netWORKS

netWORKS - Papers

Heft 9: Sozial-ökologische Regulationen

Diana Hummel
Thomas Kluge

Impressum

Autor/innen

Diana Hummel
Thomas Kluge
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)

Herausgeber

Forschungsverbund netWORKS
www.networks-group.de

Diese Veröffentlichung basiert auf Forschungsarbeiten im Verbundvorhaben „Sozial-ökologische Regulation netzgebundener Infrastruktursysteme am Beispiel Wasser“, das im Rahmen des Förderschwerpunkts „Sozial-ökologische Forschung“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert wird. Sie ist gleichzeitig als Nr. 3 in der Reihe „demons working papers“, ISSN 1612-8230, erschienen.

Verlag und Vertrieb

Deutsches Institut für Urbanistik
Straße des 17. Juni 110
10623 Berlin

Telefon: (030) 39 001-0
Telefax: (030) 39 001-100
E-Mail: difu@difu.de
Internet: http://www.difu.de

Alle Rechte vorbehalten

Berlin, Dezember 2004

Gedruckt auf chlorfreiem Recyclingpapier.

ISBN 3-88118-377-9

Der Forschungsverbund netWORKS wird von folgenden Forschungseinrichtungen getragen:

Deutsches Institut für Urbanistik (Difu)
Jens Libbe (Koordination)
Straße des 17. Juni 112
10623 Berlin
Telefon 030/39001-115
E-Mail: libbe@difu.de

Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE)
PD Dr. Thomas Kluge (Koordination)
Hamburger Allee 45
60486 Frankfurt
Telefon 069/7076919-18
E-Mail: kluge@isoe.de

Leibniz-Institut für Regionalentwicklung und Strukturplanung (IRS)
Dr. Timothy Moss
Flakenstrasse 28-31
15537 Erkner
Telefon 03362/793-185
E-Mail: mosst@irs-net.de

Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung GmbH (ARSU)
Apl. Prof. Dr. Ulrich Scheele
Escherweg 1
26121 Oldenburg
Telefon 0441/97174-97
E-Mail: scheele@arsu.de

Brandenburgische technische Universität Cottbus (BTU)
Institut für Städtebau und Landschaftsplanung
Lehrstuhl für Stadttechnik
Prof. Dr. Matthias Koziol
Postfach 10 13 44
03013 Cottbus
Telefon 0355/693627
E-Mail: koziol@tu-cottbus.de

Inhalt

Einleitung 4

1 Sozial-ökologische Regulationsprobleme 5

2 Begriffsgebrauch – Kybernetik oder Konfusion? 10

3 Regulationsvorstellungen in den Sozialwissenschaften 13

3.1 Akteurszentrierter Institutionalismus 14
3.2 Postfordistische Regulation 16
3.3 Ökonomische Regulation 18

4 Kybernetische Regulationen 19

4.1 Ursprünge 20
4.2 Begriffliche und analytische Mittel 21
4.3 Information und zirkuläre Kausalität 22
4.4 Regelkreise 27
4.5 Regelkreise und Teufelskreise 29
4.6 Regelung von Regelungen in vermaschten kybernetischen Systemen ... 33
4.7 Regelung und Steuerung 34

5 Regulationen in komplexen Systemen 40

6 Sozial-ökologische Regulationen 41

7 Schlussfolgerungen 45

8 Literatur 47

Anhang 51

Einleitung

In der sozial-ökologischen Forschung herrscht kein Mangel an Begriffsangeboten aus den unterschiedlichsten fachlichen Kontexten, woraus mancherlei Konfusionen und ein großer Bedarf an begrifflicher Klärung entsteht. Einzelwissenschaftlich relativ klare Begriffe variieren in unterschiedlichen fachlichen Kontexten in einem breiten Bedeutungsspektrum, obwohl sie oftmals den gleichen Namen tragen. Der Begriff der *Regulation* macht da keine Ausnahme. Wie unterscheidet er sich von seinen engen Verwandten Regulierung, Regelung, Steuerung, Kontrolle, Regime und Governance? Sie werden alle gebraucht, doch zu fachübergreifenden sozial-ökologischen Begriffen werden sie nur, wenn sie umgearbeitet und in ein neues Begriffsnetz eingebunden werden. Das ist mehr als die Suche nach der Schnittmenge unterschiedlicher fachlicher Bedeutungen.

Das vorliegende Papier ist im Kontext drei verschiedener Projekte entstanden, in welchen an und mit dem Begriff *sozial-ökologische Regulation* gearbeitet wird: Im Projekt *Kognitive Integration*, das insbesondere der institutionellen Festigung und kognitiven Entwicklung des ISOE dient, ist der Begriff für die programmatische Arbeit und theoretische Integration bedeutsam. Eine zentrale Rolle spielt der Begriff im Verbundprojekt *netWORKS* und in der Nachwuchsforschungsgruppe *demons*. Die beiden letzteren Projekte beschäftigen sich mit unterschiedlichen Aspekten von Versorgungssystemen: Bei *netWORKS* geht es um die sozial-ökologische Regulation netzgebundener Infrastruktursysteme am Beispiel Wasser; bei *demons* werden die Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen demographischen Entwicklungen, Bedürfnissen und Versorgungssystemen für Wasser und Ernährung unter der Perspektive gelingender oder misslingender sozial-ökologischer Regulationen untersucht. In beiden Projekten sollen die Regulationen sowohl naturale als auch gesellschaftliche Aspekte umfassen. Für die praktische Projektarbeit wird deshalb ein *integrativer Regulationsbegriff* benötigt, mit dem beide Aspekte angemessen erfasst werden können. Er sollte zudem sowohl an die naturwissenschaftlich-technischen als auch an die sozialwissenschaftlich-politischen Regulationsvorstellungen anschlussfähig sein[1].

1 Wir möchten Egon Becker dafür danken, dass er uns nicht nur bei Problemstellungen beraten hat, sondern auch für seine konstruktive Kritik, Literaturhinweise und insbesondere für die Zeit, die er sich dafür genommen hat.

1 Sozial-ökologische Regulationsprobleme

Die sozial-ökologische Forschung behandelt eine besondere Klasse problematischer Sachverhalte[2]. Sie finden sich in so unterschiedlichen Bereichen wie Ernährung und Gesundheit, Landwirtschaft und Regionalplanung, Bevölkerungsentwicklung und Versorgung, Bauen und Wohnen, Mobilität und Verkehr. Die Besonderheit *sozial-ökologischer Sachverhalte* besteht darin, dass in ihnen ‚Gesellschaftliches' mit ‚Natürlichem' eng verflochten ist. Anders gesagt: Es handelt sich um dynamische Beziehungsmuster zwischen etwas (Elemente, Strukturen oder Prozesse), das wir ‚gesellschaftlich' nennen, mit etwas anderem, das als ‚natürlich' gilt. Um was es sich bei dem ‚Gesellschaftlichen' und dem ‚Natürlichen' jeweils handelt und von welcher Art die Verflechtungen zwischen ihnen sind, muss in den einzelnen Bereichen material bestimmt werden. Auf einen allgemeinen und allgemein anerkannten Begriff von Gesellschaft oder von Natur kann dabei leider nicht zurückgegriffen werden; diese Allgemeinbegriffe sind historisch variabel, kultur- und kontextabhängig, und sie gehen aus Unterscheidungspraktiken hervor, die oftmals mit machtförmigen Trennungen und Ausgrenzungen verbunden sind. Jede begriffliche Unterscheidung zwischen Gesellschaft und Natur ist zudem theorie- und methodenabhängig. Schon deshalb sind in der sozial-ökologische Forschung sämtliche Aussagen, in denen ‚Gesellschaftliches' und ‚Natürliches' syntaktisch oder semantisch miteinander verknüpft sind, auf ihre Abhängigkeit vom jeweiligen theoretischen und methodischen Kontext und von den konstitutiven gesellschaftlichen Unterscheidungspraktiken zu untersuchen.

Mit dem Konzept der *gesellschaftlichen Naturverhältnisse* wird versucht, sozial-ökologische Sachverhalte begrifflich so zu fassen, dass sie in unterschiedlichen theoretischen und methodischen Kontexten darstellbar werden. Das Konzept garantiert also einen Pluralismus wissenschaftlicher Zugänge. Zugleich wird darüber eine Möglichkeit eröffnet, für einzelne Bereiche (z.B. für verschiedene Versorgungssysteme) die sozial-ökologischen Sachverhalte so zu konkretisieren, dass bestimmte Forschungsgegenstände mit genügender Trennschärfe von anderen abgegrenzt werden können. In dem Konzept werden die dynamischen Beziehungsmuster zwischen dem ‚Gesellschaftlichen' und dem ‚Natürlichen' als *reguliert* und als *gestaltbar* konzipiert. Diese Perspektive kennzeichnet auch die Idee einer *nachhaltigen Entwicklung:* Die Mannigfaltigkeit möglicher gesellschaftlicher Entwicklungspfade wird normativ auf einen bestimmten Korridor eingegrenzt, der als ‚nachhaltig' ausgezeichnet wird; zu den Bedingungen nachhaltiger Entwicklung gehört es auch, die Reproduktion und Evolution natürlicher Zusammenhänge zu sichern. Bei den engen und materialintensiven Verflechtungen in einzelnen Bereichen ist dies nur durch aktiv gestaltendes gesellschaftliches Handeln möglich. Im Nachhaltigkeitsdiskurs wird versucht, allgemeine Prinzipien und Kriterien zu bestimmen, bereichsspezifisch zu

2 Den Terminus ‚Sachverhalt' ist bewusst gewählt, obwohl er in der Alltagssprache nicht klar von der ‚Tatsache' unterschieden wird; die daraus entstehenden terminologischen Verwirrungen lassen sich aber nutzen, um das Besondere sozial-ökologischer Sachverhalte zu klären. Ludwig Wittgenstein schreibt im ‚Tractatus logico-philosphicus' zum Sachverhalt: „Was der Fall ist, die Tatsache, ist das Bestehen von Sachverhalten. Der Sachverhalt ist eine Verbindung von Gegenständen (Sachen, Dingen). Es ist dem Ding wesentlich, der Bestandteil eines Sachverhaltes sein zu können. In der Logik ist nichts zufällig: Wenn das Ding im Sachverhalt vorkommen *kann*, so muß die Möglichkeit des Sachverhalts im Ding bereits präjudiziert sein" (Wittgenstein 1989: 9).

konkretisieren und ihnen gesellschaftliche Anerkennung zu verschaffen. Sie können in der sozial-ökologischen Forschung nicht unbesehen übernommen werden. ‚Nachhaltigkeit' fungiert hier trotzdem als diskursiv zu bestimmender allgemeiner normativer Bezugspunkt. Konzipiert man sozial-ökologische Sachverhalte als reguliert und nachhaltig gestaltbar, dann engt man das Spektrum möglicher theoretischer und methodischer Optionen stark ein, reduziert also den Pluralismus wissenschaftlicher Zugänge. Jede derartige Einengung wäre aber willkürlich, würden die mit dem Nachhaltigkeitskonzept verknüpften normativen Vorstellungen nicht diskursiv begründet und offen gelegt. Dazu gehörte es aber auch, die Begriffe *Regulation* und *Gestaltung* auf eine fachübergreifend nachvollziehbare Art und Weise zu klären und zu explizieren[3].

Für die wissenschaftliche Orientierung der sozial-ökologischen Forschung hat dies weit reichende Konsequenzen:

Es müssen *Beziehungsmuster* untersucht werden – und nicht isolierbare Dinge oder einzelne Phänomene;
Es handelt sich um *hybride* Beziehungsmuster, die immer sowohl in einer gesellschaftlichen als auch in einer natürlichen Dimension ausgeprägt sind;
die *Regulation* dieser Beziehungsmuster ist für die Reproduktions- und Entwicklungsfähigkeit der Gesellschaft und ihrer natürlichen Lebensgrundlagen entscheidend (Becker et al. 2000: 17).

Die gestaltungsorientierte sozial-ökologische Forschung konzentriert sich auf Sachverhalte, die bereits problematisch geworden sind – oder unter bestimmten Bedingungen voraussichtlich problematisch werden können. *Problematisch* werden sozial-ökologische Sachverhalte, ganz allgemein gesagt, wenn die dynamisch regulierten Beziehungsmuster sich so verändern, dass entweder ‚natürliche' Zusammenhänge (beispielsweise Landschaften oder Ökosysteme) nachhaltig gestört werden, oder aber die ‚gesellschaftliche' Reproduktion und Entwicklungsfähigkeit gefährdet werden. Was dabei als ‚gestört' oder als ‚gefährdet' angesehen wird, hängt von gesellschaftlichen Beurteilungen und Bewertungen ab, ist also normativ geprägt. Analytisch lässt sich lediglich fragen, ob Bestandsbedingungen verletzt werden: ob die Ernährung einer wachsenden Bevölkerung nicht mehr garantiert werden kann, ob die Wasserversorgung nicht mehr angemessen funktioniert, ob Verkehrssysteme zusammenbrechen etc. Doch auch diese Fragen lassen sich nur beantworten, wenn auf bereichsspezifische Maßstäbe zurückgegriffen werden kann.

3 Zu einer solchen begrifflichen Klärung gehört es, die Bedeutung verschiedener Termini, die im Alltag im gleichen Bedeutungsfeld liegen, zunächst deutlich zu unterscheiden und dann deren Gebrauch so weit wie möglich zu normieren. Dadurch wird die begriffliche Klarheit erhöht, es lassen sich aber auch Verständigungsprozesse innerhalb einzelner Forschungsgruppen und zwischen verschiedenen Gruppen in einem Forschungsfeld abkürzen. Das explikatorische Minimum besteht darin, dass einzelne Forschungsgruppen ihren jeweiligen *Begriffsgebrauch* nachvollziehbar erläutern. Termini wie Regelung, Regulation oder Regulierung (und die damit semantisch eng verbundenen Termini Steuerung und Kontrolle) werden zudem in unterschiedlichen wissenschaftlichen Diskursen unterschiedlich gebraucht. Dies macht fachübergreifende Begriffsbestimmungen in der sozial-ökologischen Forschung unabdingbar. Dazu gehört dann nicht nur, die Beziehungen der explizierten Begriffe zu den damit begriffenen Sachverhalten auszuweisen (Referentialität), sondern auch deren Beziehung zu anderen Begriffen im Forschungsfeld (Inferentialität).

In der sozial-ökologischen Forschung wird versucht, auch diese Maßstäbe im Diskurs über Nachhaltigkeit zu gewinnen und gesellschaftlich zu verankern.

Durch den Bezug der Forschung auf einerseits problematische Sachverhalte (Problemorientierung) und andererseits auf gesellschaftlich mögliche Lösungen (Gestaltungsorientierung) verschränken sich ökonomische, technische, politische, sozio-kulturelle Probleme und sektorale Lösungsmuster mit bio- oder geoökologischen. Derartige komplexe sozial-ökologische Problemlagen machen den Kern der *neuartigen Umweltprobleme* aus. Die etablierten *gesellschaftlichen Regulationsformen* der sozial-ökologischen Beziehungsmuster (z.B. in der Form von technischen Infrastrukturen oder von Versorgungssystemen) sind oftmals tief greifend gestört oder noch nicht entwickelt. Als erfolgreich erachtete Problemlösungen können fehlschlagen; Problemlösungen werden dann zu neuen Problemursachen. Insofern handelt es sich bei den neuartigen Umweltproblemen zumeist um *Probleme zweiter Ordnung*, welche aus den scheinbar erfolgreichen sektoralen Lösungen ökologischer oder sozialer Probleme erster Ordnung entstehen. Lassen sich die problematischen Sachverhalte räumlich oder funktional eingrenzen, dann kann man die Regulationsformen der gesellschaftlichen Naturverhältnisse als einen dynamischen sozial-ökologischen *Komplex* beschreiben. Es ist dann zumindest prinzipiell möglich, diesen Komplex als *System* zu modellieren. Damit ist noch nicht festgelegt, welcher Systemtyp modelliert wird (d.h. als offenes oder geschlossenes, deterministisches oder stochastisches, hierarchisches oder funktionales System); und auch nicht, welche Modellierungstechnik verwendet wird (z.B. graphische oder mathematische); offen ist damit auch noch, ob und welche spezielle Systemtheorie die Modellierung vorprägt (z.B. *Systems Dynamics*, funktionalistische oder strukturalistische Theorien). Einer Anforderung sollte allerdings jede Modellierung genügen: Die ‚neuen Umweltprobleme' erfordern auch ein ‚neues Wissen' über die Möglichkeiten und Grenzen einer Regulation des dynamischen Verhaltens sozial-ökologischer Systeme[4]. Jede Modellierung sollte ein derartiges Wissen erzeugen. Im kybernetisch-systemwissenschaftlichen Kontext nehmen Umweltprobleme die Form komplexer *Regulationsprobleme* an. Doch wie sind derartige Probleme begrifflich zu bestimmen, aus einer Gestaltungsperspektive detailliert zu beschreiben und durch integrierte Systemlösungen zu bearbeiten? Bei der begrifflichen Bestimmung muss zunächst geklärt werden, wie sich die fast durchgängig in einem handlungstheoretischen Kontext formulierte Kategorie *Problem* verändert, wenn sie in einen systemwissenschaftlichen Kontext verschoben wird: Aus Handlungsproblemen, die Personen oder kollektiven Akteuren zurechenbar sind, werden hier Systemprobleme. Die Transformation von Handlungsproblemen in Systemprobleme ist alles andere als ein trivialer Vorgang[5].

4 Wir benutzen die Bezeichnung ‚sozial-ökologische Systeme' um auszudrücken, dass darin soziale und ökologische Elemente unterschiedlich stark miteinander verkoppelt sind, und sich das Systemverhalten daher nicht mehr durch die Addition des Verhaltens miteinander schwach gekoppelter sozialer und ökologischer Systeme erklären lässt (Becker/Schramm 2002). Der Terminus ‚sozial-ökologische Systeme' taucht zwar immer wieder einmal in der Literatur auf, wird aber zumeist als eine spezifische systemtheoretische Variante verstanden (z.B. Metzner 1993) oder relativ vage und unbestimmt benutzt.

5 *Probleme* bilden sich heraus, wenn eine Diskrepanz zwischen den Interessen individueller oder kollektiver Akteure und deren Handlungsbedingungen besteht. Probleme sind der diskursive Ausdruck einer *Problemsituation*: Bestimmte Zwecke können unter den existierenden Bedingungen mit dem verfügbaren Wissen und den zugänglichen natürlichen, sozialen und temporalen Ressourcen nicht erreicht werden. *Handlungsprobleme* sind in diesem Sinne Probleme des Wissens, des Sagens, der Bewertung und der

Wissenschaft und Gesellschaft sind disziplinär gegliedert bzw. in unterschiedliche Sachbereiche ausdifferenziert. Die skizzierten Regulationsprobleme fallen in den Zuständigkeitsbereich zahlreicher Fachwissenschaften und Sektoren, die aus ihrer jeweiligen Perspektive effiziente Problemlösungen auszuarbeiten versuchen. Doch keine Fachwissenschaft und kein gesellschaftlicher Sektor ist für den komplexen Problem- und Systemzusammenhang insgesamt zuständig. Diese fachliche und sachliche Desintegration führt dazu, dass *Integrationsaufgaben* das wesentliche methodische Problem sozial-ökologischer Forschung ausmachen: Wie wird die Problemsituation jeweils definiert? Wie können unterschiedliche wissenschaftliche Epistemologien, Disziplinen und Fächer, Wissensformen und Handlungsmuster so aufeinander bezogen werden, dass hieraus integrierte Lösungsperspektiven für eine nachhaltige Entwicklung gewonnen werden können? Dafür ist nicht zuletzt ein adäquates Begriffsnetz erforderlich, das die Integration der unterschiedlichen fachspezifischen Perspektiven ermöglicht.

Im Projekt *netWORKS* aber auch im Projekt *demons* wird versucht, einen integrativen Begriff der *sozial-ökologischen Regulation* zu erarbeiten, um damit die allgemeine Problematik der Verflechtung natürlicher und gesellschaftlicher Prozesse zu erfassen. Da wir uns damit auf komplexe und dynamische Beziehungsgeflechte zwischen Gesellschaft und Natur beziehen wollen, muss dieser Begriff eine Vorstellung von *Interdisziplinarität* ermöglichen, der sowohl naturwissenschaftliche (physikalische, chemische, hydrologische, biologische, ökologische) als auch sozialwissenschaftliche Zugänge (ethnologische, soziologische, ökonomische, politische, juristische) zu den problematischen sozial-ökologischen Sachverhalten offen hält. In der Forschungspraxis haben sich zwei alternative Zugänge etabliert: Im ersten Fall werden die gesellschaftlichen Naturverhältnisse gewissermaßen als ‚natürlich' bestimmt und durch Stoff- und Energieflüsse oder auch als ‚Metabolismus' beschrieben[6]. Im anderen Fall wird versucht, dieses Verhältnis entweder durch seine politische oder ökonomische Gestaltung zu charakterisieren, oder es über Naturbilder und Naturbegriffe, kulturelle Muster und diskursive Repräsentationen zu erschließen. Beide Zugänge, der naturalistische und der kulturalistische Weg, scheinen berechtigt zu sein[7]; denn gesellschaftliche Naturverhältnisse haben immer eine stofflich-energetische und eine symbolisch-kulturelle Dimension. Doch wie lässt sich deren Zusammenhang denken, ohne voreilig auf ideologische Einheitsvorstellungen zurück zu greifen?

