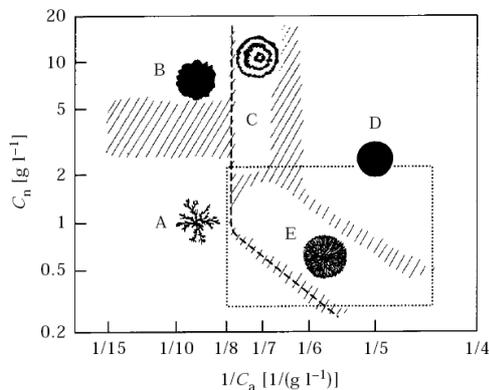


Abb1: Phasendiagramm aus Kawasaki et al. (1997)

kommen kann. Durch eine neue „*experimentelle Mathematik*“ (Mandelbrot), die Lösungen für komplizierte, nichtlineare Gleichungen am Computern nähert, können strukturell instabile Systeme untersucht werden. Die Sensibilität der Parameter und Anfangsbedingungen ist entscheidend für das Systemverhalten, wenn kleine Veränderungen große Auswirkungen haben.

Das Phasendiagramm in Abbildung 3 zeigt die Modellierung der Ausbreitung von Bakterien. Die Konzentration von Nährstoffen (C_n) und die Agar (C_a) führen je nach Ausgangsbedingungen zu völlig verschiedenen Mustern (A-E). Zu sehen ist eine weitere, wichtige Untersuchung der Chaostheorie, nämlich wie aus Chaos wieder Ordnung entsteht.

Als Systemtheorie leistet die Chaostheorie die Untersuchung bisher vernachlässigter nichtlinearer Systeme. Anhand relativ einfacher Gleichung vermag sie zu zeigen, wie systeminterne Instabilitäten auftreten können, die zum Verlust der Ordnungen aber auch zur Reorganisation als „*Bausteine der Ordnungen*“ (Pleitgen) führen.

b) Komplexitätstheorie

Die Theorie komplexer, adaptiver Systeme (CAS) ist eine neuere Systemtheorie, die auch unter den Namen Wissenschaft der Komplexität oder Theorie der Multiagentensysteme firmiert. Ihre Ursprünge¹ lassen sich ausmachen in:

1. Nichtlinearität. Neue mathematische Verfahren für Zufall und Chaos.
2. Computer. Simulation von schwierigen Systemen, die angenähert statt explizit errechnet werden können.
3. Evolution. Reichhaltige Formgebung durch Variation und Selektion.

¹ vgl. Cillers et al. (2007) S.10

4. Modellierung sozialer Systeme. Anwendungsversuche auf soziale und ökonomische Phänomene.

Es ist vor allem die *Entstehung* von Ordnung, der mehr Aufmerksamkeit bei der Betrachtung der Komplexitätstheorie zukommt. Ordnung wird nicht länger als objektive Struktur hingenommen, die einfach da ist und deren gleichgewichtiges Fortdauern interessiert. Vielmehr ist sie selbst Oberflächenerscheinung eines währenden, komplexen Prozesses, der sich (i) selbst organisiert, (ii) seine Autonomie sichert und (iii) fern von Gleichgewichten abläuft. Wichtig trotz aller Neuerungen, die Kontinuität, die sich von der allgemeinen Systemtheorie bis hin zu den komplex, adaptiven Systemen durchzieht:

1. Universalität. Es geht um eine *allgemeine* Theorie der Adaptivität/Komplexität, es gibt Prinzipien, die für alle komplex adaptiven Systeme gelten sollen.
2. Formgebung. Die Untersuchung von entstehender Ordnung erinnert an die Arbeiten Bertalanffy zur Gestalttheorie und Vitalismus.¹
3. Formalisierung. Eine gemeinsame, formale Grundlage soll gefunden werden, die einen methodischen Rahmen für komplexe Systeme bilden soll.
4. Abgrenzung. Als eine neue Wissenschaft will die Komplexitätstheorie erscheinen, die etwas altes, überkommendes ablöst.²

Zunächst zeichnen sich komplex, adaptive Systeme (CAS) durch eine große Anzahl von Teilen aus, die vielfältig interagieren. Doch zusätzlich:

„We will view CAS as systems composed of interacting agents described in terms of rules. These agents adapt by changing their rules as experience accumulates.“

(Holland (1995) S. 10)

In der Definition von John Holland tauchen neue, zentrale Begriffe auf. Die Teile des Systems sind nun *Agenten*, die unbestimmt als black boxes verbleiben, deren Verhalten sich aber sehr wohl durch bestimmte *Regeln* beschreiben lässt. Als Wenn-Dann-Beziehungen schließt das probabilistische Regeln nicht aus. Ein Agent besitzt individuelle Merkmale und verfügt nur über begrenzte Informationen. Sein Verhalten ist daher oft ein stetiges trial & error, das er in einem begrenzten Radius erprobt. Seine Interaktionen beschränken sich auf eine bestimmte Nachbarschaft, die im Zusammenspiel mit den vielen anderen lokalen Verbindungen eine globale Organisation

1 Vgl. Bertalanffy (1928)

2 Cilliers (2007) S: 8-9 & Holland

entstehen lassen, welche als Meta-Agent neue Eigenschaften und eigenes Verhalten als *Emergenz* zeigt.

Neben (i) zufälligem Ausprobieren und (ii) aggregiertem Verhalten (iii) *antizipieren* komplex, adaptive Systeme. Sie besitzen ein internes Modell, das ihnen hilft, eine Einschätzung über ihre Umwelt und über Auswirkungen von bestimmten Handlungen zu gewinnen. Durch das interne Modell, was durch Erfahrung veränderbar sein kann, können zukünftige Vorteile in gegenwärtige Entscheidungen einfließen.¹

Die Komplexitätstheorie verknüpft viele ihrer Konzepte mit evolutorischen Denken. CAS seien „*moving targets*“ (Holland), die in ständigen Anpassungsprozessen sich befänden: Agenten trainieren ihre Fitness mit dem Erfolg zufälliger Handlungen, Regeln und interne Modelle verändern sich und kommen neu dazu, und Adaption als die Fähigkeit des Systems an seine Umwelt sich anzupassen, seine gesamte Struktur an diese auszurichten, wird spätestens dann dauerhaft, wenn die Umwelt selbst auch komplex und adaptiv ist und beide sich daher wechselseitig aufeinander beziehen müssen. Als eine stetige Reaktion auf Veränderungen der angrenzenden Systeme, die wiederum darauf selbst reagieren, leitet die *Koevolution* einen permanenten Wandel ein, der Struktur und Muster ständig wechselt. Ebenso sind optimale Zustände unwahrscheinlich angesichts des gigantischen Möglichkeitsraums von Kombinationen: Ein Genotyp mit 1000 Genen (das entspricht ungefähr der Vielfalt einer Alge), die jeweils nur zwei verschiedene Ausprägungen besitzen, kann bereits in $2^{1000} \approx 10^{30}$ Varianten vorkommen, hier ein Optimum oder Gleichgewicht finden zu wollen, ist nicht sehr vielversprechend. Evolution verspricht Verbesserung statt Vollkommenheit.²

Methodisch rückt die Berechenbarkeit durch Computer in den Vordergrund: Genetische Algorithmen, boolesche Netzwerke und regelbasierte Modellbildung. Computer werden zum *Mikroskop* der neuen Disziplin.³

Parallelen zur postmodernen Philosophie, die eine Abkehr von Determinismus, Materialismus und Objektivität unterstellt, können ebenfalls ausgemacht werden.⁴

Offene Implikationen ergeben sich durch den reichen Gebrauch von evolutorischen Konzepten. „*Der blinde Uhrmacher*“ (Dawkins) kennt keine Zwecke. Fortschritt durch

1 vgl. Holland (1992) S. 19,24-5 & Holland (1995) S. 31-4

2 vgl. Waldrop (1992) S. 208, Cilliers (2007) S: 13, Holland (1992) S. 18

3 Vgl. Holland (1992) S. 21

4 Vgl. Cilliers (2007) S. 5

Fitness klingt dürftig, angesichts von *gemachten* Ordnungen, die durch zufällige Variations- und Selektionsprozesse leicht verkleidet werden. (vgl. Schlusskapitel)

Ein prägendes Bild erhält die Theorie komplex adaptiver Systeme durch Langtons Phrase vom *Rande des Chaos*, wo sie einer schwebenden Insel gleich, zwischen Ordnung und Chaos hin und her schwimmt, weder starr noch durcheinander.

Analogien der Zukunft

a) Wege

Die Systemwissenschaft erfreut sich eines regen Treibens. Ihre praktische Relevanz verbreitet sich durch ökologische Dringlichkeiten, die oft unter dem Begriff der *Nachhaltigkeit* Lösungen verlangen. Es sind die Fragen nach dem Management natürlicher Ressourcen, dem Risiko und den Folgen, die durch eine Vielzahl von durch die Welt strömenden Chemikalien entstehen, Fragen, was wohl geschehen mag im gegenwärtigen Klimawandel, aber auch schon vorher die politischen Umweltdiskussionen, wie die der grünen Bewegungen zur Atomenergie und Baumsterben der 80er und 90er-Jahre und Planungen erster Umweltministerien, wie es in Deutschland 1970 in Bayern entstand.

Zu erwähnen hier ist der Einfluss auf Gebiete wie die ökonomische Theorie, deren Verständnis verändert wird durch positive Rückkopplungen, die Brian Arthur vom Santa Fe Institut in Wirtschaftsprozessen nachzuweisen versucht, um Pfadabhängigkeiten, festgefahrene Entwicklungen und Ineffizienzen in einer Wissenschaft nachzuweisen, die wie kaum eine andere formale Modelle zur Beschreibung menschlichen Verhaltens samt ungeklärter Voraussetzungen annahm und lauter theoretische Welten ersann, die nur optimale Gleichgewichtszustände und ihr Ausbalancieren kennt. Endogene Kräfte können dem Markt noch sein formales Optimum nehmen.¹

Ebenso versucht, was unter dem Namen „*ecological economics*“ auftritt, Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft als ein ganzes System zu betrachten, um so gegenseitig abhängige Themen wie Gerechtigkeit, Naturschutz und Nachhaltigkeit zusammenzudenken. Der Stern-Review, der die Auswirkungen des Klimawandels auf die Weltwirtschaft beschreibt, sie als Kosten zu internalisieren sucht, ist ein weiteres Beispiel für dies relativ junge Gebiet.²

Darüber hinaus proklamiert systemwissenschaftliches Denken eine Veränderung des Managements ganz *allgemein*. Egal ob in Technik, Wirtschaft oder Politik, die zentrale Steuerung komplexer Systeme scheitert, muss einem verteilten, lokalen Ansatz weichen, der die Robustheit und das selbständige Lernen innerhalb des Systems unterstützt.³

1 Vgl. Brian Arthur (1990), die Ungleichgewichtsoekonomik hat aber auch laengere Tradition (bspw. Keynes, Kaldor)

2 Vgl. Malte Faber. (2008) S. 1-7.

3 Vgl. Pahl-Wostl (2004) 197, 204

Interessant ist die partizipative Modellierung, die die Modellbildung als einen *eingreifenden* Ansatz begreift und mit der Beteiligung der betroffenen Menschen ein gemeinsames Systemverständnis ermöglicht, das auf Lernen und auch *Veränderung* zielt. Wandlungsprozesse werden als transitives Management anstoßbar.

In der Systembiologie rückt die Untersuchung von *Prozessen* in den Mittelpunkt der Molekularbiologie. Mit Differenzialgleichungen und Computermodellen werden viele Gene und Proteine zu einem ganz bestimmten Zeitpunkt ihres Ineinandewirkens im Organismus betrachtet. Um die Jahrtausendwende wurde angesichts des riesigen Datenbergs des Humangenomprojekts und den Möglichkeiten zur Messung von Genexpressionen ein methodisch ausgerichteter, viele Faktoren berücksichtigender Systemansatz sinnvoll.

b) Analogiebildung

Etwas hilflos wirkt es mitunter schon, wenn von allgemeinen Systemgesetzen die Rede ist, die uneingeschränkt gelten sollen und die Frage aufkommt, womit sich das wohl begründen ließe? Der allgemeine Systembegriff ist erst mal bar jeder Evidenz, will er im Vornherein, a priori gelten. Lambert erkannte das Dilemma in seiner Systematologie, in dem klar machte, dass der Systembegriff metaphysisch ist, da er *vor* der konkreten Erfahrung aufgestellt, aber trotzdem eine sinnvolle Beschreibung komplizierter Sachverhalte sein kann, wenn er sich nur jedes Mal aufs Neue überprüft und seiner Gültigkeit versichert, was eine erkenntnistheoretisch nicht zu unterschätzende Einsicht darstellt.