Im „Rahmenkonzept" Sozial-Ökologische Forschung (BMBF 2000) wird der ‚Metabolismus' zwischen Gesellschaft und Natur zwar auch durch Stoff- und Energieströme be-

---

verfügbaren Mittel. Von *Problemen zweiter Ordnung* sprechen wir, wenn die Nebenfolgen erfolgreicher Problembearbeitung wiederum zu einem aktiven Bestandteil einer Problemlage werde, was eine Krisendynamik in Gang setzen kann (vgl. Becker 2002).

6 Prominentes Beispiel dafür ist das Metabolismus-Konzept des Wiener Teams Soziale Ökologie (Fischer-Kowalsky/Weisz 1999). In einem neueren Projekt wird in konsequenter Weise von „Society's Natural Relationships' gesprochen (Fischer-Kowalsky 2004). Cordula Kropp (2002: 59ff.) klassifiziert diesen Ansatz als „versteckten Naturalismus".

7 Klaus Eder (1988: 27) hat die alternativen Zugangsweisen zu einem Dualismus sich gegenseitig ausschließender theoretischer Diskurse zugespitzt: Entweder eine *Naturalisierung der Gesellschaft* – oder eine *Vergesellschaftung der Natur.* Dieser Dualismus hängt aber mit seiner abstrakten Fassung der möglichen Beziehungen zwischen Natur und Gesellschaft zusammen. Cordula Kropp (2002) will derartige Dualismen überwinden. Sie unterscheidet innerhalb der Umweltsoziologie naturalistische Ansätze von soziozentrischen und plädiert für ‚vermittlungstheoretische' Positionen.

schrieben, diese werden aber um Informationsflüsse erweitert. Kategorial wird es dadurch möglich, gesellschaftliche Naturverhältnisse durch Materie, Energie und Information zu bestimmen. Sozial-ökologische Sachverhalte und gesellschaftliche Naturverhältnisse lassen sich dann als ein *Regulationszusammenhang* beschreiben, der in einer stofflich-energetischen und in einer informationellen Dimension ausgeprägt ist[8]. Es wird dann aber auch möglich, die in der kybernetisch-systemwissenschaftlichen Tradition ausgebildeten begrifflichen und methodischen Mittel zu nutzen, um auf reflektierte Weise damit sozial-ökologische Systeme zu beschreiben, in denen ‚gesellschaftliche' und ‚natürliche' Elemente entweder locker oder stark gekoppelt sind (Becker/Schramm 2002). Die Erweiterung des Metabolismuskonzepts durch Informationsflüsse eröffnet zwar eine Möglichkeit, doch inwieweit damit die kulturell-symbolische Dimension der gesellschaftlichen Naturverhältnisse tatsächlich begriffen werden kann, das hängt entscheidend vom Informationsbegriff ab. Der klassische kybernetische Informationsbegriff, wie er von Shannon und Weaver (1949) eingeführt wurde, erfasst Information quantitativ durch ein Informationsmaß und ermöglicht es, durch einen Code beliebige Symbole binär auszudrücken; doch die Bedeutung der Symbole (Semantik) sowie deren Wirkung auf die Kommunizierenden (Pragmatik) ist mit dem quantitativen Informationsmaß nicht zu erfassen[9]. Für die Beschreibung sozial-ökologischer Sachverhalte wird daher ein linguistisch reichhaltiger, semantisch und pragmatisch erweiterter Informationsbegriff benötigt. Derartige Erweiterungen sind auch innerhalb des kybernetischen Diskurses vorgenommen worden, besonders wichtig sind dafür die Arbeiten von Gregory Bateson (1972, 1979). In der klassischen Kybernetik musste die Bedeutung des Informationsbegriffs allerdings nur so weit über seine quantitative Fassung hinaus ausgedehnt werden, wie es zum Verständnis von Regelungsvorgängen nötig war. Bleibt man in diesem Rahmen, kann nur die für die Regulation notwendige Information dargestellt werden. Doch immer dann, wenn die kulturellen Symbolisierungen einen Eigensinn besitzen, der nicht in ihrem Bezug zu Regulationsproblemen aufgeht, ist der klassische kybernetische Rahmen zu eng und die informationstheoretische Abstraktion zu stark. Dies ist ein Hinweis darauf, dass wohl eine ‚sozial-ökologische Rekonstruktion' des kybernetischen Begriffsnetzes nötig ist, um hier zu einer befriedigenden Lösung zu kommen. Dabei kommt dem Zusammenspiel von stofflich-energetischen Regulationen und kulturell-symbolischen Repräsentationen eine besondere Bedeutung zu.

Trotz dieser Schwächen plädieren wir dafür, das Konzept der sozial-ökologischen Regulation innerhalb der kybernetischen Tradition und deren Aktualisierungen durch die ‚Kybernetik zweiter Ordnung' zu explizieren. Besonders wichtig an dieser Tradition sind nicht nur die Fragen der Regelung und Steuerung, die sich unmittelbar mit diesem Begriff (Kybernetes = Steuermann) verbinden, sondern auch die theoretische Konstruktion komplexer

8 Gesellschaftliche Naturverhältnisse sind sicherlich nicht nur Regulationszusammenhänge: Sie nehmen kulturelle Formen an, in sie können Macht- und Herrschaftsverhältnisse eingreifen, sie sind mit individuellen Bedürfnissen und Gefühlen verknüpft. Doch sowohl für die Befriedigung individueller Bedürfnisse als auch für die gesellschaftliche Reproduktion und Evolution sind die *Regulationen* all dieser Verhältnisse von entscheidender Bedeutung. Kybernetische Systeme heben diesen Aspekt als wesentlich hervor und vernachlässigen andere. In diesem Sinne sind sie nicht etwa Abbildungen der gesellschaftlichen Naturverhältnisse, sie verdichten vielmehr eine analytische Abstraktion in einem *kybernetischen Systemmodell.*

9 Vgl. dazu Teil 4 der vorliegenden Arbeit, wo wir den kybernetischen Informationsbegriff genauer erläutern

dynamischer Systeme, deren Struktur und Funktion sich bereits in ihrer elementaren Fassung durch solche Eigenschaften wie Adaptivität, Rückkopplung und Nicht-Linearität auszeichnen. Das kybernetische Systemkonzept ist zumindest prinzipiell sowohl auf natürliche als auch auf gesellschaftliche Sachverhalte anwendbar[10] – es kann daher einen begrifflichen Rahmen bieten, in dem sich ein allgemeiner Begriff der sozial-ökologischen Regulation explizieren lässt. Doch eine derartige Explikation sollte nicht unabhängig vom Begriffsgebrauch im Alltag und in den verschiedenen Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften erfolgen, andernfalls besteht die Gefahr einer Insider-Terminologie, die von außen betrachtet bizarr erscheinen muss.

2 Begriffsgebrauch – Kybernetik oder Konfusion?

Alltäglich werden die Termini Regelung, Regulierung, Regulation weitgehend synonym gebraucht. Dies gilt auch für die entsprechenden Verben regeln und regulieren. ‚Regelung' hat zwar einen eher technischen Bedeutungshorizont (z.B. im Sinne von kanalisieren und begradigen oder der Regelung von Temperatur, Druck, Stoffkonzentration etc.) – eindeutig ist dies aber nicht. ‚Regulation' und ‚Regulierung' sind alltäglich stärker mit politisch-juristischen Vorgängen konnotiert (im Sinne von Normierung, staatlichen Auflagen, juristischen Problemlösungen etc.). Undeutlich ist auch die Abgrenzung zu Steuerung und Kontrolle[11].

Betrachtet man die verschiedenen fachwissenschaftlichen Verwendungen, dann ergibt sich auch kein besonders klares Bild: Im klassisch *politikwissenschaftlichen* Verständnis (Ordnungsrecht, Planung und Steuerung) oder im ökonomischen Sinn (z.B. Interventionen zur Absicherung von Marktfunktionen) werden mit *Regulation/Regulierung* Bündel institutionalisierter Maßnahmen gekennzeichnet, die sich auf einzelne gesellschaftliche Bereiche richten, um deren Funktionsfähigkeit unter bestimmten Zielsetzungen zu sichern. So spricht man etwa von der Regulation der Zuwanderung oder der von Finanzmärkten. In der *Biologie* bezeichnet der Regulationsbegriff beispielsweise die Tätigkeit neuronaler oder endokriner Systeme, mit denen Organismen ihre Funktionsfähigkeit aufrecht erhalten, sichern und optimieren und dabei Störungen aus der Umwelt oder aus dem Organismus ausgleichen. Das biologische Regulationsverständnis ist inzwischen stark von Konzepten aus Kybernetik und Regelungstechnik geprägt. Stoffwechselvorgänge, Atmung und Zellteilung, aber auch die Anpassung der Populationsgröße einer Art an das jeweilige Milieu oder die Stabilisierung eines ökologischen Gleichgewichts werden auch in fachwissenschaftlichen Kontexten mit kybernetischen Begriffen beschrieben und erklärt.

10 Die 1948 von Norbert Wiener veröffentlichte Programmschrift trägt allerdings den Titel: *Cybernetics. The Science of Control and Communication in the Animal and the Machine.* Darin herrscht noch Skepsis gegenüber der Übertragung auf menschlich-gesellschaftliches Handeln. (Vgl. Wiener 1992: 233ff.) Kulturanthropologen wie Margaret Mead und Claude Lévi-Strauss (1991: 68ff.) haben dagegen die Möglichkeit einer solchen Übertragung recht positiv eingeschätzt.

11 Im Englischen hat der Terminus ‚control' einen ziemlich großen und diffusen Bedeutungshorizont, der sich mit dem von ‚regulation' stark überschneidet. ‚Control' deckt wiederum sämtliche Bedeutungen ab, die wir im Deutschen als ‚Regelung' oder als ‚Regulation' bezeichnen.

Gemeinsam ist sämtlichen fachgebundenen Vorstellungen, dass durch Regulationen solche *Probleme* dauerhaft bearbeitet werden, die sich kybernetisch als Abweichung des „Ist-Zustands“ eines zu regelnden Systems von einem „Soll-Zustand“ beschreiben lassen. Derartige Probleme nennen wir *Regulationsprobleme*. Umgekehrt bedeutet dies, dass sozial-ökologische Probleme durch Soll/Ist-Differenzen beschrieben werden müssen, wenn sie als Regulationsprobleme im Sinne der Kybernetik aufgefasst werden. Bei den Unklarheiten des alltäglichen Gebrauchs und bei der Vielfalt fachwissenschaftlicher Bedeutungen kommt man wohl um terminologische Normierungen und Konventionen nicht herum. Dabei gibt es zwar eine gewisse Freiheit der Begriffsdefinition, doch sie ist beschränkt durch bereits definiert eingeführte Bedeutungen bestimmter Begriffe in wissenschaftlichen Diskursen. Eine erste Normierung könnte sein, den Begriff *Regelung* nur im technischen Sinne zu verwenden, also so, wie er in der Regelungstechnik und der technischen Kybernetik gebraucht wird. Der alltägliche und der englische Gebrauch legen es zudem nahe, *Regulation* und *Regulierung* synonym zu verwenden – und daraus nicht zwei Fachtermini mit unterschiedlicher Bedeutung zu machen, wie es im Verbundprojekt *netWORKS* zunächst vorgeschlagen wurde.

Um halbwegs klar über *Regulation* sprechen zu können, müssen mehrere Fragen beantwortet werden:

- *Was* soll reguliert werden? Ist das *Objekt* der Regulation das Handeln von Personen – oder sind es Institutionen, ist es die Versorgung der Bevölkerung oder sind es technische Prozesse?
- *Welche* Zwecke oder Ziele werden mit einer Regulation verfolgt? Geht es darum, Zustände stabil zu halten und Sollwerte zu erfüllen, oder Prozesse aufrecht zu erhalten und Potentiale zu erhalten?
- *Wer* reguliert diese Objekte? Ist der Staat das *Subjekt* der Regulation oder ein Unternehmen, ein Computer oder ein Kontrollzentrum?
- *Wie* wird reguliert? Sind die *Mittel* und Mechanismen der Regulation freiwillige Selbstverpflichtungen oder Verordnungen, Marktmechanismen oder technische Regelsysteme, ist es das Festlegen von Sollwerten für rückgekoppelte Systeme, oder sind es steuernde Eingriffe in komplexe Zusammenhänge?

Wie auch immer die Antworten ausfallen mögen, die Beschreibung von Regulationsproblemen und Regulationsmechanismen, deren Analyse und Modellierung ist auf höchst unterschiedliche Weise möglich. Sie kann mit ganz verschiedenen fachlichen Terminologien erfolgen – oder auch mit der fachübergeifenden kybernetisch-systemwissenschaftlichen. Entsprechend gibt es auch ein breites Spektrum von Bedeutungen des Regulationsbegriffs. Betrachtet man dessen historische Semantik etwas genauer, dann lassen sich darin zwei Stränge deutlich unterscheiden:

Im ersten Strang geht es um die Regulation des *Handelns* von Personen, Gruppen oder kollektiven Akteuren. Es werden Regeln und Normen aufgestellt und mit Macht oder durch Aushandeln durchgesetzt. Objekt der Regulation ist hier also das regelgeleitete Handeln, das sich in einem durch die Regulation konstituierten Möglichkeitsraum vollzieht. Wissenschaftlich hat sich in diesem Strang das Regulationsverständnis von Ökonomen und Juristen, Politikern und Administratoren ausgebildet.

Im zweiten Strang geht es um die Regulation von *Systemen* mit dem Ziel, deren Funktionserfüllung zu garantieren. Objekt der Regulation sind hier Strukturen, Funktionen und Prozesse. In diesem Strang haben sich zunächst naturwissenschaftlich-technische Regulationsvorstellungen ausgebildet. Die Kybernetik hat hier eine begriffliche Innovation gebracht, die bald über die traditionelle Regelungstechnik hinausreichte und auch in die Sozialwissenschaften eindrang. Sicherlich lassen sich beide Regulationsobjekte – die Regulation des Handelns und die Regulation von Systemen – vielfach nicht eindeutig trennen. Vieles spricht jedoch dafür, die Unterscheidung auf einer analytischen Ebene beizubehalten.

Wir plädieren dafür, das Konzept einer sozial-ökologischen Regulation innerhalb der kybernetischen Tradition und deren Aktualisierungen zu entwickeln, und dabei zugleich das Begriffsverständnis in beiden Strängen zu rekonstruieren. Dieser Traditionsbezug kann aus zwei Gründen für Irritation sorgen. Zunächst könnte man einwenden, die Kybernetik sei nicht mehr aktuell; es handele sich um ein antiquiertes Theoriekonstrukt, das längst in die Praxis unendlich vieler technischer Konstruktionen eingezogen sei. Auch wenn letztere Argumentation zur technischen Verbreitung sicherlich zutreffend ist, so charakterisiert sie aber auch den gegenwärtigen Zustand der Rezeption der Kybernetik im deutschsprachigen Raum. Bei dieser Rezeption wird Kybernetik in erster Linie als *technische Kybernetik* verstanden, als eine Wissenschaft der Regelung in naturwissenschaftlich-technischen Disziplinen[12] (Elektrotechnik, Physiologie, Medizin, Neurowissenschaften, Informatik). Die unreflektierte Übertragung technisch-kybernetischer Begriffe und Modelle auf die Gesellschaft wird dann zu Recht als problematisch kritisiert. Wie ist es aber mit einer reflektierten Analyse gesellschaftlicher Zusammenhänge mit verallgemeinerten kybernetisch-systemwissenschaftlichen Begriffen und Modellen?

Ein zweiter Einwand kann sich auf ein politisch verengtes Verständnis von Kybernetik beziehen. In den 60/70iger Jahren bildete sich die *politische Kybernetik* heraus. Diese steuerungstheoretischen Ansätze einer politikwissenschaftlich ausgerichteten Kybernetik waren eingebettet in einen anwachsenden Staatsinterventionismus der keynesianisch geprägten Wohlfahrtsökonomie, mit einer stark prosperierenden Leistungsverwaltung (und -wirtschaft). Autoren wie Karl W. Deutsch (1973) oder Amitai Etzioni (1968) ging es um die Steigerung der Lernfähigkeit der Gesellschaft und der Selbstbestimmung (Selbstorganisation) gesellschaftlicher Gruppen[13]. Die steuerungs- und planungsoptimistischen Theorieansätze der politischen Kybernetik standen noch ganz unter dem Primat der Politik, deren Handeln rationalisiert und optimiert werden sollte, waren aber auch gleichzeitig ein Zwischenschritt in Politik- und Planungswissenschaften, sich den Adressaten von Steuerung

12 Die Rezeption der Kybernetik erfolgte sowohl in der Bundesrepublik als auch in der DDR zunächst in der Elektrotechnik, wo sich bereits in den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts unabhängig von den Entwicklungen in den USA eine eigenständige *Regelungstechnik* herausgebildet hatte. Sie nahm im Zweiten Weltkrieg einen starken Aufschwung und übernahm in der Nachkriegszeit immer stärker die kybernetische Terminologie und insbesondere die mathematischen Modellierungen von Regelkreisen.

13 Das sozialistische Pendant zu dieser Entwicklung sind z.B. Klaus (1965) oder die Autoren des sog. Richta-Reports (Richta-Report 1968, Politische Ökonomie des 20. Jahrhundert, Prag), die insbesondere die Planwirtschaft für iterative Korrekturprozesse öffnen wollten und versuchten, dezentrale Entscheidungsarenen mit Marktstrukturen einzuführen. Die politische Administration jener Zeit in diesen Ländern war durchaus interessiert, den Einfluss dieser Sichtweisen zu begrenzen.

genauer anzuschauen, ihm ein Eigenrecht zukommen zu lassen; auch war es ein erster Schritt, das Staatsverständnis zu ändern: Der Staat kann nicht ohne Abstimmung mit den Planungs- und Handlungs-‚Objekten' (den Betroffenen) handeln. Die Tür zum Konzept des „kooperativen Staates" (Ritter 1979) war bereits etwas geöffnet, aber der gesamtplanerische Anspruch, Kontrollfunktion auszuüben, die Überhöhung der Selbstbestimmung und Selbstorganisationsvorstellung in diesen Planungskonzepten, und die daran geknüpften Erwartungen an zu steuernde, herzustellende Konsensbildung und Stabilität waren zu hoch gesteckt. Die politische Kybernetik wurde zunehmend abgelöst durch weniger planungseuphorische Konzepte, die sowohl den Primat der Politik in Frage stellen als auch von einer Vielzahl gesellschaftlicher Akteure (mit unterschiedlichen Eigeninteressen und Vetomacht) ausgehen (vgl. v.a. Mayntz/Scharpf 1995).

So berechtigt also die Kritik an der politisch (und technisch) verengten Kybernetik auch ist, sie bezieht sich im Wesentlichen auf die Kybernetik der 60er und 70er Jahre, wie sie mit selektivem Bezug auf die Kybernetik-Konzeption Norbert Wieners entwickelt wurde. Bezeichnet man diese eher technisch-naturwissenschaftlich orientierte Entwicklungsstufe als ‚Kybernetik erster Ordnung', dann kann man davon eine in den vergangenen zwei Jahrzehnten entstandene ‚Kybernetik zweiter Ordnung' unterscheiden: Sie rechnet mit dem Eigensinn der zu modellierenden Sachverhalte, thematisiert die Rolle des Beobachters, arbeitet mit einem semantisch und pragmatisch erweiterten Informationsbegriff, und sie enthält so etwas wie eine Reflexion der Kybernetik mit kybernetischen Mitteln. Die ‚Kybernetik zweiter Ordnung' bietet u.E. einen neuartigen konzeptionellen Rahmen, in dem sich ein adäquater Begriff der sozial-ökologischen Regulation entwickeln lässt. Bevor wir dies genauer ausführen, wollen wir uns mit verschiedenen politisch-ökonomischen Regulationsvorstellungen beschäftigen, um deren analytisches und integratives Potential auszuloten. Vor dieser Folie werden wir dann das kybernetisch-systemwissenschaftliche Begriffsnetz grob skizzieren, darin das politisch-ökonomische Regulationsverständnis rekonstruieren und so unsere eigene Vorstellung von sozial-ökologischer Regulation präzisieren.

3 Regulationsvorstellungen in den Sozialwissenschaften

In den Sozialwissenschaften bezieht sich der Regulationsbegriff auf die Regulation des Handelns von Personen, Gruppen und kollektiven Akteuren. Insbesondere in den Politik- und Wirtschaftswissenschaften dominierten nach dem Zweiten Weltkrieg zunächst klassische Steuerungsvorstellungen, die von einem Steuerungssubjekt und -objekt ausgehen und begrifflich an die Zweck-Mittel-Relation gebunden sind; klassisches Beispiel sind die Ge- und Verbotsgesetze, Planungswerkzeuge, z. B. zur Realisierung von Großvorhaben. Der Staat als Gesetzgeber (Steuerungssubjekt) erlässt ein Gesetz (Mittel) zum Zweck – beispielsweise Diebstahlsverbot – (Zweck ist die Verhaltenserwartung, dass nicht geklaut wird). In solchen einfachen, unilinearen Mittel-Zweck-Mittel-Schemata ist zunächst auffällig, dass sie keine Rückkopplung kennen. In vielen gesellschaftlichen Steuerungsbereichen macht dies auch durchaus Sinn. Bei komplexen Steuerungsobjekten jedoch wurde zunehmend der Steuerungszweck in klassisch handlungstheoretisch begründeten Steue-

rungstheoremen durch den Funktionsbegriff ersetzt und mit Stabilitätsvorstellungen verknüpft. Ein wichtiger Kandidat im Übergang zu dieser systemtheoretischen Reformulierung des Zweck-Mittel-Schemas war die bereits erwähnte politische Kybernetik, der es um Erfolgskontrolle durch feedbacks im Sinne einer besseren Systemstabilisierung ging (vgl. Etzioni a.a.O.). Handeln wurde jetzt als zweckrational und erfolgskontrolliert beschrieben.

Im Laufe der Entwicklung der vergangenen zwei Jahrzehnte zeichnet sich eine begriffliche Veränderung der beiden Pole Steuerungssubjekt und Steuerungsobjekt ab: Der Staat galt zunächst als Subjekt der Steuerung. Als Steuerungssubjekt wird er nach und nach konzeptionell aufgelöst, verändert sich insofern, als dass er nicht mehr nur als alleiniger Interventionist (durch rechtliche Regulation, Ordnungsverwaltung etc.) angesehen wird; ebenso wird das Steuerungsobjekt (dessen Verhalten es zu ändern gilt) nicht mehr nur als ein hermetischer Block angesehen. Vielmehr geht es auf Seiten des Steuerungsobjekts auch um systeminterne Zustände des politisch-administrativen Systems, die von erfolgreicher Steuerung erreicht werden sollen. Solche allgemeinen Schlussfolgerungen resultieren aus der so genannten Implementationsforschung und policy research-Analyse, in denen programm-intendierte, zustandsveränderne Wirkungsbeziehungen zwischen Steuerungssubjekt (Staat etc.) und Adressat untersucht werden.

3.1 Akteurszentrierter Institutionalismus

Renate Mayntz und Fritz W. Scharpf (1995) ziehen aus diesen Forschungsergebnissen im Hinblick auf die Bedeutung von Steuerung innerhalb des Verhältnisses zwischen politisch-administrativem System und staatsnahen Sektoren zunächst die Schlussfolgerung: „Erforderlich ist jedoch ein konzeptionelles Instrumentarium, das die Variationsbreite empirisch möglicher Konstellationen von Steuerung und Selbstorganisation beschreiben kann. Wir ersetzen deshalb den zu engen Steuerungsbegriff durch den umfassenderen Begriff der Regelung (>governance<), der einseitige Steuerung als eine mögliche Variante einschließt. Innerhalb eines Sektors unterscheiden wir sodann zwischen Leistungsstruktur (>industry structure<) und Regelungsstruktur (>governance structure<). Damit gewinnen wir eine der Realität besser entsprechendes Äquivalent zur Unterscheidung zwischen Steuerungssubjekt und -objekt.“ (Mayntz/Scharpf 1995a: 16).

Auffällig ist hier, dass interne Steuerung als ‚Regelung‘ beschrieben wird. Diese gleichsam wechselseitige Verweisstruktur zwischen Steuerungssubjekt und -objekt wird durch die Autoren in folgende Überlegung integriert:

„Regelung ist dann wünschenswert, wenn das ungeregelte Verhalten von Akteuren Auswirkungen hat, die entweder deren eigene Interessen oder die Interessen von Dritten beinträchtigen (oder weniger als möglich und wünschenswert fördern). Auch die gesellschaftliche Selbstregelung erfordert deshalb die Fähigkeit zur Formulierung und Implementation von Maßnahmen, die erwünschtes Verhalten der Anbieter und Nachfrager wahrscheinlicher und unerwünschtes weniger wahrscheinlich machen. Dies setzt Organisationsfähigkeit voraus.“ (ebd.: 20)

Im Resultat führt diese Regelungsvorstellung zum kooperativen Staat, für den als typisch erachtet wird, dass „Mischformen von Regelungsstrukturen, in denen Selbstregelung und staatliche Intervention nebeneinander wirksam werden beziehungsweise miteinander verklammert sind“ (ebd.: 23). Diese sozio-zentrische Festlegung des politikwissenschaftlichen Steuerungs- und Regelungsverständnisses bezieht sich in erster Linie auf die Relation Staat/Akteur; Veränderungen/Transformationen werden nur in dieser Relation diskutiert, die insbesondere auch die nicht-formellen Regeln und Formen des Regierens wie Partizipation und governance einschließt. In ihren Ausführungen zum akteurszentrierten Institutionalismus[14], mit denen die AutorInnen insbesondere staatliche und nicht-staatliche Akteure in ihre steuerungsanalytische Perspektive mit einbeziehen, geht es ihnen um einen „relativ“ eng gefassten Institutionalismusbegriff, der auf den Regelungsaspekt konzentriert ist:

„Diese für den ganzen Ansatz zentral-analytische Weichenstellung hat zwei wichtige Konsequenzen. Zum einen werden auf diese Weise Institutionen nicht einfach als Ergebnis evolutionärer Entwicklung interpretiert und als gegeben genommen, sondern sie können ihrerseits absichtsvoll gestaltet und durch das Handeln angebbarer Akteure verändert werden. Institutionen werden dann im Rahmen des akteurszentrierten Ansatzes ebenso als abhängige wie als unabhängige Variablen behandelt. Zum anderen wird durch die Einschränkung des Institutionenbegriffs auf Regelungsaspekte, die oft nur formelhaft wiederholte Prämisse ernst genommen, dass der institutionelle Kontext Handeln zwar ermöglicht und restringiert, aber nicht determiniert.“ (Mayntz/ Scharpf 1995b: 45).

Durch dieses engere Institutionenverständnis sollen deterministische Schließungen vermieden werden: der institutionelle Kontext ermöglicht und beeinflusst Handeln, kann es auch einschränken, aber er determiniert das Handeln nicht. Verhaltensnormen, symbolische und kognitive Dimensionen von Interaktion und Alltagspraktiken werden aus der Betrachtung ausgenommen, um so zu ermöglichen, das Akteurshandeln als eigenständige Variable und damit „Sachverhalte zu analysieren, in denen trotz eines unveränderten institutionellen Rahmens folgenreiche Veränderungen im Bereich des menschlichen Handelns zu beobachten sind“ (ebd.: 46).

Aus diesen theoretischen Weichenstellungen wird insgesamt deutlich, dass hier aus einer handlungstheoretischen Perspektive rein binnengesellschaftlich gedacht wird. Eine derartige Regulation ist darauf angewiesen, dass sich die Verhältnisse durch eine programmintendierte Regelung (Steuerung) stabilisieren lassen und eine Resonanzfähigkeit der informellen Anteile (Eigendynamik, Selbstorganisation) besteht.[15] Trotz dieser (aus der sozio-zentrischen Perspektive resultierenden) Schwäche kann aus dem Ansatz des akteurszentrierten Institutionalismus für die sozial-ökologische Forschung einiges gewonnen werden: Den AutorInnen geht es entgegen der Luhmannschen These von der Unmöglichkeit übergreifender politischer Steuerung um den Nachweis, dass im Rahmen pluralistischer Netzwerke politisch-programmatisch intendierte Steuerung durchaus möglich ist und somit die Möglichkeit besteht, von außen in das System einzugreifen.

14 Unter Institution verstehen die Autoren soziale Gebilde wie auch sozial normierte Verhaltensmuster.

15 Auf den in diesem Zusammenhang aus der kybernetischen Systemtheorie übernommenen Begriff der Selbstorganisation gehen wir hier nicht weiter ein.

3.2 Postfordistische Regulation

Ganz anders liegt der Akzent in den theoretischen Arbeiten in der Tradition der französischen Regulationsschule, die sich in Deutschland auch mit den Thesen zum Fordismus/Postfordismus verbunden haben (Aglietta 1979; Lipietz 1985; vgl. Hirsch 1995)[16]. Es kann allerdings nicht von einer einheitlichen Regulationsschule gesprochen werden; vielmehr existiert eine Vielzahl von Ansätzen, die sich jedoch in einigen Grundkonzeptionen ähneln. Der Regulationsansatz geht von der Annahme aus, dass kapitalistische Gesellschaften von strukturellen Widersprüchen geprägt sind, die ihre Reproduktion permanent gefährden. Die Entwicklungsweise einer Gesellschaft ist das Ergebnis von Aushandlungsprozessen zwischen gesellschaftlichen Gruppen, entsprechend kann die Logik der Kapitalakkumulation diesen Auseinandersetzungen und Veränderungen unterliegen.

Lipietz definiert Regulation als:
„die Gesamtheit institutioneller Formen, Netze, expliziter oder impliziter Normen, die die Vereinbarkeit von Verhältnissen im Rahmen eines Akkumulationsregimes sichern, und zwar sowohl entsprechend dem Zustand der gesellschaftlichen Verhältnisse als auch über deren konfliktuelle Eigenschaften hinaus“ (Lipietz 1985: 121).

Die Durchsetzung eines gesellschaftlichen Modells ist abhängig sowohl von den Kräfteverhältnissen innerhalb eines Staates als auch von dessen Einbindung innerhalb der Hegemonie der internationalen Arbeitsteilung.

Zentral sind die beiden Begriffe „Akkumulationsregimes“ und „Regulationsweise“: Der Ansatz postuliert, dass jede kapitalistische Gesellschaft durch den Akkumulationsprozess des Kapitals geprägt ist. Der Begriff „Akkumulationsregime“ bezieht sich auf den spezifischen Modus der Produktion, „der über eine längere Periode hinweg ein Entsprechungsverhältnis zwischen den materiellen Produktionsbedingungen und ihrer Entwicklung (...) sowie dem gesellschaftlichen Verbrauch (...) gewährleistet“ (Lipietz 1985: 120). Der Akkumulationsprozess des Kapitals ist gekennzeichnet durch eine bestimmte Form der Mehrwertproduktion in Abhängigigkeit von Produktionstechnik, Arbeits- und Unternehmensorganisation und Marktverhältnissen. Dieser weist dann eine relative Stabilität und Dauerhaftigkeit aus, „wenn er in ein Netz gesellschaftlicher Institutionen und Normen eingebettet ist, die dafür sorgen, dass sich die Menschen in Übereinstimmung mit den jeweiligen Bedingungen der Akkumulation verhalten“ (Hirsch 1995: 48), also die entsprechende Lebens-, Arbeits- und Produktionsweise und bestimmte Formen der Interessenswahrnehmung praktizieren. Historisch verschiedene Akkumulationsregime und Regulationsweisen prägen in zeitlicher und geographischer Hinsicht die jeweilige Form der kapitalistischen Gesellschaft:

Der Akkumulationsprozess muss mit einem System der gesellschaftlichen Reproduktion verbunden sein. Aufgrund der krisenhaften Dynamik des Akkumulationsprozesses selbst und der damit verbundenen sozialen Auseinandersetzungen nehmen die Akkumulation und die Regulation unterschiedliche Formen an. Ganz eindeutig wird hier der Regulati-

16 Wir beziehen uns nachfolgend im Wesentlichen auf die politikwissenschaftliche Diskussion des Regulationsansatzes. Weitere Theorieansätze gibt es auch in der wirtschaftsgeographischen Debatte (Storper/Scott 1989; Porter 1991, 1998; Camagni et al. 1991).

onsbegriff auf eine spezifische Form der Handlungsregulation bezogen, die allerdings als funktional für die Entwicklung des Kapitalismus als System angesehen wird.

Um Bestand zu haben, muss ein bestimmtes Akkumulationsregime sozial reguliert werden. Bei der Kapitalverwertung beispielsweise, die auf der Verallgemeinerung der Warenproduktion, Massenproduktion und -konsum basiert, müssen soziale Institutionen und Normen bestehen, die dies abstützen – z.B. für Arbeitsdisziplin, stabile Lohneinkommen und soziale Sicherungssysteme als Mittel der Konsumstabilisierung. Regulation bedeutet, dass gegensätzliche Interessen von sozialen Gruppen so kanalisiert und verbunden werden, dass die Kohäsion der Gesellschaft und Vereinbarkeit der sozialen Handlungen mit Bedingungen der Kapitalverwertung gewährleistet bleiben. Ebenso wie Gramsci (1986), geht dabei auch Joachim Hirsch (1995) vom Konzept des erweiterten Staates aus, der über die staatlichen Kerninstitutionen hinausgehend auf die Zivilgesellschaft einwirkt. Die Regulation erfolgt nicht durch ein steuerndes Subjekt wie „den Staat"; der Staat steuert zwar nicht die Gesellschaft, aber er garantiert den Akkumulationsprozess mit Hilfe seiner Zwangsmittel, und er ist auch selbst Gegenstand der Regulation.

Zwar setzt der Regulationsansatz auf die Aushandlung verschiedener gesellschaftlicher Akteure, doch fokussiert er nicht auf den Aspekt der Veränderung und Transformation. Hier steht im Zentrum vielmehr die Stabilisierung des kapitalistischen Akkumulationsregimes und seiner Reproduktionsweise. Die Stabilitätsbedingungen werden als Resultat sozialer Auseinandersetzungen und ausgehandelter (staatlich regulierter) Klassenkompromisse beschrieben. Dieser Ansatz beschreibt aufgrund seiner theoretischen Konstruktion im wesentlichen Stabilität und Erhalt kapitalistischer Akkumulationsweisen und Produktionsverhältnisse und bietet kein theoretisches Angebot für gesellschaftlichen Wandel. Gesellschaftlicher Wandel, die nicht-staatlichen Akteure und die neuen sozialen Bewegungen etc. kommen jeweils nur als ex-post Manifestationen von Klassenkompromissen zum Tragen. Dies ermöglicht zwar einerseits durchaus zeitnahe Beschreibungen, aber keine kritische Diskussion von anzustrebenden gesellschaftlichen Transformationen.

Die einseitige Fixierung auf die Deskription der Stabilität und der Adaptionsfähigkeit des Kapitalismus ist auch als eine theoretische Gegenbewegung im innermarxistischen Diskurs zu verstehen. Bislang bemühten sich linke Theoretiker, die Krise des Kapitalismus, seinen indizierten Zusammenbruch nachzuweisen. Politisch-ökonomisch bildete dabei das Theorem vom tendenziellen Fall der Profitrate das Kernstück der Krisentheorie; andere sahen in einer Disproportionalität von Konsum und Produktion die zentralen Krisenfaktoren. In soziologischen Krisentheorien der 70er Jahre wird von der Legitimationskrise des Wohlfahrts-(Sozial-)Staates gesprochen (Offe, Habermas), die dadurch entsteht, dass der Leistungsstaat die an ihn gerichteten Erwartungen zunehmend nicht mehr erbringen kann. Demgegenüber versucht die Regulationsschule die „Ultra-Stabilität" des Kapitalismus zu beschreiben, der die unterschiedlichsten Krisenbedingungen überlebt.

3.3 Ökonomische Regulation

In der ökonomisch geprägten Literatur existieren unterschiedliche Verständnisse von Regulation. Zunächst gibt es einen sehr exzessiven Gebrauch des Regulationsbegriffs; er meint hier bestimmte Regulationsstile wie z.B. bestimmte Formen der kapitalistischen Wirtschaft (wie rheinischer Kapitalismus, angelsächsischer Kapitalismus neo-liberaler Prägung etc.). Neben diesen ökonomischen Regulationsstilen war es insbesondere in Deutschland wie in Kontinentaleuropa v.a. als Folge der schweren Wirtschaftskrisen vor dem zweiten Weltkrieg aber auch danach durchaus üblich, Wirtschaftsprozesse über Verstaatlichung zu regulieren. Hinter der Verstaatlichung stand auch die Überzeugung vom Versagen des Marktes. Marktversagen bezog sich in Folge aber nicht mehr nur auf umfassende Wirtschaftskrisen, sondern auch auf unterschiedliche wirtschaftliche Tatbestände wie ruinöser Wettbewerb, Externalisierung interner Kosten, die Problematik öffentlicher Güter etc. Je mehr in diesem Kontext das Marktversagen in den Vordergrund rückte, desto stärker ging es in der ökonomischen Debatte um Regulation; je mehr ein Staatsversagen (als Regulator ökonomischer Prosperität und Stabilität) betont wird, geht es um Deregulierung. Deregulierung wird dann verstanden als Rückzug des Staates und seiner Institutionen, als Entbürokratisierung, als Herausnahme staatlicher Interventionen, als Einführung von gesellschaftlicher Selbstregulation (durch den Markt), als ein Mehr an Bürgernähe. Insbesondere im politisch-ideologischen Kontext wird Deregulierung mit Freiheit von Regulierung/Regulation gleichgesetzt.

„Sowohl in den USA als auch in Europa zeigt sich jedoch, dass mit der Deregulierung kein Rückzug des Staates aus diesen Sektoren verbunden ist, sondern dass sich lediglich die Form der staatlichen Einflussnahme verändert hat, in Europa v.a. in der Form des Übergangs von einer Regulierung durch Verstaatlichung zu einer Regulierung erwerbswirtschaftlicher Unternehmen mittels eigenständiger Institutionen. Es kann als ‚paradoxes of privatisation and deregulation' (Majone 1994) angesehen werden, dass nie so intensiv die staatliche Einflussnahme auf diese zentralen Sektoren der Volkswirtschaft thematisiert wurde wie in der Phase der Privatisierung. Parallel zu der Reform der Regulierung hat es eine Form von Re-Regulierung gegeben, insbesondere durch das kontinuierliche Anwachsen regulativer Eingriffe durch die europäischen Institutionen." (Scheele 2003: 6)

Regulierung auf liberalisierten Märkten betrifft insbesondere die Marktöffnung klassischerweise verstaatlichter Netzindustrien. Sie soll aus der Perspektive neoliberaler Ökonomie begrenzt sein und nur dann greifen, wenn Wettbewerb und Markt sich nicht frei entwickeln können. Regulierung im neoliberalen Sinne dient nur der Ermöglichung von Markt und Wettbewerb und wird überflüssig sobald Markt und Wettbewerb sich etabliert haben (Markt und Wettbewerb gelten ab diesem Zeitpunkt als „regulierungsfrei"). Es werden in der ökonomischen Literatur Strukturregulierung (Vertragsverhältnisse, Marktzugang, Separierung vertikal integrierter Monopole/Trennung von Netz und Betrieb) und Verhaltensregulierung (Preisregulierung von Netzkosten/Umweltbedingungen) mit jeweils ganz unterschiedlichen institutionellen Ausprägungen (Regulierungsbehörde, Selbstregulation etc.) unterschieden. Im Zuge der Liberalisierung ist festzustellen, dass für ausstehende Reformen hier wenig Tradition (im Gegensatz zur USA) existiert und insofern auch eine große Lücke hinsichtlich der theoretischen Basis für eine Deregulierungspolitik be-

steht. Überspitzt könnte man sagen, es fehlt gerade im Zuge des intensiven Beginns der Privatisierungsphase überhaupt das Verständnis für solche Formen der Regulierung (vgl. Scheele 2003). Dies wird auch besonders deutlich daran, dass bisher sektoral verfasste Regulierungsinstitutionen immer stärker unter Druck geraten, weil bedingt durch die technische und ökonomische Entwicklung es zu einer neuen Verknüpfung von Sektoren kommt und dies um so schärfer die Frage nach neuen (sektorübergreifenden) institutionellen Regulierungsstrukturen aufwirft. Festzuhalten bleibt an dieser Stelle zunächst, dass eine regulationsfreie Sicht nicht möglich ist – vielmehr wird eine Regulationsform nur durch eine andere ersetzt.

4 Kybernetische Regulationen

Die verschiedenen politisch-ökonomischen und juristischen Regulationsvorstellungen beziehen sich auf innergesellschaftliche Prozesse und Strukturen, und sie unterstellen innergesellschaftliche Regulationsmechanismen: Politische und ökonomische Entscheidungen, Verordnungen und Gesetze, Pläne und Projekte, Einsatz von Macht, Geld und Wissen. Doch naturale und technische Aspekte von Regulationen lassen sich so nicht erfassen. Beispielsweise sind für das Funktionieren der Wasserversorgung Regelungsmechanismen auf hydrologischer, ökologischer oder verfahrenstechnischer Ebene unabdingbar (Schramm 2004). Die Konstruktion und Analyse mechanischer, hydraulischer oder elektrischer Regulatoren hat eine weit zurückreichende handwerkliche und ingenieurwissenschaftliche Tradition: Zuflussregler in der Hydraulik, mechanische Fliehkraftregler in Dampfmaschinen, Lautstärkeregler bei Verstärkern sind willkürlich herausgegriffene Beispiele (Mayr 1969). Sie werden in den einschlägigen Wissenschaften traditionell als stofflich-energetische Kausalzusammenhänge aufgefasst; in einigen Fällen ist auch eine mathematische Darstellung des Regelungsprozesses gelungen[17].