Die Analogie verknüpft verschiedene Dinge, in dem sie sagt, das eine sei hier wie das andere. „*From Cells to societies*“¹, - auffällig, wie oft sie bemüht wird, um den Gebrauch allgemeinsten Prinzipien zu rechtfertigen:

„Da gibt es die Horden von Jägern und Sammlern, Gruppen von Individuen, jedes in der Lage, alle Arbeiten in der Gruppe zu verrichten. Jedes von ihnen kann jagen, Nahrungspflanzen sammeln, Kleider anfertigen und so fort. Sie stehen in vielfältiger Wechselbeziehung, spezialisieren sich und dann ... ZACK!... ein Phasenübergang ... und alles verändert sich. Wir haben eine neue Ebene sozialer

1 Vgl. Lewin (2002)

Organisation, ein höheres Komplexitätsniveau.“

(Chris Langton in Lewin (1992) S. 36)

Bei Bertalanffy sind es „*Isomorphismen*“, die analog wirken und Gemeinsamkeiten in den Gesetzen der Wissenschaften kennzeichnen sollen. Entscheidend ist die Frage, ob es sich bei den vielfältigen Analogiebildungen um *a) strukturelle Analogien* handelt, denen eine materielle Ähnlichkeit der konkreten Gegenstände entspricht, oder ob *b) formale Analogien* aufgemacht werden, die *irgendetwas irgendwie* plausibel zu machen versuchen.¹ Es gibt verschiedene Tendenzen innerhalb des Systemansatzes, die die Analogiebildung befördern:

1. Funktionale Beschreibungen. Problemorientiert kann schnell übertragen werden, doch sind ebenfalls die Grenzen einer gegenstandsbezogenen Beschreibung aufgehoben, die ein zu weites Analogisieren unterbanden.
2. Abstraktion. Der Systembegriff ist hoch abstrakt, da er Eigenschaften von formalen Gesetzen untersucht. Abstrahiert er jedoch zu viel, kann Wesentliches ausgelassen werden und eine formale Angleichung passieren, die Analogien ermöglicht, die nur in der Abstraktion formal existieren.
3. Universalität. Ein allgemeiner Systembegriff gilt einfach für alle Systeme und sieht alles als System. Seine tatsächliche Gültigkeit bleibt hingegen ungeklärt.
4. Mathematische Theorie. Ebenso können mathematische Methoden ihren Anwendungsbereich nicht alleine bestimmen. Es bedarf einer erweiterten Anwendungstheorie und -praxis.

Es sei kurz an die Gefahren der Weimarer Ganzheitsmetaphysik erinnert, die Bertalanffy bewusst vorsichtig formulieren ließen. Der Begriff des *Organismus* ist übertragen auf Gesellschaft, wenn er den Vorrang und Erhalt des Ganzen betont und von „kranken“ und „ungesunden“ Elementen redet, schnell totalitär und „*abstrakte Herrschaftsmetaphorik*“ (Müller).² Für eine soziale Modellierung, die mehr als Populationsdynamik sein will, heißt das die Berücksichtigung von Antagonismen und Interessen, die *systematisch* verschleiert werden und Widersprüchen im System selbst, die Folgen für die Methode nach sich ziehen müssen.³

1 Vgl. Müller (1996) S. 85ff.

2 Bspw. aus neuer Zeit: Das Heidelberger Manifest, vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Heidelberger_Manifest (29.8.2010), Müller (1996) S. 62/3

3 Vgl. Adorno (1962) S. 548, 551-2, 555

c) Symptom & Synthesis

Das Systemdenken ist in vielerlei Hinsicht ein deutliches *Symptom* für eine ganze Reihe von Entwicklungen in der Wissenschaftsgeschichte des 20. Jahrhunderts. Es vermittelt Grundlagenkrisen in Physik, Biologie und Technik sowie Verhaltenswissenschaften, generalisiert die Umbrüche in den verschiedenen Bereichen zu einem neuen Ansatz, der erkenntnistheoretische wie praktische Formulierungen erfährt, die mitunter laut und emphatisch mit einer Universalpolemik gegen ein mechanisches Weltbild zu Felde ziehen, provozieren und ein *Neues* verkünden. Reaktionen auf die Problemstellungen einer komplizierten, modernen Welt, verbunden mit naturwissenschaftlichen Heuristiken von Abbildung und Steuerung, aber in bescheidenen Tönen. Jedoch auch ein Wirbel, der durch die Fachgrenzen fegt und über sie hinweg eine neuartige Kultur der Interdisziplinarität aufwirft, die oft auch schon im Aufstellen gemeinsamer Methoden passiert und an den Grenzgebieten der Fächer fruchtbare neue Felder aufzut.

Vielleicht ist mit einer Entlehnung Kants an dieser Stelle möglich, schließlich noch auf ein mir Besonderes hinzuweisen:

„Man wird hier leicht gewahr, daß diese Handlung ursprünglich einig, und für alle Verbindung gleichgeltend sein müsse, und daß die Auflösung, ANALYSIS, die ihr Gegenteil zu sein scheint, sie doch jederzeit voraussetze; denn wo der Verstand vorher nichts verbunden hat, da kann er auch nichts auflösen, weil es nur durch ihn als verbunden der Vorstellungskraft hat gegeben werden können.“

(Kant, (1781) B131)

Es ist diese notwendige Synthesis, die den Anschauungsgegenstand als einen *Ganzen* neben seiner Erforschung und Zergliederung ebenso stehen lässt, wenn sie ihn auch in einer emergentes Phänomen rettet, wo er fortan als etwas Abgeleitetes aber dennoch Eigenes wohnt. In dieser Tätigkeit hallt wohl etwas Rühmendes ganz leise von dem mit, das Rilke einst im Dichter besang:

OH SAGE, DICHTER, was du tust?

- Ich rühme.

*Aber das Tödliche und Ungestüme,
wie hältst du's aus, wie nimmst du's hin?*

- Ich rühme.

*Aber das Namenlose, Anonyme,
wie rufst du's, Dichter, dennoch an?*

- Ich rühme.

*Woher dein Recht, in jeglichem Kostüme,
in jeder Maske wahr zu sein?*

- Ich rühme.