Inzwischen werden im technischen Bereich derartige Mechanismen abstrahierend von ihrem jeweiligen materiellen Substrat mit einer kybernetischen Terminologie beschrieben und durch kybernetische Modelle dargestellt. Zwischen den Vorstellungswelten einer politisch-ökonomischen oder rechtlichen Regulation des *Handelns* von Personen, Gruppen oder kollektiven Akteuren einerseits, und einer Regelung technischer und biologischer *Systeme* andererseits, gibt es nur wenige Verbindungen. Personeller Austausch oder Transfer von Konzepten findet nur selten statt. Es handelt sich um getrennte Diskurse mit jeweils eigener Epistemologie, begrifflichem Rahmen und professionellen Standards. In dem Maße, wie die ökologische Krise und sozial-ökologische Regulationsprobleme zu einem Gegenstand der Wissenschaft werden, wächst aber der Bedarf an integrativen Konzepten, mit denen die getrennten Diskurse zusammengeführt werden können. Kann die Kybernetik diesen Bedarf abdecken?

17 So z.B. für den Watt'schen Fliehkraftregler, den ‚governor', durch James Clerk Maxwell im Jahre 1868. Bemerkenswert ist dabei, dass bei seiner formalen mathematischen Analyse die Rückkopplungsstruktur keine Rolle spielte.

4.1 Ursprünge

Norbert Wiener und die legendäre *Cybernetic Group*, die nach dem Zweiten Weltkrieg das kybernetische Wissenschaftsprogramms begründeten[18], bezogen sich zunächst ganz eindeutig auf technische und biologische Regelungsprobleme. Die Kybernetiker versuchten allerdings schon früh, Probleme der Regulation psychischer, anthropologischer, ökonomischer oder politischer Komplexe mit den neuen begrifflichen Mitteln zu beschreiben. Sie verorteten sich dadurch im Niemandsland zwischen den Diskursen und fachlichen Vorstellungswelten und entfalteten dort in intensiver Kooperation ihre universalistischen Vorstellungen. Formale Konzepte, Modellierungstechniken und Terminologien kamen in erster Linie aus der Regelungs- und Nachrichtentechnik; damit wurde aber von Anfang an versucht, auch Regelungen in Organismen zu begreifen. So kam es zu einem starken Konzepttransfer zwischen Regelungstechnik und Biologie, wodurch sich Terminologien, Begriffe und Modellierungstechniken verfeinerten und veränderten und sich nach und nach auch ein allgemeines Konzept kybernetischer Systeme herausbildete: „Das Vokabular der Ingenieure wurde bald verschmolzen mit den Ausdrücken der Neurophysiologen und Psychologen". (Wiener 1948: 43). Bereits in der frühen Kybernetik ist es also angelegt, Regulationsprobleme in Systemen zu untersuchen, die wesentlich komplexer sind als Flugabwehrraketen, Werkzeugmaschinen, Computer oder technische Netzwerke.

Die intensiven Versuche, *lebende Systeme* kybernetisch zu verstehen[19], haben dazu geführt, dass sich nach und nach der kybernetische Diskurs mit dem allgemeinsystemtheoretischen verschränkte, ohne jemals völlig darin aufzugehen (Müller 1996). Dadurch wurde aber innerhalb des kybernetischen Diskurses immer stärker die Frage aufgeworfen, was eigentlich unter einem *kybernetischen System* zu verstehen sei. Ist es ein raum-zeitlich abgrenzbares konkretes Objekt oder ein Operationszusammenhang, der sich in einer Umwelt erhält? Die Frage führte bald in schwieriges epistemisches Gelände. Denn in der Kybernetik werden Regelungen als Operationen in informationell *geschlossenen* Komplexen mit zirkulärer Kausalität konzipiert. Die zu regelnden Komplexe müssen aber stofflich-energetisch *offen* sein, damit sie ihre internen Prozesse in einer materiellen Umwelt erhalten können. Beschreibt man geregelte Komplexe als *System,* dann kommt man zu dem paradoxen Ergebnis, dass es sich um ein System handelt, das zugleich offen und geschlossen ist: operativ geschlossen und stofflich-energetisch offen[20]. Dadurch rückte die Frage nach der *Differenz von System und Umwelt* mehr und mehr in den Vordergrund. Überlagert wurde sie in den siebziger Jahren von der mit der Quantentheorie virulent gewordenen Frage, was es bedeutet, komplexe Systeme zu beobachten – und wie

18 In einer Serie von Konferenzen, finanziert von der Macy Foundation, traf sich zwischen 1946 und 1953 eine Gruppe, der u.a. Norbert Wiener, John von Neumann, Margaret Mead, Gregory Bateson, Warren Mc Culloch und Heinz von Foerster angehörten. Die Gruppe versuchte die während des Krieges entstandene avancierte Nachrichten- und Regelungstechnik mit den medizinischen, psychologischen, sozialen und ökonomischen Nachkriegsproblemen zu verbinden, um so eine neue fachübergeifende Wissenschaft zu entwickeln (Heims 1991, vgl. dazu auch Meister/Lettkemann 2004).

19 Das 1973 von Humberto Maturana und Francisco Varela entwickelte Konzept der Autopoiese, der operativ geschlossenen, stofflich-energetisch offenen ‚lebenden Systeme' liegt eindeutig in einer Verlängerung der kybernetischen Traditionslinie. (Maturana/Varela 1987)

20 Maturana und Varela haben diese Paradoxie zum Ausgangspunkt ihrer Systemtheorie des Lebendigen gemacht.

beobachtende Systeme zu beobachten sind: In *Observing Systems* (1981) hat Heinz von Foerster beide Fragen zusammengezogen. In diesem Sinne wurden im kybernetischen Diskurs von Anfang an auch epistemologische und ontologische Fragen diskutiert[21]. Aus derartigen Reflexionen hat sich das entwickelt, was inzwischen ‚Kybernetik zweiter Ordnung' genannt wird.

4.2 Begriffliche und analytische Mittel

Wir können uns hier weder mit der komplizierten Genealogie des kybernetischen Wissenschaftsprogramms noch mit dessen philosophischen Begründungen, Ausarbeitungen und Verzweigungen eingehender auseinander setzen. Vielmehr möchten wir die wichtigsten Prinzipien und begrifflichen Mittel der klassischen Kybernetik so weit skizzieren, wie sie für das allgemeine Verständnis von Regulationsproblemen relevant sind. Festzuhalten ist, dass im Rahmen dieser ‚Kybernetik erster Ordnung' ein analytisch-konstruktives Verständnis von Regelung und Steuerung entwickelt wurde, das sich auf die unterschiedlichsten Gegenstandsbereiche anwenden lässt. Norbert Wiener (1948) hat die Kybernetik zunächst als mathematische Theorie von Steuerungs- und Regelungsprozessen in Organismen und Maschinen entworfen. Seine konkreten Bezugspunkte sind also zum einen die als *Homöostase* bezeichnete biologische Regelung und Signalverarbeitung, mit der beispielsweise die Körpertemperatur oder der Zuckergehalt des Blutes aufrecht erhalten werden; zum anderen *Regelungstechniken*, wie sie in der kybernetischen Literatur immer wieder paradigmatisch anhand des Fliehkraftreglers oder des Thermostaten erläutert werden. Entscheidend für die Entwicklung der Kybernetik als fachübergreifende Wissenschaft war aber, dass Grundstrukturen, Prinzipien und Begriffe unabhängig von der materiellen Beschaffenheit der jeweiligen Gegenstandsbereiche durch starke *Abstraktionen* bestimmt wurden. Die klassische Kybernetik befasst sich dementsprechend mit Beziehungsgefügen, Strukturen und Prozessen, für die Steuerung und Regelung sowie die Aufnahme und Verarbeitung von Information kennzeichnend sind. Anders gesagt: Es handelt sich um eine formale Wissenschaft, die sich mit der Abstraktionsklasse geregelter Systeme beschäftigt. Aus realen, stofflich-energetisch verfassten Komplexen werden (mathematische) Modelle abstrahiert, die sog. *kybernetischen Systeme***,** die nur noch die für die Steuerung, Regelung und Informationsverarbeitung maßgebenden Aspekte enthalten. Möglich wurde dies durch neue begriffliche Mittel und Denkweisen.

21 Norbert Wiener und vor allem Gregory Bateson haben damit begonnen; Gotthard Günther, George Spencer Brown, Heinz von Foerster, Ernst von Glasersfeld, Humberto Maturana und Francisco Varela und viele andere haben diese Reflexionen fortgeführt. Das 1958 durch Heinz von Foerster gegründete ‚Biological Computer Laboratory' an der University of Illinois in Chicago war das intellektuelle Zentrum vielfältiger Anstrengungen, die ‚Kybernetik erster Ordnung' technisch und begrifflich zu erweitern. Die daraus entstandenen heterogenen Resultate werden inzwischen von philosophierenden Naturwissenschaftlern, Familientherapeuten und Soziologen zu einer ‚Kybernetik zweiter Ordnung' synthetisiert. In dieser Form werden sie dann genutzt, um den ‚radikalen Konstruktivismus' aber auch Luhmann's Systemtheorie zu begründen. Für die Soziale Ökologie ist es allerdings notwendig, die verschiedenen Ansätze und die heterogenen Resultate *vor* derartigen philosophischen Synthesen aufzunehmen und auf die eigene theoretische Problematik zu beziehen, also sozial-ökologisch zu rekonstruieren und zu synthetisieren.

So wird immer wieder von der *kybernetischen Revolution* gesprochen, die einen radikalen Bruch mit dem traditionellen Denken und seinen blockierenden Epistemologien darstelle. (Müller 1996: 122ff.). Das revolutionär Neue kann man in folgenden Aspekten sehen:

1. Abstrakt-mathematische Analyse von Regelungsvorgängen und Informationsverarbeitung durch *Analogien* zwischen Maschinen, biologischen Prozessen und Denkvorgängen.
2. Funktionale Analyse von *Rückkopplungen* und Regelkreisen; Identifikation funktionaler Elemente und Beziehungen, graphische und mathematische Modellierung.
3. Einführung der *Information* als einer Grundkategorie neben Materie und Energie; formal-mathematische Definition des Informationsbegriffs.
4. *Analytische Trennung* einer Ebene stofflich-energetischer Kausalprozesse von einer Ebene der Informationsübertragung und Informationsverarbeitung.
5. *Technische Realisation* eigener Systeme der Übertragung, Speicherung und Verarbeitung von Information in der Form von Datennetzen, Speichersystemen und Computern.

4.3 Information und zirkuläre Kausalität

Die wichtigsten begrifflichen Mittel der klassischen Kybernetik sind der *Regelkreis* und die *Information*. Vor der ‚kybernetischen Revolution' wurden Regelkreise als materiell strukturierte Kausalzusammenhänge beschrieben, als Regulatoren, welche den Gesetzen der Mechanik, der Hydromechanik, der Elektrizitätslehre oder der Biochemie folgen[22]. Aus diesem engen Kausalverständnis bewegte sich die Kybernetik heraus. Für den kybernetischen Begriff der Regelung und für die abstrakte Fassung des Regelkreises war das von Claude Shannon (1949) geprägte quantitative Maß für die *Information* das wichtigste begriffliche Mittel. Damit sollte zunächst untersucht werden, wie man eine als Signal kodierte Nachricht durch einen rauschenden Kanal (Telegraphen- oder Telefonleitung) mit möglichst geringem Informationsverlust übertragen kann.

Der kybernetische Informationsbegriff hat wenig mit dem alltäglichen gemeinsam; er ist ein statistischer Begriff und bezieht sich lediglich auf den syntaktischen Aspekt von Zeichen bzw. Zeichenmengen (formale Beziehungen zwischen den Zeichen). Semantische Aspekte (Bedeutungen) und pragmatische Aspekte (Zwecke) lassen sich damit nicht erfassen. Trotz dieser semiotischen Schwächen ermöglicht er es, von stofflich-energetischen Strukturen und Prozessen zu abstrahieren, sie nur insofern bei der Modellierung *kybernetischer Systeme* zu berücksichtigen, wie deren Merkmale für Regelungsprozesse relevant sind.

Die klassische Kybernetik hat deutlich gemacht, dass in den zu modellierenden realen Komplexen neben Prozessen der Stoffumwandlung, des Austauschs und der Umwand-

22 *Regulation* ist also kein neues Konzept. Wie sich Vorstellungen der biologischen Regulation im 18. und 19. Jahrhundert entwickelten, hat Georges Canguilhem (1979) überzeugend herausgearbeitet. Auch der Gedanke, Störungen organismischer Abläufe durch Rückwirkungen auszugleichen, taucht bereits im 19. Jahrhundert auf.

lung von Energie, auch Prozesse des Austauschs und der Verarbeitung von Information stattfinden. Solche *informationellen* Prozesse und durch informationelle Kopplungen gebildete Strukturen sind zwar immer an stoffliche oder energetische Prozesse gebunden, konstituieren aber eine qualitativ *neue Realitätsebene* mit eigenen Gesetzmäßigkeiten, die sich nicht auf physikalische oder bio-chemische Gesetze reduzieren lassen. „Die Kybernetik macht zum Gegenstand ihrer Forschung das Feld aller möglichen Maschinen (...) Die Art der Materie ist hierfür irrelevant, ebenso wie die Einhaltung von Gesetzen der Physik. Die Gesetze der Kybernetik sind nicht von ihrer Ableitung aus anderen Gebieten der Wissenschaft abhängig. Kybernetik hat ihre eigenen Grundlagen." (Ashby 1956: 16f.). Es lässt sich daher auch in allen geregelten materiellen Komplexen analytisch zwischen stofflich-energetischen und informationellen Prozessen unterscheiden. Mit kybernetischen Modellsystemen wird versucht, eine Ebene informationeller Prozesse unabhängig von ihrem materiellen Substrat zu repräsentieren[23] und die Kybernetik als „Wissenschaft von den informationellen Strukturen im technischen und außertechnischen Bereich" zu definieren (Steinbuch 1970: 20). In vielen technischen Konstruktionen wird die Regelung entweder durch ein eigenes Modul bewerkstelligt (bei einem Kühlschrank beispielsweise ist dies der für die Temperaturregelung zuständige Thermostat), oder es wird dafür ein eigenes Informationsnetz aufgebaut. Die expandierende Entwicklung von Computertechnologien, Speichermedien und Datennetzen macht deutlich, wie weit die Verselbständigung informationeller Strukturen bereits vorangetrieben wurde. Da in höheren Organismen sich das Gehirn und das Nervensystem auf den Austausch und die Verarbeitung von Informationen spezialisiert haben, ist es verständlich, dass zwischen Neurophysiologie und Hirnforschung einerseits, Informatik und Computerwissenschaft andererseits enge Beziehungen bestehen.

Es ist zwar möglich, in allen geregelten Komplexen analytisch eine eigene Ebene des Informationsaustausches und der Verarbeitung von Information zu unterscheiden, so auch in der Gesellschaft; doch daraus lässt sich nicht der Schluss ziehen, stofflich-energetische Prozesse würden hier keine Rolle spielen, sie seien lediglich eine ‚Umwelt' für die kommunikativ-symbolisch verfassten ‚sozialen Systeme'. Bei den in der Sozialen Ökologie untersuchten problematischen Sachverhalten beispielsweise geht es um Regulationsprobleme, bei denen technisch-materielle und kommunikativ-symbolische Regulationen so zusammenspielen, dass sich stark gekoppelte *sozial-ökologische Systeme* herausbilden. Dies ist z.B. bei Versorgungssystemen der Fall, die eine Mittlerfunktion zwischen Natur und Gesellschaft einnahmen. Bei einer kybernetischen Modellierung solcher Systeme müsste genau dieses Zusammenspiel auch auf der Modellebene repräsentiert werden. Die entsprechenden Forschungen stehen hier allerdings erst am Anfang.

Begriffliches Kernstück eines klassischen kybernetischen Systems ist der *Regelkreis.* Er hat zwar eine einfach zu durchschauende Struktur, doch seine Funktionsweise ist nicht einfach zu begreifen. Denn technische Regelkreise oder physiologische Prozesse der Homöostase lassen sich mit der traditionellen Vorstellung *linearer* Ursache-Wirkungs-

23 Die damit verbundenen *ontologischen Fragen* werden dann besonders virulent, wenn die analytische Unterscheidung zu einer faktischen Trennung hypostasiert wird. Ein Beispiel dafür ist die Luhmann'sche Systemtheorie: Dort wird ‚Gesellschaft' als reines Kommunikationssystem definiert und ontologisch gesetzt: „Es *gibt* Systeme".

ketten nicht beschreiben. Will man trotzdem auf Kausalbeschreibungen nicht verzichten, dann muss ein neues Denkmodell entwickelt werden: Eine Wirkung wird auf ihre eigene Ursache als diese bewirkende Ursache zurückgeführt. Durch derartige *Rückwirkungen* entstehen geschlossene Wirkungsketten. In der Kybernetik spricht man in diesem Fall von *zirkulärer Kausalität.* Wo immer man auf der Zeitachse zwischen Ursache und Wirkung unterscheidet, beim Durchlaufen des zirkulären Prozesses vertauschen Ursache und Wirkung immer wieder ihren Platz. Eine eindeutige zeitliche Abfolge (immer erst Ursache, dann Wirkung) lässt sich also nicht mehr angeben. Dies führt bei kybernetischen Erklärungen zu schwierigen logischen Problemen (Bateson 1985: 515ff.).

Es eröffnet sich aber auch eine Möglichkeit, die uralte Kontroverse über den wissenschaftlichen Status des teleologischen Denkens (Hartmann 1966), also den Gegensatz zwischen „Zweckursachen" (Finalität) und „Wirkursachen" (Kausalität) aufzulösen[24]. In einer inzwischen klassischen Untersuchung haben Rosenblueth, Wiener und Bigelow (1943) gezeigt, dass Kausalkategorie und Zweckkategorie sich nicht widersprechen müssen: Kausalbeschreibungen beziehen sich auf einfache Prozesse, die sich aus einsinnig gerichteten und irreversiblen Wirkungsbeziehungen zwischen unterscheidbaren Elementen ergeben; *Kausalität* ist also eine einfache Prozesskategorie. Zwecke beziehen sich dagegen auf das Verhalten eines geordneten Komplexes einfacher Kausalprozesse; *Zweck* ist daher eine Systemkategorie. Das Argument von Rosenblueth et al. gilt allerdings nur bei konsequenter *System*betrachtung. Die Frage, ob menschlich-gesellschaftliches *Handeln* kausal oder teleologisch zu erklären sei, bleibt offen[25]. Sie wird derzeit zwischen Hirnforschern und Philosophen heftig diskutiert. In der frühen Arbeit von Rosenblueth u.a. wurde auch die Idee skizziert, die zirkuläre Kausalität sei die *logische Form* der Rückkopplung. Dieser logischen Form müssen auch komplexe Systeme genügen: Sie passen sich an eine veränderliche Umwelt an, erreichen durch interne Rückkopplungen bestimmte Zustände, und erhalten diese dann trotz Störungen aus der Umwelt aufrecht. Einen solchen Zustand kann man als ‚Zweck' (oder als ‚Ziel') bezeichnen und das entsprechende Systemverhalten als „purpose controlled by feed back". Es ist daher auch sinnvoll, kybernetische Systeme als *zielorientierte Systeme* zu charakterisieren. Wichtig ist dabei, dass die logische Form zweckgerichtetes Systemverhalten ermöglicht, und es dafür keiner externen Instanz der Zwecksetzung bedarf.

24 Vgl. dazu die auch wichtige Studie über *Zweckbegriff und Systemrationalität*, in der Niklas Luhmann den Anspruch der Kybernetiker, die Teleologie wissenschaftlich zu erklären, relativiert. (Luhmann 1999: 157ff.)

25 Man kann die Kontroverse dadurch im Sinne der Kybernetiker entscheiden, dass man auch Handeln in Systembegriffen beschreibt, wie das beispielsweise Talcott Parsons mit seiner Theorie allgemeiner *Handlungssystem* versucht hat (Parsons 1968).

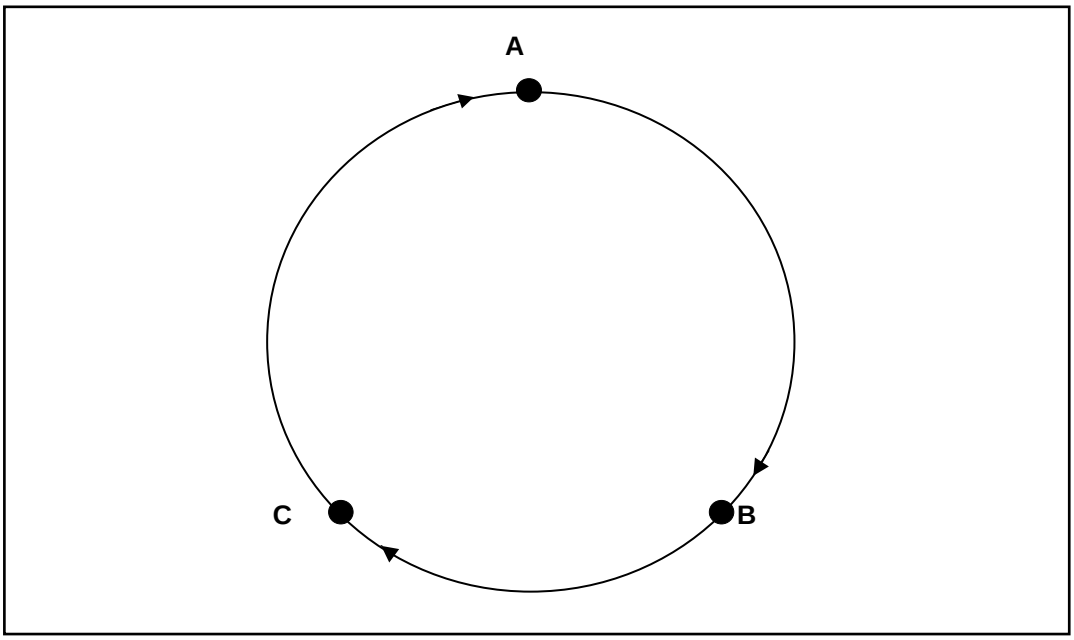

Abbildung 1: Zirkuläre Kausalität in einer Rückkopplungsschleife

Betrachten wir diese logische Form etwas genauer: Eine Anfangsursache pflanzt sich (z.B. vom Glied A aus über Glied B) entlang der verschiedenen Glieder der Schleife fort. Jedes Glied übt eine Wirkung auf das jeweils nächste aus, bis das letzte Glied die Wirkung auf das erste „zurückspeist" (*feed back)*. Die einzelnen Glieder können dabei Dinge, Systeme oder Elemente eines Systems sein. In der kybernetischen Terminologie nennt man die Einwirkungen, die ein Glied erleidet, dessen *Input*, die Wirkungen, die es selbst ausübt, seinen *Output*. Glieder, die in der Lage sind, durch interne Mechanismen einen Input in einen Output zu transformieren, werden *aktive Elemente* genannt. Sowohl deren Input als auch deren Output setzen sich aus Stoff-, Energie- und Informationsströmen zusammen. Da der Output des letzten Gliedes zum Input des ersten Gliedes wird, modifiziert sich die Anfangswirkung nach jedem Durchlauf. Modifiziert sie sich so, dass bestimmte Systemzustände (oder Werte einzelner Systemvariablen) in einem begrenzten Korridor konstant gehalten werden, kommt es zu einer *Selbstregulation.*

Derartige zirkuläre Prozesse gefährden jede Logik, die kein Verhältnis zur Zeit hat. Das sieht man schon an dem einfachen Beispiel einer Regelung der Zimmertemperatur durch Ein- und Ausschalten der Heizung mittels eines Thermostaten. Beschreibt man diesen Regelungsprozess mit einer zeitfreien klassischen aristotelischen Logik dann kommt man zu paradoxen Aussagen der Form: „Wenn die Heizung sich einschaltet, schaltet sie sich aus." Die logische Form derartiger zirkulärer Vorgänge, ist ganz offensichtlich mit der klassischen aristotelischen Logik nicht darstellbar. Es wurde daher im kybernetischen Diskurs nach Wegen gesucht, die mit der zirkulären Kausalität verknüpften Paradoxien nicht einfach als *Teufelskreise* zu fürchten, sondern als *kreativen Zirkel* zu lieben – statt *circulus vitiosus* ein *circulus virtuosus* (von Foerster 1985 – Sicht und Einsicht). Eine derartige Umwertung fand bereits innerhalb der klassischen Kybernetik statt: Positive Rück-

kopplungen wurden dort als *reinforcement* in kybernetische Lerntheorien aufgenommen: *Lernen* ist ohne selbstverstärkende Rückwirkungen nicht möglich. Gregory Bateson hat unter diesem Gesichtspunkt versucht, Lernen und Evolution in einem theoretischen Konzept darzustellen. (Bateson 1987)[26]

Rückwirkungen kommen aber nicht nur in Regelkreisen vor. Zirkuläre Kausalität ist eine viel allgemeinere Erscheinung. Dinge, Systeme, Elemente von Systemen usf. wirken nicht nur auf andere ein, sondern die von ihnen hervorgerufenen Wirkungen können direkt oder indirekt auf sie zurückwirken. Traditionell werden derartige Wirkungszusammenhänge, wie sie beispielsweise für die Physik ganz zentral sind, als *Wechselwirkungen* bezeichnet[27].

Man kann formal zwei Grundformen der Rückwirkung unterscheiden: direkte und indirekte.

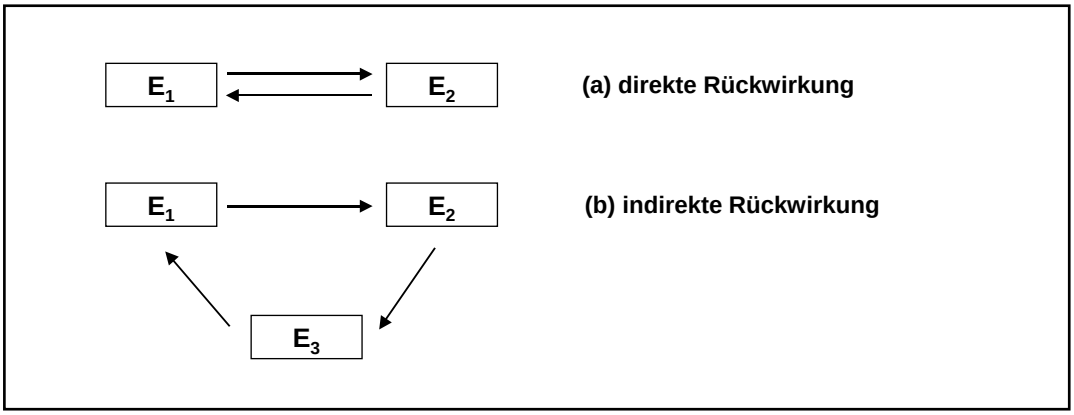

Abbildung 2: Direkte und indirekte Rückwirkung

Die direkte Rückwirkung kennt man aus der Physik, wo beispielsweise die Massenanziehung zwischen zwei Körpern nach den Gravitationsgesetzen sowohl vom ersten Körper auf den zweiten – als auch umgekehrt wirkt. Sowohl im Fall (a) der direkten Rückwirkung,

26 Zugleich wurde versucht, eine nichtaristotelische Logik zu entwerfen, die mit *Paradoxien* produktiv umgehen kann und in der zugleich die *Zeit* eine besondere Rolle spielt. Darüber ist es zu interessanten Annäherungen an die dialektischen Logik im Hegelschen Sinne gekommen – wofür die Arbeiten Gotthard Günther's zu einer ‚operationsfähigen Dialektik' stehen. Einen ganz anderen Weg hat der etwas skurrile Mathematiker George Spencer Brown mit seinen *Laws of Forms* (1969) eingeschlagen. Er erarbeitete einen Unterscheidungs-Kalkül, mit dem zirkuläre Prozesse denkbar werden. Das wichtigste Ergebnis all dieser Bemühungen: Zirkuläre Prozesse werden dadurch denkbar, dass sie nicht im klassischen Sinne als *Einheit* beschrieben werden, sondern als operative *Differenz*, eine Differenz die Differenzen erzeugt. Die daraus gezogenen Folgerungen führen allerdings aus der ‚Kybernetik erster Ordnung' heraus und in die konstruktivistischen Epistemologien der ‚Kybernetik zweiter Ordnung' hinein. Dort werden kybernetische Systeme als eine Klasse von Objekten verstanden, die *selbstreferentiell* verfasst und *differentiell* konstituiert sind. Der Regelkreis ist gewissermaßen das dafür paradigmatische Objekt.

27 Stofflich-energetische Komplexe lassen sich immer als Systeme materieller Wechselwirkungen beschreiben. Die Unterschiedlichkeit der Wechselwirkungen (z.B. Gravitation oder elektro-magnetische Wechselwirkungen) bedingt die Unterschiedlichkeit materieller Systeme.

als auch bei der indirekten Rückwirkung (b) liegt eine geschlossene Wirkungskette vor, eine jeweils andere Form zirkulärer Kausalität.

Nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen bildet eine geschlossene Wirkungskette einen *Regelkreis*. Ganz allgemein gilt: Kybernetische Systeme sind Wechselwirkungssysteme, die mindestens eine geschlossene Wirkungskette enthalten. Dies ist zwar eine notwendige, aber noch keine hinreichende Bedingung. Denn zum kybernetischen Regelkreis wird die geschlossene Wirkungskette erst dann, wenn sie eine *kompensierende Rückkopplung* enthält. Das entsprechende System kann dann innerhalb seines Stabilitätsbereichs bestimmte Systemzustände aufrechterhalten. In mechanischer Analogie gesprochen: Es kann immer wieder zu einem *‚Gleichgewichtszustand'* zurückkehren, wenn es durch innere oder äußere Störungen aus einem solchen verdrängt worden ist. Der Kybernetik wird oft vorgehalten, dass sie durch ihre Fokussierung auf derartige Gleichgewichtszustände oder auf Formen von Systemstabilität, nicht angemessen erfassen können, was das Besondere dynamischer Phänomene ausmacht. Doch dieser Vorwurf verkennt, dass der Fortschritt der Kybernetik gegenüber dem mechanischen Gleichgewichtsdenken gerade darin besteht, Gleichgewicht und Stabilität nicht als ein allgemeines Prinzip von Natur und Gesellschaft zu sehen, sondern als *Problem*, als ständig gefährdete Muster in dynamischen Beziehungen und Prozessen.

4.4 Regelkreise

Kausale Beschreibungen von Regelkreisen wurden bereits im 18. und 19. Jahrhundert im Maschinen- und Anlagenbau, in der Elektrotechnik, in der Biologie oder in der Psychologie vorgenommen. Dabei mussten die Spezifika der aufeinander einwirkenden Elemente und die Spezifika der kausalen Wirkungen (z.B. durch Kräfte) berücksichtigt werden. Doch die Strukturähnlichkeit der stofflich-energetisch so unterschiedlichen Regelungsmechanismen wurde erst durch die Kybernetik aufgedeckt. Dadurch wurde es möglich, die kausale Beschreibung von Regelkreisen durch eine informationstheoretische zu ersetzen – und dabei von der besonderen materiellen Beschaffenheit der geregelten Systeme weitgehend zu abstrahieren. Analytisch wird dabei deutlich unterschieden zwischen

- dem zu regelnden Komplex (das ‚Objekt' der Regelung, das zu regelnde ‚System'),
- dem Regler,
- dem Zweck der Regelung.

Diese Unterscheidungen werden dann in das Schema des Regelkreises übertragen:

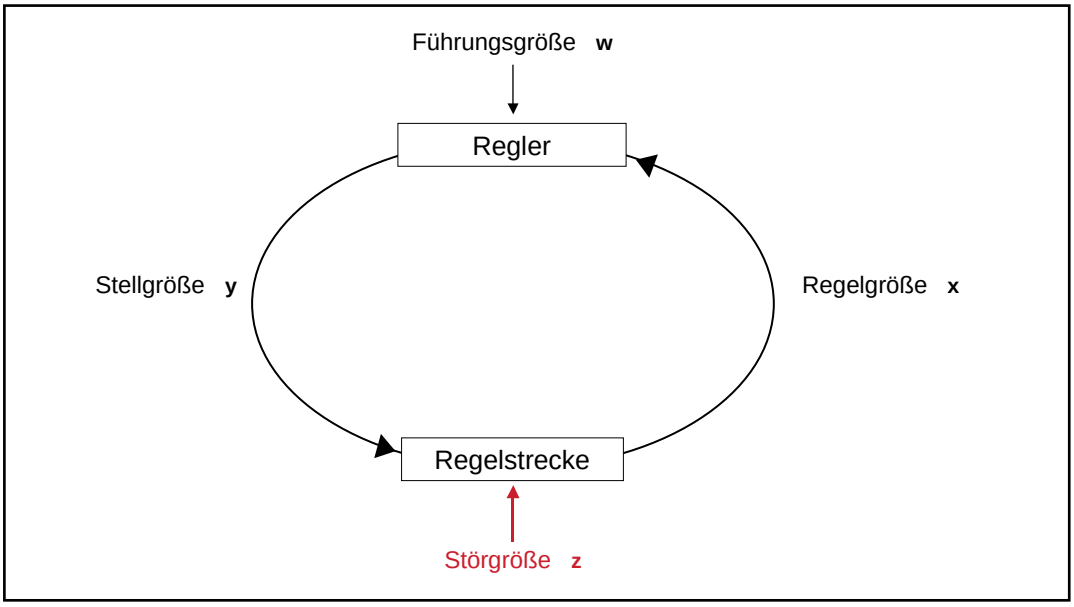

Abbildung 3: Struktur- und Funktionsschema eines einfachen Regelkreises

- Der zu regelnde Komplex wird als *Regelstrecke* informationell repräsentiert: Die wesentlichen Variablen, die sein „inneres Milieu“ bestimmen, zusammengefasst als *Regelgröße,* sollen innerhalb eines bestimmten Wertebereiches invariant bleiben und um einen *Sollwert* schwanken. Auf die Regelstrecke wirken innere und äußere *Störgrößen* ein, welche zu Abweichungen der Regelgröße vom Sollwert führen.
- Der *Regler* vergleicht Informationen über den Ist-Wert der Regelgröße mit einem Soll-Wert. Aus der ermittelten Differenz wird der Regelstrecke ein Input zugeführt, der als *Stellgröße* die Werte der Regelgröße so beeinflusst, dass die Regelgröße entweder auf dem vorgegeben Wert gehalten bzw. auf ihn zurückgebracht wird. Aus dem Zweck der Regelung ergibt sich der *Sollwert*, wobei es sich dabei nicht um einen zeitlich konstanten Wert handeln muss. Soll das System einer zeitlich veränderlichen Größe nachgeführt werden, dann spricht man von einer *Führungsgröße*, welche den zeitlich konstanten Sollwert als Spezialfall umfasst.

Das kybernetische Struktur- und Funktionsschema des Regelkreises lässt sich wiederum in ein zirkuläres Kausalschema rückübersetzen:

Das Struktur- und Funktionsschema des einfachen Regelkreises, wie er in Abb. 3 dargestellt ist, enthält nur informationelle Elemente und Prozesse. Doch jeder Informationsfluss ist an einen stofflichen Träger gebunden und ohne Energieumwandlungen nicht möglich. Von diesen materiellen Aspekten der Regelung kann aber sowohl bei der Ermittlung des Ist-Wertes einer Regelgröße als auch bei der Festlegung der Stellgröße nicht abstrahiert werden. Die materiellen Aspekte werden im Regelkreisschema durch einen Rezeptor und einen Effektor repräsentiert: *Rezeptoren* (Messgeräte, organische Fühler etc.) überwachen die Prozesse in der Regelstrecke, die durch äußere oder innere Störungen beeinflusst werden. Sie ermitteln den Ist-Wert der Regelgröße und geben ihn als Information an

den Regler weiter. Aus der Differenz zwischen Ist- und Sollwert erarbeitet der Regler eine Information für den *Effektor*, der daraus die Stellgröße zur Kompensation der Abweichung bildet. Betrachtet man das Schema des Regelkreises als Grundmuster eines Systems, dann wird deutlich, dass ein Eingriff von außen nicht notwendig ist, um Abweichungen der Regelgröße vom Sollwert zu kompensieren. Bereits der einfache Regelkreis ist ein elementares Modell der *Selbstregulation*.

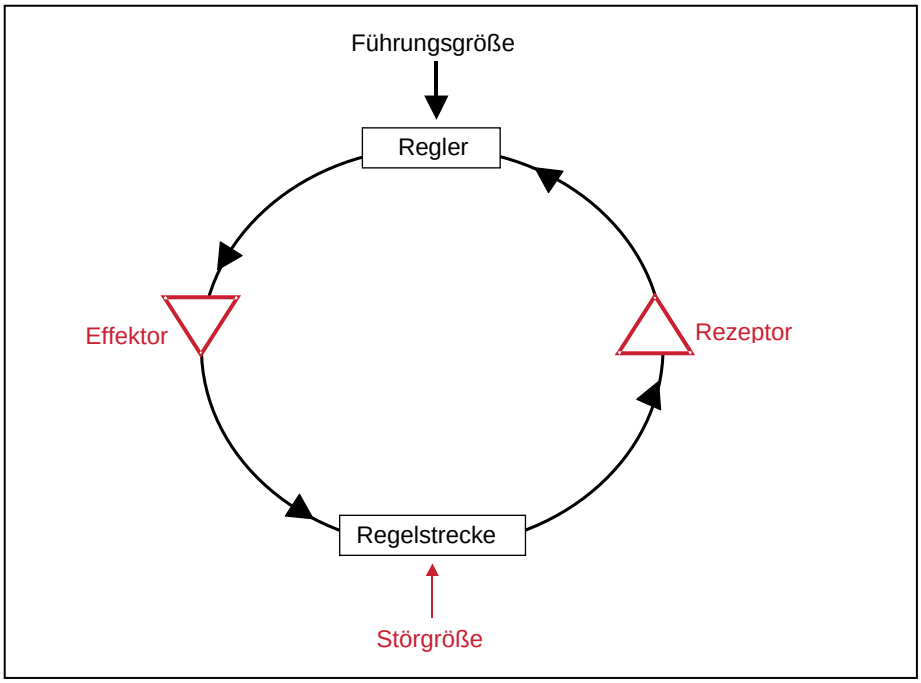

Abbildung 4: Erweitertes Schema eines einfachen Regelkreises

4.5 Regelkreise und Teufelskreise

In der klassischen Kybernetik werden zwei Arten von Rückkopplung unterschieden:

(a) Die selbstausgleichende *(‚negative'*) Rückkopplung, wie sie im *Regelkreis* genutzt wird. Die Rückkopplungen wirken hier ausgleichend oder kompensierend auf die Regelgröße ein, verringern die Differenz zwischen Soll- und Ist-Wert. Jede Veränderung durch eine Aktion führt nach einer Bewertung der Wirkung zu einer Korrektur. Das System bleibt dadurch auf ein bestimmtes Ziel (die Führungsgröße) hin ausgerichtet, kontrolliert ständig, ob dieses Ziel erreicht wird und korrigiert durch Rückkopplung sein Verhalten, um dem Ziel näher zu kommen. (vgl. Ravn 1997: 137)

(b) Die selbstverstärkende (‚positive') Rückkopplung, die zu einem ‚Teufelskreis' führen kann. Eine anfängliche Abweichung wird ständig verstärkt, die Differenz zwischen Ist-Wert und Soll-Wert vergrößert sich also beim Durchlaufen der Rückkopplungsschleife immer weiter.

Die klassische Kybernetik hat sich auf die *negative Rückkopplung* konzentriert, weil nur durch sie selbstregulierende Prozesse in Maschinen und Organismen möglich werden. Wie schon mehrfach gesagt, geht es hierbei um die dynamische Stabilisierung bestimmter Zustände oder um die Verringerung von Differenzen zwischen Ist-Werten und Soll-Werten. Die *positive Rückkopplung*, der Teufelskreis, wurde dagegen fast immer unter dem Aspekt betrachtet, dass sich durch sie Störungen und Abweichungen aufschaukeln, ein Umstand, der technisch und gesellschaftlich zu vermeiden sei: das ansteigende Pfeifen einer Lautsprecheranlage bei Rückwirkung der Lautsprecher auf die Mikrophone, die sich multiplizierenden Verstopfungen bei einem Verkehrsstau, das ungebremste Wachstum einer Population oder die Kettenreaktion bei einer Kernexplosion. Dies sind Beispiele dafür[28] wie sich eine schlimme Situation durch eine zirkuläre Abfolge von Ereignissen weiter verschlimmert Allgemeiner gesagt: Positive Rückkopplung führt zu einer Differenzverstärkung. Man kann sie sich als eine nach oben offene Spirale (im Gegensatz zum geschlossenen Regelkreis) vorstellen.

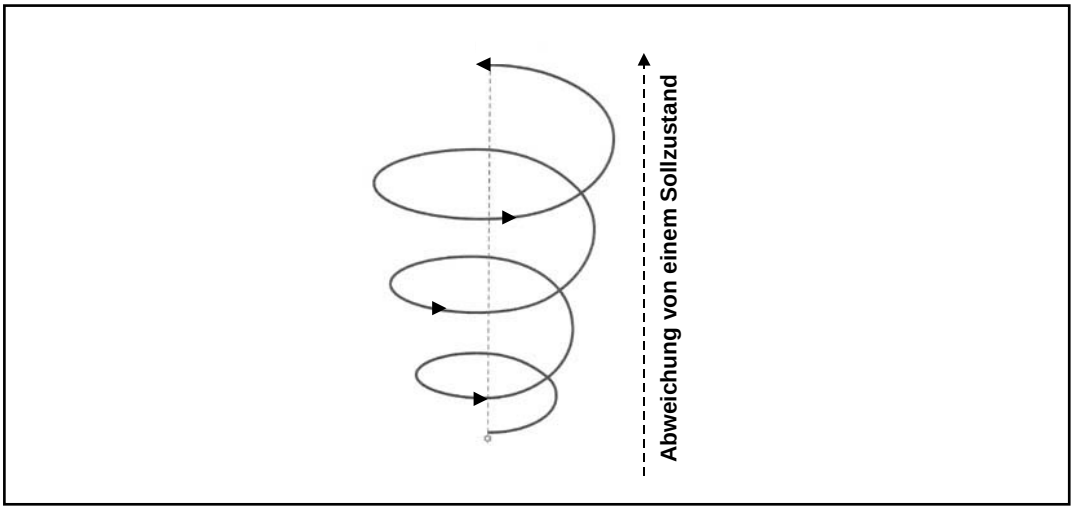

Abbildung 5: Abweichungsverstärkung durch positive Rückkoppelung

Eine derartige Differenzverstärkung wirft ganz andere Probleme auf als die Differenzverminderung durch negatives Feedback – übrigens auch ganz andere logische Probleme. Bezogen auf das gesamte System geht es bei negativer Rückkopplung um Systemstabilität, bei positiver Rückkopplung um Systemveränderung. Die Frage ist allerdings: Wie weit können diese Veränderungen getrieben werden, ohne dass sich das System selbst gefährdet? Wie weit können bestimmte Variablen gesteigert werden, wenn es sich bei diesen Variablen immer nur um Variablen unter anderen Variablen handelt (Luhmann 2002:

28 Für manche Kybernetiker bedeutet negative Rückkopplung Leben, positive den Tod: „Dieses der negativen Rückkopplung eines Regelkreises entgegengesetzte Prinzip taucht in der Lebenswelt auch immer dort auf und beginnt zu dominieren, wo ein Teilsystem dem Gesamtsystem gefährlich wird. Denn der Grund für das Gefährlichwerden ist ja das Umschlagen in positive Rückkopplung, die nun automatisch zur Explosion oder zum Einfrieren führt, also zum Tod, entfernt sich das störende Glied aus der Welt des Lebendigen, die es nun, da es nicht mehr mitspielt, auch nicht mehr zerstören kann.“ (Vester 1980: 73)

56)? Beispiele für selbstdestruktive Entwicklungen durch positive Rückkopplungen gibt es nicht nur in Technik und Natur, sondern auch in der Gesellschaft in Hülle und Fülle: Ungebremste Zunahme des Ressourcenverbrauchs und der Flächennutzung, der Bevölkerung und des Nahrungsmittelverbrauchs, der Beamtenstellen und der Staatsausgaben. Sie werden im politisch-ökologischen Diskurs als Beispiele für mögliche katastrophische Entwicklungen angesehen.