*Und daß das Stille und das Ungestüme
wie Stern und Sturm dich kennen?*

: - weil ich rühme.

Offene Fragen/Zukurzgekommenes

- Ganzheit bei Plato
- Erklärungsüberschuss
 - mechanisches Weltbild – Vertragstheorie
 - AST – Neoklassik
 - neue Systemtheorien – Neoliberalismus
- Konstruktion des mechanischen Weltbildes
 - Epoche nicht einheitlich
 - Pragmatismus (Newton)
 - != Determinismus
- andere Vorgeschichten
 - Sonnensystem/Stabilitätsanalysen
 - Dialektisches Denken
 - Rückkopplung & Regulation
 - Goethe/Schelling/Romantik
 - Prozessphilosophie (Whitehead, Bergson)
 - fernöstliche Philosophie
- Leibniz
 - Dynamik, Monaden?!, Entwicklung, Potential
 - kein dualistisches Denken
- Weimarer Ganzheitsmetaphysik
 - genau wie Einfluss auf Systemwissenschaft
 - totalitäre Gefahr (Volkkörper)
 - Hindenburg als Ganzes (Parlament „nur“ als Summe Einzelwillen)
- Abgrenzung Ganzheit zu Holismus (Drack S. 4)
- Wieso Trennung Bertalanffy I & II ? (eigenständige Relevanz der frühen arbeiten)
- Systemtheorie vorallem Wissenschaftstheorie (vgl. Müller 80) gegen Positivismus
- Verhältnis Sywi und Biosoziologie
- Die kybernetischen Steuerungsprinzipien im 19 Jahrhundert
 - Rueckkopplung
 - Ausschreibesysteme (Kittler)
- Entropie: Assozierung mit Ordnung (nur Analogie!)
- Neuen Wissenschaften sind nach dem Krieg weniger zentralisiert und werden eigenständiger (vgl. Müller S. 182,6)
- Spieltheorie operation research

- Die Hempel/Bertalanffy-Kontroverse (analytische Wissenschaftstheorie und allgemeine Systemtheorie)
- Anwendung der Kybernetik (Steuerungstechnik, (Atom)reaktor, Digitalrechner, Raumfahrt, Prothesen)
- objektive Informationsgehalt/Informationsbegriff
- Nichtlinearität & Teleologie
- feedback => a) kybernetic & b) servomechanics
- Rationalitätskrise
 - 1972 Nixon? Reorganization (Ende Systemtheorie in staatlicher Verwaltung)
 - Die spontane Selbstorganisation korrespondiert wunderbar zum Theorie des (Neo)-Liberalismus, Friedrich von Hayeks Kampf gegen die „Anmaßung von Wissen“, im „Spiel der Katalaxie“, wo sich Märkte frei entwickeln können, sind Spiegelbild.¹
- Chaostheorie ist eine reine mathematische Theorie, wie kann sie praktische werden?
- Neue Systemtheorien
 - dissipative Strukturen
 - Synergetik
- Katastrophentheorie als Vorgängerin der Chaostheorie genauer ausführen.
- 5. Disziplin Lernen in Organisation 1990 (Peter M. Senge)
- Geschichte Mathematik / Computer
 - Funktionsbegriff (Cassirer) in Abgrenzung zum Substanzbegriff (vgl. auch Russell)
 - partielle DGLs, dynamische Systeme
 - Simulation
- Angewendete Systemtheorie
 - Systemanalysis
 - Systemengineering
- Miller, living systems
- Methodenexport: Inwiefern und wodurch wurden systemwissenschaftliche Methoden in andere Wissenschaften übertragen und hatten Vorbildcharakter?
- Kritische Systemtheorie im Hinblick auf soziale Prozesse.
- Eigen: Erklärung der Strukturbildung beim Übergang von unbelebter zur belebter Materie
- Abgrenzung Wiener – Ashby (Ashby ist sehr wenig berücksichtigt)
- Ampere Cybernetique (regulative Regierung 19. Jahrhundert)
- Der Agentenbegriff der Komplexitätstheorie stammt aus der Oekonomie (vgl. Holland (1995) S. 7)
- Geschichte des Santa-Fe-Instituts (Einfluss, Eigenheiten, Repräsentanz)
- Langtons ANT als Beispiel für Komplexitätstheorie (Methodologie: Emergenz, Voraussage, Regelbasierte Modellierung)

¹ vgl. Hayeks Nobelpreisrede 1974 von der „Anmaßung von Wissen“ wiederabgedruckt in Hayek (1996)