Doch Systeme mit reinen selbstverstärkenden Rückkopplungen kommen in Natur und Gesellschaft nicht vor: Die natürliche Welt ist endlich, deswegen ist in ihr ein maßloses Wachstum nicht möglich. Die positiven, wachstumsfördernden Rückkopplungen werden durch negative Rückkopplungsschleifen zumindest teilweise wieder ausgeglichen, ihre Kettenreaktionstendenzen also begrenzt. Beispielsweise hat jede Spezies in einem Ökosystem zwar das Potential zu einem exponentiellen Populationswachstum, aber diese Tendenzen werden durch die endlichen Nahrungsvorräte und andere ausgleichende Wechselwirkungen in Schach gehalten. Bereits in den sechziger Jahren begannen einige Kybernetiker das Zusammenwirken negativer und positiver Rückkopplungen in natürlichen und sozialen Systemen genauer zu studieren. Magoroh Maruyama (1963) hat dafür den Terminus „Second Cybernetics“ eingeführt und ein einfaches Schema zur Analyse derartiger Zusammenhänge vorgeschlagen, das bis heute in der kybernetischen Systemanalyse benutzt wird (Bossel 1994): Die kausalen Wirkungen zwischen zwei Elementen A und B innerhalb einer Rückwirkungsschleife werden als ‚positiv‘ definiert, wenn sie gleichgerichtet wirken, als ‚negativ‘ wenn sie entgegengerichtet wirken. ‚Gleichgerichtet‘ bedeutet, dass die Zunahme der bewirkenden Größe A auch zu einer Zunahme der Wirkung auf B führt (entsprechend auch: die Abnahme von A zu einer Abnahme von B); ‚entgegengerichtet‘ bedeutet, dass die Zunahme von A zu einer Abnahme von B führt. Erläutern kann man dies ganz gut am Beispiel der Steuerung eines Bootes:

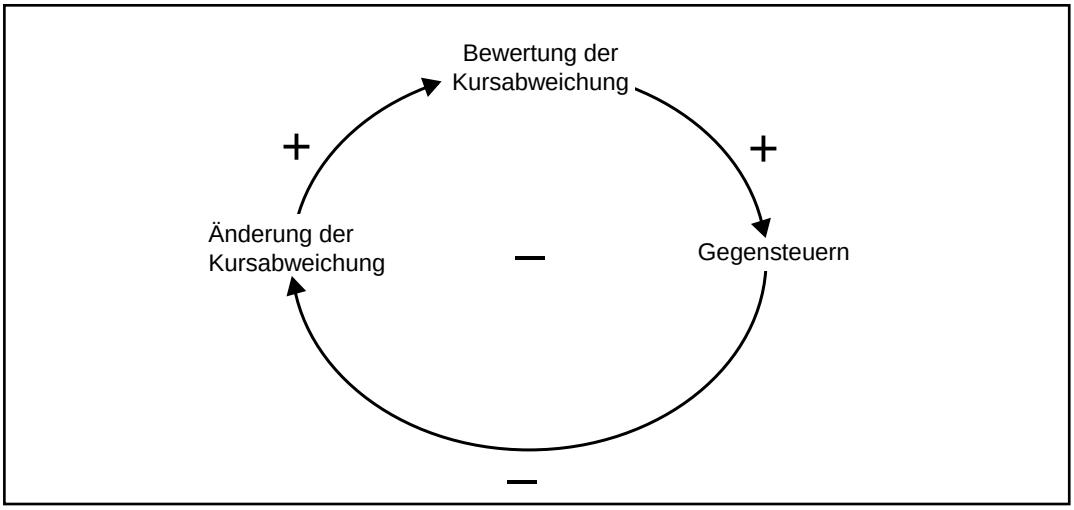

Abbildung 6: Positive und negative Kausalbeziehungen bei der Bootssteuerung (nach Capra 1996: 76)

Bei der Beschreibung müssen kausale und informationelle Beziehungen miteinander verknüpft werden. Das Boot soll trotz starken Seitenwinds einen bestimmten Kurs halten. Vom Steuermann wird die aktuelle Kursabweichung auf Grund von Informationen über den aktuellen Kurs des Bootes bewertet und eine Aktion des Gegensteuerns eingeleitet: Je größer die Abweichung vom Kurs, umso größer ist auch der energetische Aufwand zum Gegensteuern – die Kausalbeziehung ist ‚positiv'. Die nächste Beziehung ist ‚negativ', denn je stärker gegengesteuert wird, umso mehr wird die Kursabweichung abnehmen. Die letzte Beziehung ist wieder positiv, denn die Kursabweichung wird vom Steuermann gegenüber der ersten Bewertung als geringer eingeschätzt. Es geht also immer um die *relative* Richtung von Veränderungen, also nicht um absolute Werte, sondern um Differenzen. Das Schema der Bewertung von Kausalbeziehungen ermöglicht es auch nach einer einfachen Regel den Gesamtcharakter der Rückkopplungsschleife zu bestimmen: Eine Rückkopplungsschleife ist insgesamt selbstausgleichend (‚negativ'), wenn sie eine ungerade Zahl negativer Kausalbeziehungen enthält, und selbstverstärkend (‚positiv') bei einer geraden Zahl negativer Beziehungen (Richardson 1992 – in Capra 1996).

Bei positiven Rückkopplungen geht es nicht um die Stabilisierung von Zuständen in einer störenden Umgebung, sondern darum, Wachstumsprozesse, Strukturbrüche, Turbulenzen und starke Schwankungen zu bewältigen, die in der Tat bis zur Selbstdestruktion der Systeme führen können. In komplexen nicht-linearen Systemen spielen positive und negative Rückkopplungen auf komplizierte Weise zusammen. Erst in den letzten Jahren wurde erkannt, dass durch positive Rückkopplungen Turbulenzen, sich selbst aufschaukelnde Schwankungen und Instabilitäten entstehen, die nicht unbedingt zur Selbstdestruktion führen müssen. Ganz im Gegenteil, es kann zu Strukturbrüchen kommen, aus denen heraus sich dann wieder neue Ordnungsformen entwickeln können, wie sie für die Selbstorganisation typisch sind. Wir wissen inzwischen: Nur Systeme mit positiver Rückkopplung sind evolutionsfähig. Schon deshalb müssen sie bei jeder Theorie berücksichtigt werden, die evolutionäre Veränderungen begreifen und sozial-ökologische Transformationen gestalten will. Denn mit Hilfe des Mechanismus der Abweichungsverstärkung kann man erklären, wieso aus bestimmten kleinen, quasi zufälligen Anfängen große Wirkungen entstehen, die nach und nach die Strukturen eines bestimmten Systems festlegen und historisch dann kaum revidierbar sind. Niklas Luhmann hat das an einem Beispiel erläutert:

„Aus welchen Gründen beispielsweise finden wir Mexico-City an dem relativ ungünstigen Platz von Mexico-City? Weshalb finden wir eine Stadt von vielleicht 20 Mio. Einwohnern dort, wo es unter klimatischen, verkehrsmäßigen und vielen anderen Gründen, auch vom Boden her gesehen relativ ungünstigen Umständen nicht sehr zweckmäßig ist, eine Stadt zu gründen? Liegt der Grund darin, dass die Azteken beim Einwandern in dieses Gebiet eine unbewohnte Insel fanden, auf der sie sich festsetzten? Liegt der Grund darin, dass die Spanier dort eine etablierte Kultur und ein Herrschaftszentrum vorfanden, das sie besetzen und umfunktionieren konnten? Liegt der Grund darin, dass das spanische Imperium auf Zentren dieser Art angewiesen war? usw. usw. Die Theorie hat keine Voraussagequalitäten. Sie erklärt nicht, weshalb Mexico-City am Platz von Mexico-City steht, sondern sie erklärt nur, wie es kommt, dass bestimmte Entwicklungen mit einem Selbstverstärkungsmechanismus laufen und nicht unter Rücksicht auf die Folgen, auch nicht unter

Rücksicht auf Zweckmäßigkeit kontrolliert werden können. Im Verhältnis zur klassischen Evolutionstheorie liegt darin ein skeptisches Moment.“ (Luhmann 2002: 56ff.)

Luhmanns Beispiel veranschaulicht, wie es aus zufälligen Anfangsbedingungen zu weit reichenden nicht-linearen Wirkungen kommt, die zu neuen Strukturen, emergenten Ordnungsmustern und neuen Gleichgewichtszuständen führen können. Um ein besseres Verständnis des Zusammenwirkens von positiver und negativer Rückkoppelung zu ermöglichen, kann man mit Blick auf das Mexico-City-Beispiel feststellen, dass sich hier ein Muster herausgebildet hat, das durch intensiven Austausch mit der Umwelt (z.B. Wasser/Energiezufuhr) auf fast chaotische Weise eine innere Ordnung aufrecht erhält. Was beispielsweise bei Raskin et al. (2003) im Rahmen von Szenarioanalysen als *Great Transition* beschrieben wird, ist ein Prozess, bei dem durch positive Rückkopplungen eine Dynamik ausgelöst wird, die zu neuen gesellschaftlichen Strukturen führen kann. Dieses Entstehen neuer Ordnungsmuster und Strukturen ist aber durch positive Rückkoppelungen allein nicht zu erklären: Bei den Übergängen müssen sich auch negativer Rückkoppelungen ausbilden, welche die Wachstumsdynamik begrenzen und neue Zustände stabilisieren. Resultativ können wir über das Zusammenwirken positiver und negativer Rückkopplungen folgende Punkte festhalten:

Positive Rückkoppelung bewirkt:
- Abweichungsverstärkung, destruktive Wachstumsprozesse etc.
- chaotisches Systemverhalten, Turbulenzen und Schwankungen
- Ungleichgewichtszustände, ‚Vergessen‘ der Anfangsbedingungen
- Phasenübergänge
- Lernmöglichkeiten

Die *negative Rückkoppelung* bewirkt dagegen:
- Begrenzungen destruktiver Wachstumsdynamiken
- Ausbildung, Stabilisierung neuer Ordnungsmuster und Strukturen
- Identitätsbildung.

Die Einführung der positiven Rückkopplung und die systematische Analyse des Zusammenspiels von Regelkreisen und Teufelskreisen markiert einen weiteren Übergang von der klassischen Kybernetik zur ‚Kybernetik zweiter Ordnung‘ sowie zu den Theorien evolutionsfähiger komplexer adaptiver Systeme.

4.6 Regelung von Regelungen in vermaschten kybernetischen Systemen

Bei komplexen kybernetischen Systemen kann die Binnenstruktur der einzelnen Elemente eines Regelkreises wiederum aus Rückkopplungsschleifen mit positiver oder negativer Rückkopplung bestehen. Man hat dann ein Regulationssystem modellieren, dessen Elemente Regelkreise (gekoppelt mit Teufelskreisen) sind. Es handelt sich hier also um eine hierarchisch geordnete *Regelung von Regelungen*. Möglich ist es auch, dass die Regelgröße eines Regelkreises als Führungsgröße (oder als Sollwert) eines anderen Regelkreises fungiert. Durch ein derartiges Vernetzen einer Vielzahl einfacher Regelungssysteme können kompliziert verschachtelte kybernetische Systeme entstehen. Auch in ihnen

lassen sich Regelungsmechanismen regulieren. Hierarchische Anordnungen von Regelungssystemen oder Vermaschung zu komplexen Netzwerken weisen über die klassische Kybernetik hinaus und gehören ebenfalls eher zu einer ‚Kybernetik zweiter Ordnung', bei der die kybernetischen Begriffe und Konzepte auf sich selbst angewendet werden – wie bei der ‚Regelung von Regelungen'. Bei der Modellierung von Versorgungssystemen steht man vor der Frage nach der *Inklusion* von Betreibern und Nutzern, von Konstrukteuren und wissenschaftlichen Beobachtern. Gehören sie zum System oder nicht (vgl. Hummel et al. 2004)? Die klassische Kybernetik beschäftigt sich nur mit Prozessen und Systemen *außerhalb* des Beobachters. In deren Rahmen wäre eine Inklusion des wissenschaftlichen Beobachters, wie sie beispielsweise bei jeder Form partizipatorischer Forschung nötig ist, nicht möglich. Erklärt man aber Betreiber und Nutzer, Konstrukteure und wissenschaftlichen Beobachter zu Bestandteilen eines Versorgungssystems, dann begibt man sich in das schwierige Terrain einer ‚Kybernetik zweiter Ordnung'.

4.7 Regelung und Steuerung

In der Alltagssprache, aber auch in vielen fachwissenschaftlichen Kontexten wird nicht klar zwischen Regelung und Steuerung unterschieden. In den Sozialwissenschaften werden damit unterschiedliche Problembezüge oder Denkrichtungen gekennzeichnet, nicht Begriffe mit unterschiedlichem Inhalt (vgl. dazu Kap. 3). Mit Steuerung ist eher die Vorstellung äußerer Einwirkung verbunden, mit Regelung eher die Vorstellung von Stabilität und Gleichgewicht durch innere Prozesse. Die klassische Kybernetik hat sich zwar auf negative Rückkopplungen konzentriert, und damit dynamische Reproduktion von Stabilität und Gleichgewicht ins Zentrum der Forschung gerückt; doch damit ist nicht notwendiger Weise eine Option für gesellschaftliche Stabilität und externe politische Steuerung getroffen. Das Bild der Steuerung darf nicht überstrapaziert werden, so wie es vor allen Dingen in der Kritik an der klassischen Kybernetik durch die Politik- und Sozialwissenschaften der 70er, 80er und 90er Jahre erfolgte. Niklas Luhmann merkt zum Verständnis von Steuerung an:

„Aber was heißt genau in diesem kybernetischen Zusammenhang ‚Steuerung', das heißt ja nicht, dass der zukünftige Zustand des Systems in allen konkreten Details oder auch nur im Großen und Ganzen, in den Wesenszügen, wenn man es alteuropäisch ausdrücken will, bestimmt werden kann, so dass man jetzt schon sagen kann, wie das System zukünftig aussieht. Sondern es geht eigentlich nur darum, bestimmte Differenzen nicht zu groß werden zu lassen, bzw. zu verringern, es geht darum, Abweichungen vom Zielkurs, Abweichung von dem erstrebten Zustand, Abweichungen von einer bestimmten Temperatur, in der man das Haus halten will, usw. zu verringern. Wenn man die Temperatur im Haus konstant halten kann, besagt das noch lange nicht, dass keine Einbrecher kommen, dass die Möbel im Haus bleiben, dass die Teppiche nicht ruiniert werden oder dass in der Küche die Elektrizität funktioniert." (Luhmann: 2002: 54)

Hier wird zu Recht betont, dass nicht ganze Systeme von außen ‚gesteuert' werden, sondern lediglich einige Variablen oder Zustände eines Systems in einem erwünschten Bereich gehalten werden. Undeutlich bleibt aber auch hier der begrifflichen Unterschied zwischen Steuerung und Regelung. Bateson (1983) macht darauf aufmerksam, dass die Re-

deweise vom *Governor* (was im deutschen wechselweise als Regler oder als Steuerungsorgan übersetzt wird) verfänglich ist, ja eine falsche Bezeichnung darstellt, weil dieser Begriff unterstellt, dass dieser Teil eines geregelten technischen Systems eine einseitige Kontrollfunktion ausübt:

„Der Regler ist im Wesentlichen ein Sinnesorgan oder Umwandler, der Umwandlung des Unterschiedes zwischen der wirklichen Laufgeschwindigkeit der Maschine und irgendeiner idealen oder gewünschten Geschwindigkeit empfängt. Dieses Sinnesorgan transformiert die Unterschiede in Unterschiede einer efferenten Mitteilung, z.B. an die Benzinzufuhr oder an die Bremse. Das Verhalten des Reglers wird, mit anderen Worten, bestimmt durch das Verhalten der anderen Teile des Systems und indirekt auch durch sein eigenes Verhalten zu einem früheren Zeitpunkt. Der holistische und geistige Charakter des Systems zeigt sich am klarsten in dieser Tatsache, dass das Verhalten des Reglers (und in der Tat jedes Teils des kausalen Kreislaufs) teilweise durch sein eigenes früheres Verhalten bestimmt wird. Das Informationsmaterial (d.h. sukzessive Umwandlungen des Unterschieds) muss den ganzen Regelkreis durchlaufen, und die Zeit, die das Informationsmaterial benötigt, um wieder zum Ausgangspunkt zurückzukehren, ist ein grundlegendes Charakteristikum des ganzen Systems. Das Verhalten des Reglers (oder irgend eines anderen Teils im Kreislauf) ist daher gewissermaßen nicht nur durch seine unmittelbare Vergangenheit, sondern auch durch das bestimmt, was er zu einer Zeit getan hat, die der Gegenwart um das Intervall vorausliegt, das die Information braucht, um den Kreislauf zu beenden. Es gibt daher selbst im einfachsten kybernetischen Kreislauf eine Art bestimmendes Gedächtnis.“ (Bateson 1982: 408f.)

Zwei Anmerkungen sind hier angebracht: a) Bateson ordnet den Regelungsprozess in ein zeitliches Kontinuum zwischen Vergangenheit und Zukunft ein, und identifiziert dadurch ein *Gedächtnis* selbst des einfachsten kybernetischen Systems. Man kann jetzt die Frage aufwerfen, wann ein solches System auch über die Fähigkeit zur *Antizipation* der Zukunft verfügt, die über seine Orientierung an einem vorgegebenen Sollwert hinausgeht. Der einfache Regelkreis besitzt diese Fähigkeit offensichtlich nicht. Es gibt aber Regler, die ein komplexeres Modell der Außenwelt enthalten, und dadurch zu einer antizipierenden Regelung durch ein *feed forward* in der Lage sind; b) Zu jedem kybernetischen System gehören Effektoren und Rezeptoren, welche die informationellen Prozesse mit den stofflich-energetischen verknüpfen. Bateson gliedert sie analytisch nicht aus, sondern macht sie zu Bestandteilen des Reglers, der dadurch eine komplexere Struktur bekommt als ein simpler Vergleicher zwischen Ist- und Sollwert. Damit ist ein Weg vorgezeichnet, auf dem der Regler nach und nach zu einem lernfähigen und antizipationsfähigen System weiter entwickelt wird, das ein inneres Modell der Außenwelt enthält.

Roger C. Conant und W. Ross Ashby (1970) haben in einer auch formal überzeugenden Weise das Theorem begründet, dass Regulatoren in komplexen kybernetischen Systemen den zu regelnden Komplex und dessen Umwelt modellieren müssen: „Every good regulator of a system must be a model of that system“ (Conant/Ashby 1970) – ein guter Regler hat zu modellieren, was er regelt. Mit anderen Worten: Ein Regelungssystem er-

fordert ein Modell des Gesamtzusammenhangs[29]. Beim einfachen Regelkreis ist dieses ‚Modell' von schlichter Einfachheit: Es besteht aus einer Variablen, mit der zwischen Soll- und Ist-Wert unterschieden wird. Für die in der Sozialen Ökologie zu behandelnden Regulationsprobleme kommt man mit einem derartig schlichten Modell nicht mehr aus. Es ist eine interessante Untersuchungsfrage, welche Modelle bei konkreten Regelungszusammenhängen tatsächlich benutzt werden. Vermutlich sind sie oft von ähnlicher Schlichtheit wie beim einfachen Regelkreis.

Für die Explikation eines sozial-ökologischen Regulationsbegriffs ist es hilfreich, den Unterschied zwischen Regelung und Steuerung herauszuarbeiten, und die Differenz produktiv zu nutzen. In der kybernetischen Terminologie ist eine klare begriffliche Unterscheidung auf einfache Weise möglich[30]. Der Grundtyp einer kybernetischen *Steuerung* kann als Grenzfall der *Regelung* angesehen werden, bei dem die Rückkopplung verschwindend klein ist, also vernachlässigt werden kann. Umgekehrt kann man durch Einführung von Rückkopplungen Steuerungen in Regelungen überführen. Für die klassische Kybernetik ist also *Regelung* bei natürlichen und sozialen Komplexen der Normalfall, Steuerung dagegen der Grenzfall.

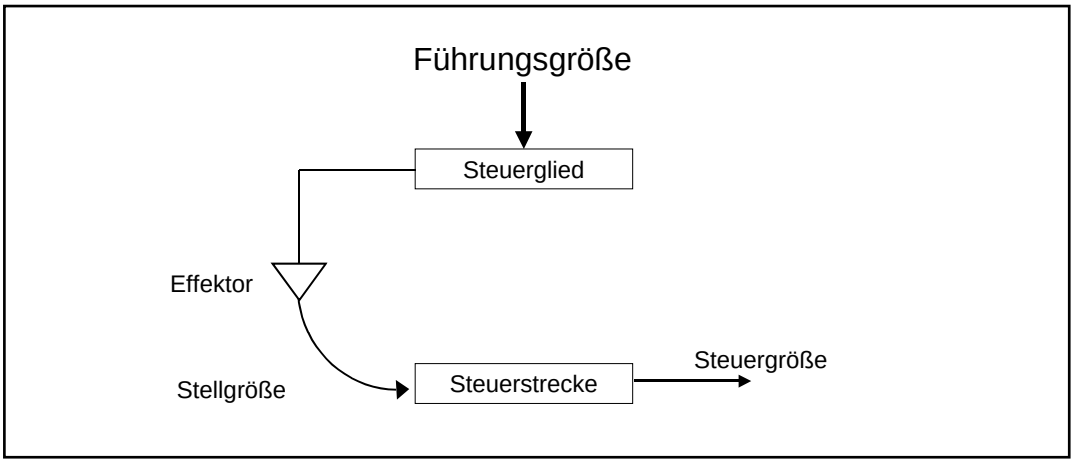

Abbildung 7: Einfaches Schema einer Steuerung

Der gesamte Wirkungsweg der Steuerung, die *Steuerkette,* ist nicht wie bei einer Regelung fortlaufend geschlossen, sondern nach einem linearen Ursache-Wirkungsschema geordnet. Jede Steuerkette enthält für sämtliche gesteuerte Größen eigene *Steuerstrecken*, die zusammengenommen das zu steuernde System kybernetisch repräsentieren. Ein *Steuerglied* liefert über einen *Effektor* eine *Stellgröße* als steuernden Input in die

29 Zu betonen ist dabei nochmals, dass eine solche Modellierung eine Abstraktion bedeutet: Ein Modell behandelt nicht die Wirklichkeit, sondern greift bestimmte Aspekte der Wirklichkeit auf; es geht also weder um den Anspruch, das Ganze abzubilden, noch um eine Gesamtgestaltung.

30 In der DIN-Norm 19226 wird dementsprechend das *Steuern* als Beeinflussen der Ausgangsgröße eines Systems durch eine Eingangsgröße definiert. Das *Regeln* ist ein Steuern, bei dem die Eingangsgröße durch Rückkopplung von der Ausgangsgröße beeinflusst wird. (Steinbuch 1978: 497)

Steuerstrecke; auf Grund der internen Transformationsregeln des System wird dadurch der Output, die *Steuergröße,* beeinflusst [31].

Ein einfaches technisches Beispiel ist die Steuerung der Straßenbeleuchtung in Abhängigkeit von der natürlichen Tageshelligkeit. Unterschreitet beispielsweise die gemessene Helligkeit einen bestimmten Grenzwert, wird ein Impuls ausgelöst, der als Stellgröße die Straßenbeleuchtung einschaltet. Möglich ist es auch, bei bestimmten Lampentypen die Helligkeit der Lampen durch die gemessene Tageshelligkeit kontinuierlich zu steuern.

Steuerungen lassen sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten klassifizieren: Man unterscheidet die nichtselbsttätige Steuerung von selbsttätiger Steuerung, verschiedene Typen von Programmsteuerung u.ä. (Klaus/Liebscher 1979: 769ff.):

- Bei der *nichtselbsttätigen Handsteuerung* arbeitet ein Mensch als steuernde Instanz in einem Regelkreis: Über einen Effektor wirkt er durch körperliche Betätigung z.B. auf eine Maschine ein und kontrolliert über einen Rezeptor das Resultat seiner Tätigkeit.
- Bei einer *selbsttätigen Steuerung* (auch automatische Steuerung oder Selbststeuerung genannt) werden sämtliche Steuerungsvorgänge durch technische Systeme ausgeführt, die ohne bzw. ohne mittelbaren menschlichen Eingriff arbeiten. Eine Steuerung heißt auch dann noch selbsttätig, wenn sie durch ein von Hand gegebenes Signal ausgelöst wird.
- Bei einer selbsttätigen Programmsteuerung wird ein material-, energie- oder informationsverarbeitendes System nach einem Programm gesteuert. Das Programm kann in das System eingebaut sein (fest verdrahtetes Programm) oder auf einem Speichermedium (variabel) intern oder extern zum System fixiert werden.
- Bei einer *Ablaufsteuerung,* einem Spezialfall der Programmsteuerung, hängt die gesteuerte Größe nicht nur von einem Programm ab, sondern auch von bestimmten Werten einzelner Prozessgrößen.

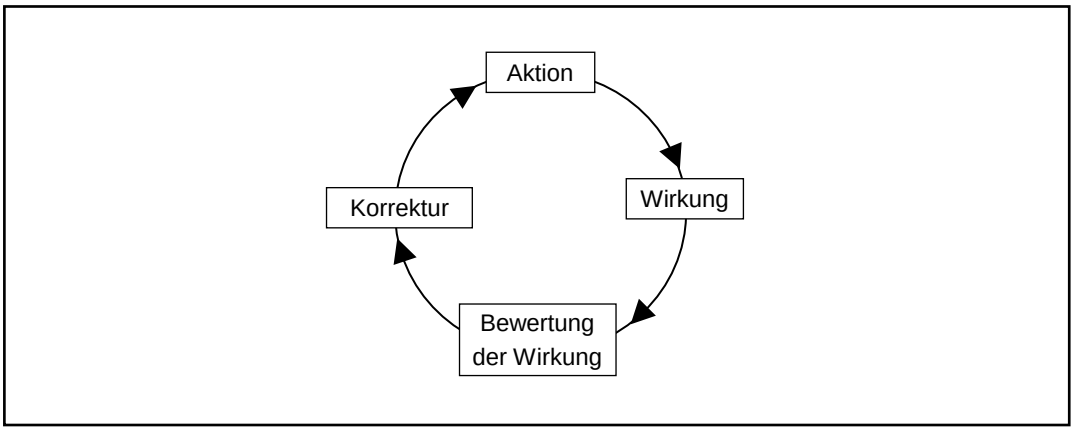

Abbildung 8: Kausalschema eines Regelkreises

31 Steuerketten müssen so aufgebaut sein, dass von der Steuerung nicht erfasste Störgrößen die Steuergröße nur gering beeinflussen.

Das Ganze lässt sich an einem alltäglichen Beispiel illustrieren. Wenn ich unter einer Dusche stehe und den Hahn aufdrehe (Aktion), dann kommt kaltes Wasser (Wirkung); ich kann diese Wirkung negativ bewerten und dann den Wassermischhebel so bewegen, dass mehr warmes Wasser zufließt (Korrektur). Dieser Vorgang muss zur Zielerreichung evt. mehrmals wiederholt werden, damit sich die Wassertemperatur auf einen gewünschten Wert einpendelt. Bei dem skizzierten Beispiel handelt es sich um eine *Handsteuerung* des Wasserzufluss-Systems. Anstelle der regulierenden Hand kann aber auch ein thermostatischer Regler (mit fixiertem Sollwert z.B. bei 32,5 Grad Celsius) eingebaut werden. Jetzt handelt es sich um eine *Temperaturregelung.* Man sieht aber an diesem Beispiel, dass die Unterscheidung von Steuerung und Regelung beobachtungs- und beschreibungsabhängig ist: Bei der Beschreibung als *Steuerung* wird der regulierende Mensch außerhalb des Wasserzufluss-Systems verortet, er steuert dieses System von außen (exogen). Man kann aber die Systemgrenze auch anders ziehen, und den ganzen Vorgang als einen Prozess innerhalb eines Mensch-Maschine-Systems beschreiben: In diesem Fall handelt es sich um eine interne *Regelung.* Der Einbau eines thermostatischen Reglers anstelle des regulierenden Menschen wäre dann als Veränderung des Typus des zu regelnden Systems zu beschreiben: Es handelt sich jetzt um ein rein technisches System.

Man sieht an diesem Beispiel: Die verschiedenen Formen *externer Steuerung* lassen sich dann in *interne Regelungen* umwandeln, wenn

(a) Rückkopplungen eingeführt werden und
(b) das Steuerglied durch einen Regler ersetzt wird, der zumindest Soll- und Ist-Werte vergleichen kann.

Die Frage der Systemgrenzen, d.h. das Verhältnis von innen und außen ist also betrachtungsabhängig. Allgemein kann die Regel gelten: Wird etwas als System beschrieben, dann müssen zumindest jene Elemente als Teil des Systems bestimmt werden, die regelungs-relevant sind.

Für die sozial-ökologische Forschung, insbesondere aber für die Analyse von *Versorgungssystemen* sind zwei Fälle von besonderer Bedeutung: a) Die Prozess-Steuerung und b) die Vorwärtsregelung.

(a) Es spricht vieles dafür, die Versorgung als einen Prozess aufzufassen – und das Versorgungssystem als eine spezifische Form der Regelung (bzw. Steuerung) dieses Prozesses. Das bedeutet, Elemente und Strukturen, welche den materialen ‚Versorgungsfluss' charakterisieren (Quellen und Brunnen, Leitungs- und Verteilungssysteme, Abwasser- und Kläranlagen etc.), von den Elementen und Strukturen zu unterscheiden, welche der Regelung oder der Steuerung des Versorgungsflusses dienen. Unterscheidet man dabei ganz allgemein zwischen einer Sphäre der ‚Natur' und einer der ‚Gesellschaft', dann müssen die aus Versorgungsfluss und Versorgungsregulation zusammengesetzten Versorgungssysteme im Überlappungsbereich zwischen Natur und Gesellschaft verortet werden.

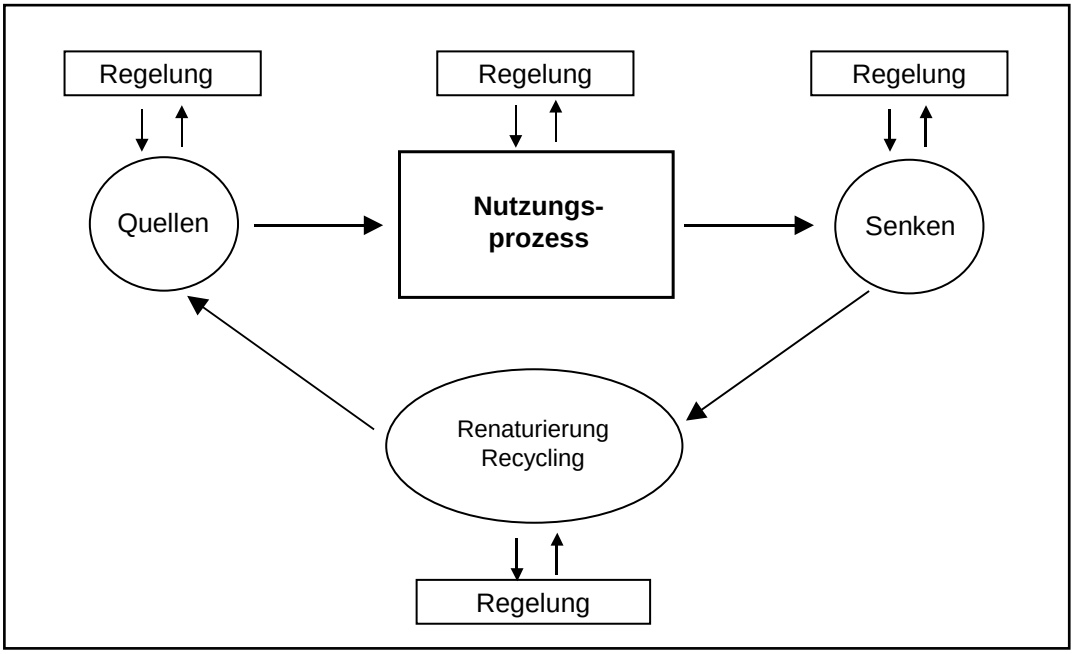

Abbildung 9: Regelung eines Versorgungssystems

Joel de Rosnay (1979) hat für eine Modellierung von Prozessregulationen eine Reihe sinnvoller Unterscheidungen vorgenommen, die sich in ähnlicher Weise auch in den-*Systems Dynamics* finden. Da er dabei stark mit hydrologischen Analogien arbeitet, sind sie leicht auf die Wasserversorgung anwendbar. Zunächst unterscheidet er *strukturell* zwischen System und Umwelt durch die Festlegung einer Systemgrenze; innerhalb des Systems dann allgemein zwischen den verschiedenen Elementen und dabei wieder zwischen Reservoirs und Bestandteilen von Kommunikationsnetzen. *Funktional* unterscheidet er zwischen Flussgrößen, Ventilen, Verzögerungen und Rückkopplungen.

Bei einer *Konstruktion* von Prozessregulationen muss eine eigene Ebene der Steuerung und Regelung technisch aufgebaut und über Effektoren und Rezeptoren mit der Ebene des Versorgungsflusses verbunden werden. Bei der Modellierung entspricht der Ebene des Versorgungsflusses die ‚Regelungsstrecke' oder die ‚Steuerkette', der Ebene der Regelung und Steuerung der Prozessrechner und das in ihm enthaltene Modell des Versorgungssystems. In diesem System können zumindest modelltechnisch Nutzer, Betreiber, Konstrukteure und Beobachter funktional integriert werden. Dann wird es auch möglich, dass das so konzipierte Versorgungssystem als selbstreguliertes adaptives System operiert.

(b) Klassische Rückkopplungssysteme erfassen Abweichungen von einem Sollwert immer erst dann, wenn sie auch tatsächlich aufgetreten sind. Es ist aber auch möglich, Abweichungen zu erfassen, bevor sie in der Regelstrecke auftreten und dann antizipierend gegenzusteuern. Technische Beispiele dafür sind der Temperaturfühler an der Außenwand eines Hauses, der Temperaturänderungen anzeigt, bevor sie im Haus auftreten. Oder Messfühler in Bewässerungsanlagen, welche

das ankommende und verteilbare Beregnungswasser feststellen und der Regler dann darauf antizipierend reagiert. Es handelt sich hier um Formen vorsorgender feed-forword-control durch ‚vorwärts geregelte Regelkreise'. Solche Vorwärtsregelungen sind bei Prozess-Steuerungen weit verbreitet. Insbesondere bei technischer Prozessoptimierung werden sie in Kombination mit Rückkopplungen angewendet (Schramm 2004). Man spricht hier dann von ‚Vorwärtsoptimierung' und ‚Rückwärtsoptimierung'. Besonders dann, wenn der dafür ausgelegte Prozessrechner ein revidierbares Modell des Gesamtprozesses enthält, werden derartige antizipierende Systeme auch lernfähig (Klaus/Liebscher 1979: 616 ff.).

5 Regulationen in komplexen Systemen

Mit den begrifflichen Mitteln der klassischen Kybernetik lassen sich evolutionsfähige Systeme mit emergenten Ordnungsmustern (‚komplexe Systeme') nicht erfassen. Für derartige Systeme sind positive Rückkopplungen zwar konstitutiv, durch sie lässt sich aber nur die Möglichkeit derartiger Systeme zeigen, nicht aber deren innere Prozesse und Verhalten erklären. Für ein vertieftes Verständnis komplexer Systeme hat die *Ungleichgewichts-Thermodynamik* entscheidende Fortschritte gebracht. Sie behandelt offene Systeme, welche durch einen ‚Durchfluss' von Energie und Materie weit weg vom thermodynamischen Gleichgewicht gebracht werden, und die dabei eine komplexe innere Struktur ausbilden und reproduzieren können. ‚Durchfluss' von Energie bedeutet, dass dem System von außen Energie zugeführt wird (input), das System diese Energie transformiert und zum Aufbau von Ordnungsmustern nutzt, und schließlich in der Form von Wärmeenergie wieder an die Umgebung abgibt (output). Eine derartige Dissipation der Energie[32] können durch *Selbstorganisation* dynamische Ordnungsmuster („dissipative Strukturen") entstehen und sich im Energie- und Materiefluss erhalten. Das System geht also von einem Zustand niedriger Ordnung zu einem solchen mit höherer Ordnung über.

Die neue Sichtweise, die hier durch die Ungleichgewichts-Thermodynamik zum Ausdruck kommt, nämlich sich nicht mehr nur einseitig auf Gleichgewicht als Zentrum von Stabilität und Ordnung zu konzentrieren, bedeutet starke Schwankungen und Turbulenzen nicht nur als auszuschließende Störungen zu betrachten, sondern als Möglichkeitsbedingungen für kritische Übergänge. Dennoch muss auch gerade vor dem Hintergrund der bisherigen Erfahrungen mit der Ungleichgewichts-Thermodynamik die Frage gestellt werden, inwieweit die in dissipativen Strukturen wirksamen Abweichungsverstärkungen durch positive Rückkopplungen gehen können, ohne dass sich das System selbst gefährdet oder gar zerstört. Der Umweg über die Ungleichgewichts-Thermodynamik hat aber sicherlich den Blick auf die positive Rückkoppelung verändert, nämlich sich selbst verstärkende Wirkungen nicht nur als Störungen zu verstehen, sondern als eventuell produktive Elemente einer Veränderung in einem Prozess. Diese Sichtweise wurde bei globalen Modellierungen bereits aufgenommen: Bei Forresters Studien der *Systems Dynamics*, beim Weltmodell Club of Rome oder bei der Studie Global 2000 wurde mit Blick auf die positiven Rückkoppelungen die Frage gestellt, wieweit bestimmte Variablen noch gesteigert werden können

32 Damit ist gemeint, dass sich die Wärmenergie in der Umgebung des Systems zerstreut.

(Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, Outputs in Atmosphäre und Umwelt etc.). Führen durch positive Feedbacks angetriebene Prozesse in katastrophenartige Zustände oder verfügt das System auch über Bremsmechanismen (negative Rückkoppelungen), welche die eingeführte Tendenz der Abweichungsverstärkung zu hemmen oder zu blockieren vermögen?

Solche neuen Fragestellungen an das positive Feedback erlauben das Spektrum von Veränderungsmöglichkeiten, Übergängen, Transformationen und Wandel besser zu vermessen. Dies erfolgt längst nicht mehr nur im Rahmen der Ungleichgewichts-Thermodynamik, sondern in stark expandierenden fachübergreifenden Forschungsgebieten wie der Theorie komplexer adaptiver Systeme, der Synergetik oder der Theorie autopoietischer Systeme. Hier werden die hoch entwickelten Computertechnologien benutzt, um neue Modellierungstechniken (neuronale Netze, Agentenprogramme, genetische Algorithmen etc.) zu erproben und damit adaptive komplexe Systeme zu modellieren. Inwieweit in deren jeweiligem begrifflichen Rahmen die Regulationsprobleme sozial-ökologischer Systeme besser erfasst werden können als in einem revidierten kybernetischen Begriffsrahmen, ist noch nicht ausgemacht.

6 Sozial-ökologische Regulationen

Zunächst möchten wir einige terminologische Normierungen vorschlagen, um die begrifflichen Konfusionen im Feld der sozial-ökologischen Forschung etwas zu verkleinern:

1. Die Termini Regelung, Regulierung, Regulation werden im Alltag weitgehend synonym gebraucht. ‚Regelung' hat allerdings einen eher technischen Bedeutungshorizont. Eine erste Normierung könnte deshalb sein, den Begriff *Regelung* im technischen Sinne zu verwenden, also so, wie er in der Regelungstechnik und in der Kybernetik gebraucht wird. Damit wäre der Bezug zum Regelkreis deutlich gemacht.
2. Der alltägliche und der englische Gebrauch legen es zudem nahe, *Regulation* und *Regulierung* synonym zu verwenden – und daraus nicht zwei Fachtermini mit unterschiedlicher Bedeutung zu machen, wie es im Verbundprojekt *netWORKS* zunächst vorgeschlagen wurde.
3. ‚Regulation' und ‚Regulierung' sind allerdings alltäglich stärker mit politisch-juristischen Vorgängen konnotiert, und sie beziehen sich stärker auf komplexe Zusammenhänge. Es empfiehlt sich daher, bei gesellschaftlichen Prozessen, sowie bei vermaschten kybernetischen Systemen und im Kontext einer Kybernetik zweiter Ordnung von *Regulation* zu sprechen. Dementsprechend geht es auch um einen Begriff der *sozial-ökologischen Regulation.*
4. Es lässt sich im kybernetischen Sinne zwischen Regelung und Steuerung unterscheiden: Der Grundtyp einer kybernetischen *Steuerung* kann als Grenzfall der *Regelung* angesehen werden, bei dem die Rückkopplung verschwindend klein ist, also vernachlässigt werden kann. Umgekehrt kann man durch Einführung von Rückkopplungen Steuerungen in Regelungen überführen. Für die klassische Ky-

bernetik ist also *Regelung* bei natürlichen und sozialen Komplexen der Normalfall, Steuerung dagegen der Grenzfall.