Literaturverzeichnis

- Adorno (1962)** Theodor W. Adorno „Zur Logik der Sozialwissenschaften“ in Adorno „Soziologische Schriften I“ Suhrkamp 2003
- Arthur (1990)** Brian Arthur „Positive Rückkopplung in der Wirtschaft“ Spektrum der Wissenschaft, 4-1990 S. 122-9
- Bernal (1957)** J. D. Bernal „Wissenschaft in der Geschichte“ Berlin 1961
- Bertalanffy (1928)** Ludwig von Bertalanffy „Kritische Theorie der Formbildung“ in Abhandlungen zur theoretischen Biologie, hrsg. v. Julius Schaxel, Heft 27, Berlin, Gebrüder Borntraeger 1928
- Bertalanffy (1940)** Ludwig von Bertalanffy „Der Organismus als physikalisches System betrachtet“ in Die Naturwissenschaften 33/1940 S. 521-31
- Bertalanffy (1957)** Ludwig von Bertalanffy „Allgemeine Systemtheorie. Wege zu einer Mathesis universalis“ in Deutsche Universitätszeitung 5/6 (1957) S. 8-12
- Bertalanffy (1969)** Ludwig von Bertalanffy „General System Theory“, Braziller 1973
- Cassirer (1932)** Ernst Cassirer „Die Philosophie der Aufklärung“ Meiner 2007
- Cassirer (1937)** Ernst Cassirer „Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik“, gesammelte Werke Bd. 19, Meiner 2004
- Cilliers et al. (2007)** Francis Heylighen, Paul Cilliers, Carlos Gershenson „Complexity and Philosophy“ in Bogg, J. and R. Geyer „Complexity, Science and Society“ Radcliff 2007
- Daston (2007)** Daston, Lorraine & Galison, Peter „Objektivität“ Suhrkamp 2007
- Foerster (1979)** Heinz Von Foerster „Cybernetics of cybernetics“ in Foerster „Understanding understanding“ Springer 2003
- Malte Faber. (2008)** Malte Faber „How to be an ecological economist“ *Ecological Economics* 66(1):1-7.
- Hall (1956)** Hall & Fagen „Definition of Systems“ in General Systems 1/1956 wiederabgedruckt in Händle & Jensen „Systemtheorie und Systemtechnik“ München 1974
- Hammond (2003)** Debora Hammond „The Science of Synthesis - Exploring the Social Implications of General Systems Theory“ Colorado 2003
- Hayek (1996)** Friedrich August von Hayek „Die Anmassung von Wissen“ Tuebingen 1996
- Holland (1992)** John Holland „Complex Adaptive Systems“ in Daedalus Vol. 121 No. 1 1992 S. 17-30
- Holland (1995)** John Holland „Hidden Order – How Adaptation builds Complexity“ helix books 1996
- Huber (2002)** Renate Huber „Natur-Erkenntnis I - Naturphilosophie von der Antike bis Descartes“ mentis 2002
- Kant (1781)** Immanuel Kant „Kritik der reinen Vernunft“ reclam 1979
- Kant (1793)** Immanuel Kant „Kritik der Urteilskraft“, Werkausgabe X, suhrkamp 1974
- Jetschke (1989)** Gottfried Jetschke „Die Mathematik der Selbstorganisation“ Leipzig 1989
- Kawasaki et al. (1997)** Kawasaki; Mochizuki; Matsushita; Umeda; Shigesada „Modelling Spatio Temporal Patterns Generated by Bacillus subtilis“ in Journal of theoretical Biology Nr. 188 1997, S. 177-185
- Lambert (1782)** Johann Heinrich Lambert, Philosophische Schriften Bd. VII, Hildesheim 1969
- Levin (2002)** Simon A. Levin „Complex Adaptive Systems: Exploring the known, the unknown and the unknowable“ bulletin of the american mathematical society vol 40 2002 nr. 1 S. 3-19
- Lewin (1992)** Roger Lewin „Die Komplexitätstheorie“ knauer 1996
- Leibniz (1677)** Gottfried Wilhelm Leibniz „Schriften zur Logik und zur philosophischen Grundlegung von Mathematik und Naturwissenschaft“, Philosophische Schriften Band 4, Suhrkamp 1996
- Matthies (2006)** Michael Matthies „Einführung in die Systemwissenschaft“ Skript zur Vorlesung WS 2006/7 Uni Osnabrück
- Maturana et al. (1984)** Humberto R. Maturana and Francisco Varela „Der Baum der Erkenntnis - Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens“, Scherz 1987
- Malchow (2008)** Horst Malchow „Gleichungsbasierte Modelle I“ Skript SS 2008 Uni Osnabrück
- Maltz (1970)** Maxwell Maltz „Psycho-Cybernetics & Selffulfillment“ New York 1970
- Müller (1996)** Klaus Müller „Allgemeine Systemtheorie - Geschichte, Methodologie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms“ Westdeutscher Verlag 1996
- Pahl-Wost (2004)** Claudia Pahl-Wostl and Matt Hare „Processes of Social Learning in Integrated Resources Management“ Journal of Community & Applied Social Psychology 14: 2004 S. 193206

- Popper (1962)** Popper „Logik der Sozialwissenschaften“ Kölner Zeitung für Soziologie und Sozial-Psychologie , 14. Jhrg. 1962 S. 233-248
- Poser (2005)** Hans Poser „Leibniz – zur Einführung“ junius 2005
- Prigogine (1995)** Ilya Prigogine „Die Gesetze des Chaos“ campus 1995
- Prigogine et al. (1993)** Ilya Prigogine & Isabelle Stengers „Das Paradox der Zeit“ piper 1993
- Ramage (2009)** Magnus Ramage and Karen Shipp „Systems thinkers“ Springer 2009
- Rieger (2003)** Stefan Rieger „Kybernetische Anthropologie“ Suhrkamp 2003
- Samuelson (1947)** Paul Anthony Samuelson „Foundations of economic analysis“ Harvard 1983
- Sawyer (1982)** W. W. Sawyer „Prelude to Mathematics“ Dover 1982
- Stollberg-Rilinger (2000)** Barbara Stollberg-Rilinger „Europa im Jahrhundert der Aufklärung reclam 2000
- Störig (1950)** Störig „Weltgeschichte der Philosophie“ Bertelsmann 1995
- Vester (1980)** Frederic Vester „Neuland des Denkens: vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter“ Stuttgart 1980
- Waldrop (1992)** Mitchell Waldrop „Inseln im Chaos – Die Erforschung komplexer Systeme“ rowolth 1996
- Wiener (1948)** Norbert Wiener „Kybernetik“ econ 1963
- Wiener (1950)** Norbert Wiener „The Human Uses of Human Beings: Cybernetics and Society“ Boston 1950
- Winkler (2000)** Heinrich August Winkler „Der lange Weg nach Westen I – Deutsche Geschichte 1806-1933“ bpb 2006

Thematisch sortierte Literatur

- **Systembegriff**
 - Ritter, Gründer „Historische Woerterbuch der Philosophie“ Darstadt 1998
 - Begriffstgeschichte
 - philosophischer, biologischer, sozialwissenschaftlicher Systembegriff
- **Aristoteles**
 - Barrow „Die Natur der Natur“ Reinbeck 1995
 - S. 94-108 (*Aristoteles biologischer Ansatz, Hemmung Naturerkenntnis*)
 - Bertalanffy „General System Theory“
 - S. 70, 77-80 (*Finalität, Zweckursache bei Aristoteles und in Systemtheorie*)
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996
 - S. 19-21 (*Ganzheit, Gestalt bei Aristoteles*)
 - Störig „Weltgeschichte der Philosophie“
 - S. 174-187 (*aristotelische Grundkonzepte*)
- **Mechanische Weltbild (Galilei/Newton (analytische Methode))**
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996
 - S. 68-74 (*gute Charakterisierung des mechanischen Verständnisses*)
 - Cassirer „Die Philosophie der Aufklärung“ Meiner 2007
 - Kapitel 1 und 2 (*allgemeine Denkform der Aufklärung und die Naturerkenntnis der Zeit mit vielen historischen Bezügen*)
 - Huber „Natur-Erkenntnis I - Naturphilosophie“ Mentis 2002
 - Kapitel 4, insbes. Zusammenfassung S. 222-6
 - Mason „Geschichte der Naturwissenschaft“ Bassum 1997
 - *Galilei und die Mechanik (Kapitel 14), Newtons Gravitation (Kapitel 17)*
 - Westfall „The construction of modern science - Mechanisms and Mechanics“ Cambridge 1980
 - Rollberg-Stilinger „Europa im Zeitalter der Aufklärung“ reclam 2000
 - Kapitel 7 (*Erfindungen*)
 - Dijksterhuis „Die Mechanisierung des Weltbilds“ Springer 2002
 - Gloy „Die Geschichte des ganzheitlichen Denkens“ Beck 1996
 - *holistisches Denken in Abgrenzung zum anatomisch-mechanischen S. 175-180*
- **Leibniz**
 - Leibniz "Schriften zur Logik und zur philosophischen Grundlegung von Mathematik und Naturwissenschaft" Suhrkamp 1996
 - Kapitel: „Dialog“ und „Anfangsgründe einer allgemeinen Charakteristik“
 - Wiener „Kybernetik“, econ 1963
 - S. 33, 65/6, 85, 158, 191
 - Bertalanffy „General System Theory“
 - S. 63, 87 (*formale Einheit der Natur*)
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“
 - S. 27, 239, 272, 321 (*Ordnungserwartung, formale Natureinheit*)
 - Poser „Leibniz – zur Einführung“ junius 2005
 - *Allgemeines und S. 16, 110 (Universalwissenschaft)*
 - Hochstetter, Greve, Gumin „Herrn von Leibniz' Rechnung mit Null und Eins“ Siemens 1966
 - *Leibniz Bedeutung für Informationstheorie und Digitalrechner*
- **Kant**
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996
 - S. 28-30 (*Erkenntnisssystem, formale Zweckmäßigkeit*)
 - Cassirer „Determinismus und Indeterminismus in der modernen Physik“, gesammelte Werke Bd. 19, Meiner 2004
 - S. 17-35, 72-5 (*Kants kritischer Determinismus, Kausalität*)
 - Störig „Weltgeschichte der Philosophie“
 - S. 387-435 (*allgemeine Einführung*)
 - Kant „Kritik der reinen Vernunft“ reclam 1979

- *Verweise im Sachregister zu System und auch: A832ff, A645ff,*
- Kant „Kritik der reinen Vernunft“ reclam 1979
 - *die erste Einleitung enthält eine umfangreiche Darstellung des philosophischen Systemgedankens*
 - *§§62-8 (Analytik der teleologischen Urteilskraft)*
- **Naturgeschichte allgemein**
 - Barrow „Die Natur der Natur“ Reinbeck 1995
 - Mason „Geschichte der Naturwissenschaft in der Entwicklung ihrer Denkweisen“ 1997
 - Cassirer „Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit“ Meiner 2000
 - Dijksterhuis „Die Mechanisierung des Weltbilds“ Springer 2002
 - Bernal „Wissenschaft in der Geschichte“ Berlin 1967
 - Gloy „Die Geschichte des ganzheitlichen Denkens“ Beck 1996
- **Lambert**
 - Lambert „Systematologie“ in „Philosophische Schriften Bd. VII“, Hildesheim 1969
 - Siegwart „Texte zur Systematologie und zur Theorie der wissenschaftlichen Erkenntnis.“ Meiner 1988
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996
 - Händle, Jensen „Systemtheorie und Systemtechnik“ München 1974
 - *S. 87ff (Wiederabdruck Lamberts Texte als Beispiel früherer Sstemtheorie)*
- **Weimar Quellen**
 - Winkler „Deutsche Geschichte - Der lange Weg nach Westen“ beck 2000
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996 (S. 37ff.)
- **Bertalanffy**
 - Magnus Ramage and Karen Shipp „Systems thinkers“ Springer 2009
 - *57-61 (kurze Einführung)*
 - Bertalanffy „Der Organismus als physikalisches System betrachtet“ in Die Naturwissenschaften 33/1940 S. 521-31
 - *Artikel führt in „Theorie offener Systeme“, Fließgleichgewicht und Äquifinalität ein, stellt auch mathematische Modellierung jeweils vor*
 - Drack „Bertalanffy's early system approach“
 - *Artikel zu frühen Arbeiten Bertalanffys*
 - Bertalanffy „Kritische Theorie der Formbildung“
 - *Ganheit & Gestalt*
 - Hamond „The Science of Synthesis“ (2003) Colorado
 - *Mischung aus Biographie und Entwicklung Systemtheorie S. 103-141*
 - David Pouvreau „The Dialectical Tragedy of the Concept of Wholeness: Ludwig von Bertalanffy's Biography Revisited“ ISCE Publishing 2009
 - *aktuelle Biographie, die den Nachlassfund von 2004 berücksichtigt*
 - Davidson „Uncommon sense - The Life and Thought of Ludwig Von Bertalanffy“, Tarcher 1983
- **Geschichte Biologie**
 - Coleman, W. „Biology in the Nineteenth Century - Problems of Form, Function and Transformation“ Cambridge, 1978
 - Lenoir, T. „The strategy of life - teleology and mechanics in nineteenth century German biology“ Reidel, 1982
 - Krohs, U. & Toepfer, G. (Hrsg.) „Philosophie der Biologie“ Suhrkamp, 2006
- **Geschichte Rückkopplung**
 - Otto Mayr „the origins if feedback control“ cambridge 1970
 - Richardson „Feedback Thought in Social Science and System Theory“, Philadelphia 1991
 - Hammond „Science of Synthesis“ Colorado 2003 (S. 68ff)
 - Rieger „Kybernetische Anthropologie“ Suhrkamp 2003
 - *Rückkopplung: Die herrschaftliche Wahrnehmungsfigur der kybernetischen Epoche (S. 263ff)*
 - *Bezug zur Oekonomie (Adam Smith und David Hume, Ausgleich durch Markt als*

unsichtbare Hand)

- **Außeruniversitäre Großforschung, neue Wissenschaften und der Krieg**
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996 (S. 94ff)
 - Hamond „Science of Synthesis“ Colorado 2003 (S. 49ff)
 - Bluma „Norbert Wiener und die Entstehung der Kybernetik im Zweiten Weltkrieg“ Lit-Verlag 2005
 - Pilcher „Im Schatten der Kybernetik. Rückkopplung im operativen Einsatz: operational research“ in Hagner/Hörl „Transformation des Humen“ Suhrkamp 2008
 - *Kybernetik, Krieg und Entwicklung des operational research*
- **Kybernetik**
 - Bluma „Norbert Wiener und die Entstehung der Kybernetik im Zweiten Weltkrieg“ Lit-Verlag 2005
 - *Kybernetik als „Pathologie der Moderne“*
 - Aumann „Mode und Methode - Die Kybernetik in der Bundesrepublik Deutschland“ Wallstein 2009
 - *Entwicklung der Kybernetik in Deutschland*
 - Tiqqun „Kybernetik und Revolte“ diaphanes 2007
 - Kybernetik, Kontrolle und Kapitalismus
 - Klaus „Wörterbuch der Kybernetik“ Berlin 1967
 - Vielfalt kybernetischer Querverweise und weitgehende Übertragung (auch auf Gesellschaft, Sozialismus und dialektische Methode)
 - Kybernetik in DDR und Sowjetunion
 - Wiener „Mensch Menschmaschine“
 - Ashby „Design for a brain“ 1952
 - Grundlegend neben Wiener, stärkere Fokus auf Kontrolle & black box-Konzeption
 - Frank „Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften“ 1970 Umschau
 - Interdisziplinarität
- **Anwendung in Technik & Wirtschaft**
 - Pollock „Automation : Materialien zur Beurteilung der ökonomischen und sozialen Folgen“ Frankfurt 1964
 - Ropohl „Technologische Aufklärung“ Suhrkamp 1991
- **Chaostheorie**
 - Pleitgen, Jurgens, Saupe „Chaos & Fractals“ Springer 2004
 - Prigogine „Die Gesetze des Chaos“ Campus 1995
- **Komplexitätstheorie**
 - Holland (1995) John Holland „Hidden Order – How Adaption builds Complexity“ helix books 1996
 - Cilliers „Complexity and Postmodernism“ Routledge 1998
 - Mitchell „Complexity: A Guided Tour“ Oxford 2009
 - Peak Frame „Komplexität - das gezähmte Chaos“ Birkhaeuser 1995
 - Kauffman „The origins of order“ Oxford 1993
- **Selbstorganisation**
 - Paslack/Knost „Zur Geschichte der Selbstorganisationsforschung - Ideengeschichtliche Einführung und Bibliographie (1940-1990)“ Kleine 1990
- **Selbstorganisation & Märkte**
 - Hayek „Recht, Gesetzgebung und Freiheit“ Mohr Siebeck 2007
 - Die Selbstorganisation des Kapitalismus (Teil I: Regeln und Ordnung)
 - Miller „Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity.“ Rezension in Reason Dezember 1996
 - Verbindung Holland & Hayek
- **Autopoiese**
 - Maturana, Varela „Der Baum der Erkenntnis“ Scherz 1987
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996 (S. 324ff)
- **Evolution & Erkenntnis, Biologie**
 - Poser „Wissenschaftstheorie“ reclam 2001

- Evolution als Bedeutungsschema S. 256ff.
- Mahner, Bunge „Philosophische Grundlagen der Biologie“ Springer 2000
- Krohs, U. & Toepfer, G. „Philosophie der Biologie“ Suhrkamp 2006
- **Analogie & Mythenbildung**
 - Müller „Allgemeine Systemtheorie“ 1996 (S. 62, 85ff., 322, 117)
 - Oppenheimer „Analogy in science.“ American Psychologist 11/1956 S. 127--135
 - Plessner „Die Stunde der autoritaeren Biologie“ in Plessner „Die verspaetete Nation“ suhrkamp 2001
- **Philosophie & Systemwissenschaft**
 - Frank „Kybernetik und Philosophie“ 1966
 - Laszlo „The systems view of the world - a holistic vision for our time“ Hamphton 2002
 - Cilliers „Complexity and Postmodernism“ routledge 1998
 - Hooker „Philosophy and Foundations of Complex Dynamical Systems“ 2010, Elsevier
- **Aufsatzsammelbaende**
 - Emery „Systems Thinking“ penguin 1969
 - Haendle/Jensen „Systemtheorie ybd Systemtechnik“ Muenchen 1974
 - Davies „The Re-Emergence of Emergence“ Oxford 2006
 - Wägenbaur „Blinde Emergenz? Interdisziplinäre Beiträge zu Fragen kultureller Evolution“ Synchron 2000
 - Baecker „Schluesselwerke der Systemtheorie“ VS-Verlag 2005
 - Hörl „Transformation des Humanen – Kulturgeschichte der Kybernetik“ Suhrkamp 2008
- **Ausblick**
 - Drack, Apfalter „Is Paul Weiss' and Ludwig von Bertalanffy's System Thinking still valid today?“ Systems Research and Behavioral Science 24/2007 S. 537-546
 - Derek Cabrera and Laura Colosi and Claire Lobdell „Systems thinking.“ Eval Program Plann 31/2008 S. 299-310

Beiträge des Instituts für Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück

1. Eberhard Umbach: Umweltverträgliches Wirtschaftssystem in den Bereichen Abfall und Emissionen. März 1997.
2. Stefan Trapp, Bernhard Reiter, Michael Matthies: Überprüfung und Fortentwicklung der Bodenwerte für den Boden-Pflanze-Pfad - Teilprojekt Transferfaktoren Boden-Pflanze. August 1997.
3. Michael Matthies (Hrsg.): Stoffstromanalyse und Bewertung. September 1997.
4. Dirk Melcher: Quantifizierung, Klassifizierung und Modellierung der Phytotoxizität organischer Chemikalien. Oktober 1997.
5. Stefan Schwartz: Organische Schadstoffe in der Nahrungskette - Vorstudie zur Validierung von Expositionsmodellen. November 1997.
6. Volker Berding: Private Hausbrunnen - Vergleichende Bewertung von Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserqualität. Oktober 1997.
7. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften I. Januar 1998.
8. Birgit Radtke: Bifurkationen in einem Modell mariner Planktodynamik. Januar 1998.
9. Werner Berens: Konzeption eines Umweltinformationssystems für die Universität Osnabrück. Juni 1998.
10. Michael Matthies (Hrsg.): Studienprojekte 1998. September 1998.
11. Michael Matthies (Hrsg.): Globaler Wandel. September 1998.
12. Klaus Brauer (Hrsg.): Institutsbericht. September 1998.
13. Klaus Brauer, Horst Malchow, Michael Matthies, Eberhard Umbach (Hrsg.): Materialien des Arbeitstreffens Systemwissenschaft in der Lehre, Universität Osnabrück, 29./30.9.1998. Dezember 1998.
14. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften II. Dezember 1998.
15. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften III. August 1999.
16. Michael Matthies (Hrsg.): Regionale Nachhaltigkeit. September 2000.
17. Markus Klein: Langjähriger Wasserhaushalt von Gras- und Waldbeständen. Entwicklung, Kalibrierung und Anwendung des Modells LYFE am Groß-Lysimeter St. Arnold. Juni 2000.
18. Markus Brune: Multimediale Umweltmodellierung mit Fuzzy-Mengen. Juli 2000.
19. Michael Matthies (Hrsg.): Fraktale in Hydrologie und Biologie. Oktober 2000.
20. Stefan Fuest (Dissertation): Regionale Grundwassergefährdung durch Nitrat. Dezember 2000.
21. Carsten Schulze (Dissertation): Modelling and evaluating the aquatic fate of detergents. Januar 2001.

Die Beiträge können gegen einen Selbstkostenpreis (ca. 10 EUR pro Exemplar) beim Institut für Umweltsystemforschung, Universität Osnabrück, 49069 Osnabrück bestellt werden. Alle folgenden Beiträge sind herunter zu laden unter <http://www.usf.uos.de/usf/beitraege/>.

22. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften IV. Januar 2001.
23. Horst Malchow (Hrsg.): Modellbildung und -anwendung in den Wissenschaften V. August 2001.
24. Kai Leßmann (Diplomarbeit): Probabilistic Exposure Assessment. Parameter Uncertainties and their Effects on Model Output. November 2002.

25. Frank M. Hilker (Diplomarbeit): Parametrisierung von Metapopulationsmodellen. März 2003.
26. Nadja Rüger (Diplomarbeit): Habitat suitability for *Populus euphratica* in the Northern Amudarya delta - a fuzzy approach. Juni 2003.
27. Claudia Pahl-Wostl, Eva Ebenhöf (Hrsg.): Komplexe Adaptive Systeme. Juli 2003.
28. Horst Malchow (Hrsg.): Chaos und Ordnung in Natur und Gesellschaft. Dezember 2004.
29. Andreas Focks (Diplomarbeit): Modeling the transfer of antibiotic drug resistance genes between *E. coli* strains. Juni 2005.
30. Christiane Zarfl (Diplomarbeit): Modellierung von Arsen in der Mulde. Juni 2005.
31. Sven Lautenbach (Dissertation): Modellintegration zur Entscheidungsunterstützung für die Gewässergütebewirtschaftung im Einzugsgebiet der Elbe. November 2005.
32. Frank M. Hilker and Frank H. Westerhoff: Control of chaotic population dynamics: Ecological and economic considerations. November 2005.
33. Harold Fellermann (Diplomarbeit): Micelles as containers for protocells. Dezember 2005.
34. Jens Newig, Oliver Fritsch (Hrsg.): Effektivität von Beteiligungsprozessen. Mai 2006.
35. Ba Kien Tran (Diplomarbeit): Modellierung biologischer Invasionen mit Reaktions-Diffusionsgleichungen. Juli 2006.
36. Ivo Siekmann (Diplomarbeit): Agentenbasierte Modellierung von Persönlichkeitsunterschieden auf der Grundlage der PSI-Theorie. Juli 2006.
37. Tobias Ceglarek (Diplomarbeit): Irreguläre Oszillationen in drei- und vierkomponentigen populationsdynamischen Modellen. September 2006.
38. Horst Malchow (Hrsg.): Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Dezember 2006.
39. Jens Newig, Veronika Gaube, Karin Berkhoff, Kai Kaldrack, Britta Kastens, Juliana Lutz, Bianca Schlussmeier, Heidelinde Adensam, Helmut Haberl, Claudia Pahl-Wostl, Armand Colard, Bettina Aigner, Rudolf Maier, Wolfgang Punz: Partizipative Modellbildung, Akteurs- und Ökosystemanalyse in Agrarintensivgebieten. Juli 2007.
40. Bert Wecker, Bakhtiyor Karimov, Bakhtiyar Kamilov, Uwe Waller, Michael Matthies, Helmut Lieth: Sustainable Aquaculture in Recirculating Systems – Feasibility Study for the Catchment Area of the Aral Sea. März 2007.
41. Michael Matthies (Hrsg.): Klimawandel. Oktober 2007.
42. Nina Hüffmeyer (Diplomarbeit): Modellierung von Zink in der Ruhr – Emissionspfade und Belastungsanalyse. August 2006.
43. Jutta Wissing (Diplomarbeit): Georeferenzierte hydromorphologische Charakterisierung von Flussgebieten. November 2006.
44. Jan Priegnitz (Diplomarbeit): Analyse von Koffein als Abwassermarker in Fließgewässern. April 2007.
45. Johannes Witt (Diplomarbeit): Pharmacokinetics of sulfadiazine in pigs. Mai 2006.
46. Wibke Avenhaus (Diplomarbeit): Implementation von GREAT-ER mit ArcGIS und ArcHydro. August 2007.
47. Horst Malchow (Hrsg.): Komplexe Systeme und nichtlineare Dynamik in Natur und Gesellschaft. Juli 2008.
48. Christian Ehling (Diplomarbeit): Abschätzung des Bioakkumulationspotentials organischer Verbindungen in der menschlichen Nahrungskette. August 2008.
49. Michael Matthies (Hrsg.): Neue Problemstoffe (Emerging Pollutants). Oktober 2008
50. Christiane Zarfl: Chemical Fate of Sulfadiazine in Soil: Mechanisms and Modelling Approaches. November 2008.
51. Timm Heitmeyer: Untersuchung des Einflusses ausgewählter Wetterprozesse auf den Ferntransport und die Persistenz von Chemikalien mit dem Modell ELPOS. Juli 2008.

52. Irina Prinz-Tran (Diplomarbeit): Bodenwasserhaushalt unter Gras und Wald - Numerische Simulation der Wasserbewegung im Großlysimeter St. Arnold mittels Bromidtracer. Mai 2010.