Bei sozial-ökologischen Systemen sind gesellschaftliche, natürliche und technische Bestandteile miteinander verknüpft. Um die Regulation von Versorgungssystemen für Wasser oder Ernährung aus kybernetischer Sicht zu analysieren und zu modellieren, müssen diese Verknüpfungen ins Zentrum gerückt werden. Dazu sind eine Reihe methodischer Schritte nötig:

- *Systemanalyse*: Zu ermitteln und zu qualifizieren sind zunächst die funktionellen Bestandteile des Versorgungssystems; deren Merkmale und die zwischen ihnen bestehenden stofflichen, energetischen und informationellen Flüsse sind graphisch darzustellen. Dazu gehört auch, die Grenze des Systems zu bestimmen.
- *Kausalanalyse*: In dem so entstehenden Modell eines Netzwerks müssen die unterschiedlichen Beziehungen nach ihrer positiven oder negativen kausalen Wirkung klassifiziert werden.
- *Regelungsanalyse*: Zu identifizieren sind danach Rückwirkungsschleifen (mit negativen oder positiven Rückkopplungen). Bei den negativen Rückwirkungen ist zu untersuchen, ob sie als Regelkreise im Sinne der Kybernetik darstellbar sind, und welche der ermittelten Bestandteile die verschiedenen Funktionen (Regelstrecke, Regler, Rezeptor, Effektor) übernehmen.

Nach diesen Schritten muss eine Entscheidung darüber fallen, welcher System- und Regelungstyp (hierarchisch, linear, komplex, einfache Rückkopplungen etc.) der Modellierung zu Grunde gelegt werden soll.

Die Frage ist dann, ob die identifizierten Regelkreise und Teufelskreise sich fein säuberlich einer der beiden Sphären zuordnen lassen, oder als Hybride im Überlappungsbereich liegen. Da es sich bei Versorgungssystemen in der Regel um *vermaschte* Systeme handelt, spricht vieles dafür, die verschiedenen Elemente, Flüsse und Rückkopplungsschleifen nicht auf einer Ebene anzuordnen und zu modellieren, sondern ein *hierarchisches* Systemmodell aufzubauen. So wird es durchsichtiger, was es heißt, von ‚Regelungen von Regelungen' oder von ‚Regulationsproblemen zweiter Ordnung' zu sprechen. Integrative sozial-ökologische Regulationen können dann von den sektoralen gesellschaftlichen, technischen und natürlichen unterschieden werden: Sie lassen sich so als Regulationen höherer Ordnung bestimmen.

Das Modell des kybernetischen Systems zeichnet auch vor, wie bei einem derartigen methodischen Gang die vielfältigen *gesellschaftlichen Regulationen* (juristische, politische, ökonomische, kulturelle) berücksichtigt werden können:

- Sie greifen in die gesamte *Konstruktion* des Versorgungssystems ein, d.h. in die Festlegung von Elementen, Beziehungen und Abgrenzungen des Systems; die Bestimmung von Regelstrecken, Reglern, Rezeptoren und Effektoren.
- Sie legen *Sollwerte* und akzeptierte Abweichungen fest.
- Sie bilden einen *Kontext,* in dem Versorgungssysteme selbsttätig operieren, der aber selektiv aktiv wird, wenn dabei Probleme auftreten.

Betrachtet man ein Versorgungssystem als *komplexes adaptives System*, was allerdings nur unter spezifischen Bedingungen möglich ist[33], dann kann man aus der sozialwissenschaftlichen Steuerungsdebatte den Schluss ziehen, dass für diesen Fall nur zwei Grundformen der Regulation möglich sind: *Selbstregulation* und *Kontextsteuerung.* Dieses steuerungstheoretische Theorem ist aber durch eindeutigen Bezug auf die Theorie autopoietischer kommunikativer Sozialsysteme entwickelt worden, welche per definitionem operativ geschlossen sind und daher externe Steuerung ausschließen. Inwieweit für Versorgungssysteme dieses Theorem ebenfalls gültig ist, müsste genauer überprüft werden. Die oben aufgelisteten Einflussmöglichkeiten gesellschaftlicher Regulationen auf ein kybernetisch modelliertes Versorgungssystem machen aber bereits deutlich, wie die abstrakte Vorstellung einer *Kontextsteuerung* konkretisiert werden kann.

Sicher ist auf jeden Fall, dass sich jede sozial-ökologische Regulation auf das Zusammenwirken naturaler, technischer und gesellschaftlicher Prozesse bezieht und dabei positive und negative Rückkoppelungen im Kontext spezifischer Problemlagen erfassen muss. Das Zusammenwirken der beiden Koppelungsmodi, so unsere These, kann sowohl zur Selbstdestruktion der Systeme führen, aber auch emergente Ordnungsmuster und neue Stabilitätsniveaus hervorbringen. Da diese wiederum Regulationsprobleme aufweisen, kann sozial-ökologische Regulation auch als *Regulation von Regulationen* im Sinne einer Kybernetik zweiter Ordnung aufgefasst werden.

Um die Vorstellung der sozial-ökologischen Regulation etwas genauer zu fassen, muss noch eine grundsätzliche Überlegung hinzugefügt werden. Generell geht es ja darum, nachhaltige Entwicklungsprozesse zu gestalten, also z. B. im Sinne einer Kontextsteuerung für diese Entwicklungen bestimmte Ermöglichungskontexte bewusst herzustellen. Doch eine solche Möglichkeit muss zumindest zu einem Teil in gesellschaftlichem Handeln verankert werden können. Andernfalls werden die durch Planung geschaffenen Möglichkeiten nicht oder nur unvollständig genutzt und die Regulation versagt.

Wichtig für unsere Grundüberlegung ist noch, wie die verschiedenen Regelungsmechanismen eines Versorgungssystem voneinander abgegrenzt werden. Unterscheidet man zwischen einer gesellschaftlichen und einer natürlichen Sphäre (mit einem Überlappungsbereich) dann liegen die sozial-ökologischen Regulationsprobleme im Überschneidungsbereich der analytisch getrennten Sphären. In diesem Überlappungsbereich operieren aber auch die *Versorgungssysteme:* Sie sind nach der einen Seite mit natürlichen Strukturen und Prozessen verbunden, nach der anderen mit gesellschaftlichen. Versorgungssysteme vermitteln gewissermaßen zwischen Natur und Gesellschaft (Hummel et al. 2004). Modelliert man sie als ein vermaschtes *sozial-ökologisches System,* dann hat man zu berücksichtigen, dass die Elemente dieses Systems wiederum natürliche, technische oder gesellschaftliche Regulationssysteme sein können. Die *innere Regulation* eines Versorgungssystems muss sich daher auf natürliche, technische und gesellschaftliche Prozesse

33 Ein komplexes adaptives System bezeichnet ein System, das sich aktiv auf seine Umweltbedingungen einstellen kann. Wie kommt eine solche Adaption zustande? Sie funktioniert nur, wenn das System eine entsprechend große Anzahl von Elementen aufweist. Werden in Versorgungssystemen die Nutzer als Teil des Systems mit einbezogen, ergibt sich aufgrund des breiten Verhaltensspektrums eine entsprechend große Bandbreite an Adaptionsmöglichkeiten.

richten, was nicht durch ein sektorales sondern nur durch ein integriertes Regulationskonzept möglich ist. Eine entscheidende Frage ist bei einer solchen Modellierung, wie die *Grenze* des sozial-ökologischen Systems gezogen wird. Wie immer man sie im Einzelnen zieht, die dadurch bestimmte *Umwelt* des Systems (oder anders gesagt: sein Kontext) enthält geregelte natürliche, technische und gesellschaftliche Komplexe, die beispielsweise im Sinne einer Kontextsteuerung auf das System einwirken. Man kann sie als *äußere Regulation* zusammenfassen. Die Unterscheidung zwischen innerer und äußerer Regulation haben wir hier aus der Perspektive des sozial-ökologischen Systems getroffen.

Beschreibt man das Gleiche aus einer *gesellschaftstheoretischen Perspektive*[34], dann ergibt sich ein anderes Bild – und auch eine andere Unterscheidung zwischen *innen* und *außen.* Nehmen wir noch einmal die Megacity Mexiko und deren Wasserversorgung: Aus einer gesellschaftlichen Binnenperspektive umfasst die *innere Regulation* die Stadt (mit ihren regulativen Aufgaben wie Wasserhygiene, -verteilung etc.), die *äußere Regulation* die natürlichen Bestandsvoraussetzungen für die Wasserversorgung (Umwelt, Wasserneubildungsrate usw.). Beide Regulationen weisen aber einen Überschneidungsbereich auf, in dem sich die Probleme konzentrieren. Sozial-ökologischen Regulationen müssen also genau in diesem Überschneidungsbereich stattfinden. Es stellt sich dann die Frage, wieweit es sinnvoll ist, dieses Zusammenwirken innergesellschaftlicher und natürlicher Regulationen weiterhin aus einer strikt gesellschaftlichen Perspektive zu betrachten – oder ob es nicht fruchtbarer ist, gewissermaßen von Anfang an eine sozial-ökologische Perspektive einzunehmen. Wir plädieren entschieden für diesen Weg.

Wie immer man sich entscheidet: Die kritische Zone, der eigentliche Bereich, den es für Regulationsoptionen zu identifizieren gilt, wird durch den Überlappungsbereich zwischen gesellschaftlichen, natürlichen und technischen Regulationen gebildet. Je nachdem, wie stark gesellschaftlich normierte Balancevorstellungen (wie sie beispielsweise durch Kriterien der Nachhaltigkeit festgelegt werden) das Verhältnis natürlicher und gesellschaftlicher Regulationen betreffen, greifen gesellschaftliche Maßnahmen in natürliche Regulationskontexte ein. Soweit die vermaschten Regelungssysteme sowohl gesellschaftlich als auch natural ausbalanciert sind, kann man von einer gelingenden Regulation ausgehen; sind beide Regulationen nicht adäquat aufeinander abgestimmt, entstehen Regulationsprobleme zweiter Ordnung, und es müssen Regulationen von Regulationen vorgenommen werden: Regulative Schritte, um negative Rückkopplungen zu etablieren, welche die natürlichen und die gesellschaftlichen Regulierungen übergreifen. Darüber kann dann wieder ein neues Stabilitätsniveaus erreicht werden. Ein derartiges Regulationsverständnis hat komplexe Voraussetzungen:

- das Zusammenwirken natürlicher und gesellschaftlicher Regulationen,
- das Zusammenwirken positiver und negativer Rückkopplungen,
- das Herausbilden emergenter Ordnungsmuster,
- die Regulation von Regulationen zum Halten neuer Stabilitätsniveaus.

34 Es ist auch möglich, das Ganze aus einer strikt *ökologischen Perspektive* zu betrachten, was in vielen Studien auch gemacht wird. Dann erscheint die *Gesellschaft als Umwelt* und störender Kontext ökologischer Systeme.

Diese Voraussetzungen sozial-ökologischer Regulation sind wesentlich komplexer und anders geartet als das Halten und Erreichen von sektoralen Gleichgewichtszuständen im Sinne der Kybernetik erster Ordnung. Das hinter derartigen sektoralen Gleichgewichtsvorstellungen liegende Modell unterstellt (vor allem in sozialpolitischen, wissenschaftlichen und ökonomischen Bereichen) einen logischen Zusammenhang von Gleichgewicht und Stabilität. Beispiele dafür gibt es in Hülle und Fülle: Die ausgeglichene Bilanz, die Formulierung des sog. Stabilitätsgesetzes zur Sicherung des Bundeshaushalts und der nationalen Ökonomie. Wichtig an dieser Art von Gleichgewichtstheorien ist, dass sie Regulationsmechanismen unterstellen, die in der Lage sind, das gefährdete Gleichgewicht wieder zu justieren, mithin Gleichgewicht wieder herzustellen. Solche Formen der Gleichgewichtstheorie sind mehr oder minder Stabilitätstheorien (vgl. im Folgenden Luhmann 2002: 42ff.). Allein schon das Bild der Waage als Hintergrundsmetapher für Gleichgewicht zeigt, wie störungsempfindlich ein solches Gleichgewicht ist. Selbst wenn Störungsmöglichkeiten theoretisch wie praktisch gesehen werden, liegt der Akzent in aller Regel nicht bei deren produktiver Bewältigung, sondern auf der Sicherung von Stabilität. Auch in der sozial-ökologischen Regulation ist Stabilität ein wesentliches Ziel, aber nicht ein das Gesamtsystem charakterisierender Zustand. Positive Rückkopplung, Ungleichgewicht und dissipative Strukturen spielen eine ebenso entscheidende Rolle, v.a. als Antriebskräfte für Veränderungen/Transformationen.

7 Schlussfolgerungen

Vielleicht haben die hier skizzierten Überlegungen deutlich gemacht, dass es nicht ausreicht einen *Begriff* der sozial-ökologischen Regulation zu definieren und dann auf bestimmt Sachverhalte anzuwenden; vielmehr muss auch eine diesem Begriff angemessene *Methode* der Analyse sozial-ökologischer Problemlagen und der Modellierung von Regulationen hinzukommen. Wir hatten an mehreren Stellen beschrieben, wie sich Übergänge von einer ‚Kybernetik erster Ordnung' zu einer ‚Kybernetik zweiter Ordnung' vollziehen. Da wir vorschlagen, das sozial-ökologisches Regulationskonzept im Rahmen einer ‚Kybernetik zweiter Ordnung' zu entwickeln, ist es wichtig, deren allgemeine Merkmale nochmals zusammenzufassen:

- Die ‚Kybernetik zweiter Ordnung' rechnet mit dem Eigensinn der zu modellierenden Sachverhalte, thematisiert die Rolle des Beobachter, arbeitet mit einem semantisch und pragmatisch erweiterten Informationsbegriff, und sie enthält so etwas wie eine Reflexion der Kybernetik mit kybernetischen Mitteln.
- Kybernetische Systeme werden als eine Klasse von Objekten verstanden, die *selbstreferentiell* verfasst und *differentiell* konstituiert sind. Der Regelkreis ist gewissermaßen das dafür paradigmatische Objekt.
- Kybernetische Systeme zweiter Ordnung enthalten vermaschte positive und negative Rückkopplungen, können hierarchisch geordnet werden und es laufen in ihnen Regulationen von Regulationen ab.
- Bei kybernetischen Systemen zweiter Ordnung handelt es sich um komplexe adaptive Systeme, die lern- und evolutionsfähig sind.

Es empfiehlt sich, Versorgungssysteme nicht nur allgemein als kybernetische Systeme zu modellieren, sondern für sie spezifizierte Modelle einer *Prozessregelung* zu entwerfen. Zu unterscheiden sind bei einem solchen Modell einerseits die Elemente und Strukturen, welche den materialen Versorgungsfluss charakterisieren, andererseits jene Elemente und Strukturen, welche der Regelung bzw. Steuerung des Versorgungsflusses dienen. Dieses Modell muss Rückwirkungen mit einbeziehen, also lernfähig sein: Es muss z.B. in der Lage sein, die Aspekte Verhaltenserwartung und Prognose mit aufzunehmen, z.B. die Frage, unter welchen Voraussetzungen die Wasserversorgung unter der Bedingung wachsender Bevölkerungen gewährleistet werden kann. Dabei muss auch die Frage berücksichtigt werden, in welchem Zeittakt Prozesse verlaufen. Langsame bzw. schnellere Prozesse können strukturierend im Sinne von Randbedingungen wirken. Denn insbesondere die Verzögerungsproblematik stellt eine Grundproblematik innerhalb der Versorgungssysteme dar: die Wirkung von bestimmten Maßnahmen greift nicht unbedingt direkt, sondern mit zeitlichen Verzögerungen. Am empirischen Fall kann dann die Frage durchgespielt werden: Wie können Gesellschaften in ein solches komplexes Regelsystem eingreifen?

8 Literatur

Aglietta, Michel (1979): A Theory of Capitalist Regulation. The US Experience. London

Ashby, W. Ross (1956): An Introduction to Cybernetics. London: Chapman & Hall

Bateson, Gregory (1985): Ökologie des Geistes. Anthropologische, psychologische, biologische und epistemologische Perspektiven. Frankfurt am Main: Suhrkamp

Bateson, Gregory (1987): Geist und Natur. Eine notwendige Einheit. Frankfurt am Main: Suhrkamp

Becker, Egon (2002): Transformations of Social and Ecological Issues into Transdisciplinary Research. In: Unesco/EOLSS-Publishers (Hg.): Knowledge for Sustainable Development. An Insight into the Encyclopedia of Life Support Systems. Volume 3. Oxford: Unesco/EOLSS-Publisher, 949-963

Becker, Egon/Thomas Jahn/Engelbert Schramm (1999): Sozial-ökologische Forschung – Rahmenkonzept für einen neuen Förderschwerpunkt. Frankfurt am Main: ISOE

Becker, Egon/Engelbert Schramm (2002): Gekoppelte Systeme. Zur Modellierung und Prognose sozial-ökologischer Systeme. In: Ingrid Balzer/Monika Wächter (Hg.): Sozial-ökologische Forschung. Ergebnisse der Sondierungsprojekte aus dem BMBF-Förderschwerpunkt. München: ökom

Bossel, Hartmut (1994): Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg

Braun, Edmund/Hans Radermacher (Hg.) (1978): Wissenschaftstheoretisches Lexikon. Graz/Wien/Köln: Styra

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2000): Rahmenkonzept Sozial-ökologische Forschung. Bonn

Camagni, Roberto et al. (1991): Innovation Networks: Spatial Perspectives. London: Belhaven Press

Canguilhem, Georges (1979): Die Herausbildung des Konzepts der biologischen Regulation im 18. und 19. Jahrhundert. In: ders.: Wissenschaftsgeschichte und Epistemologie. Gesammelte Aufsätze. Frankfurt am Main: Suhrkamp, 89-109

Capra, Fritjof (1996): Lebensnetz. Ein neues Verständnis der lebendigen Welt. Bern/München/Wien: Scherz Verlag

Conant, Roger C./W. Ross Ashby (1970): Every Good Regulator of a System Must Be a Model of that System. In: Int. J. Systems Sc. Nr. 2. Volume 1, 89-97

Deutsch, Karl W. (1973): Politische Kybernetik. Modelle und Perspektiven. Freiburg

Eder, Klaus (1988): Die Vergesellschaftung der Natur. Studien zur sozialen Evolution der praktischen Vernunft. Frankfurt am Main: Suhrkamp

Etzioni, Amitai (1968): The Active Society. New York

Fischer-Kowalsky, Marina/Helga Weisz (1999): Society as Hybrid between Material and Symbolic Realms. Towards a Theoretical Framework of Society-Nature Interaction. In: Advances in Human Ecology. Volume 8, 215-251

Fischer-Kowalsky, Marina (2004): From LTER to LTSER: Conceptualising the Socio-Economic Dimension of Long-Term Socio-Ecological Research. www.iff.ac.at/socec

Gramsci, Antonio (1986): Selections from Prison Notebooks. London

Hartmann, Nicolai (1951): Teleologisches Denken. Berlin: Walter de Gruyter

Hartmann, Nicolai (1966): Teleologisches Denken. Berlin

Heims, Steve Joshua (1991): Constructing a Social Science for Postwar America. The Cybernetics Group, 1946-1953. Cambridge, Mass.: MIT Press

Hirsch, Joachim (1995): Der nationale Wettbewerbsstaat. Berlin/Amsterdam

Hellmer, Friedhelm et al. (1999): Mythos Netzwerke – Regionale Innovationsprozesse zwischen Kontinuität und Wandel. Berlin

Hummel, Diana et al. (2004): Supply Systems as Subjects of Social-Ecological Research: Food and Water. Versorgungssysteme als Gegenstand sozial-ökologischer Forschung: Ernährung und Wasser. demons working paper no. 2. Frankfurt am Main: ISOE

Klaus, Georg (1964): Kybernetik und Gesellschaft. Berlin

Klaus, Georg (1974): Rationalität – Integration – Information. Entwicklungsgesetze der Wissenschaft in unserer Zeit. München: Wilhelm Fink

Klaus, Georg/Heinz Liebscher (1979): Wörterbuch der Kybernetik (2 Bd.). Frankfurt am Main: Fischer

Kluge, Thomas (1985): Gesellschaft, Natur, Technik. Zur lebensphilosophischen Kritik von Technik und Gesellschaft. Opladen

Kropp, Cordula (2002): „Natur". Soziologische Konzepte – politische Konsequenzen. Soziologie und Ökologie 9. Opladen: Leske+Budrich

Lévi-Strauss, Claude (1991): Strukturale Anthropologie I. Frankfurt am Main: Suhrkamp

Lipietz, Alain (1985): Akkumulation, Krisen und Auswege aus der Krise: einige methodische Überlegungen zum Begriff der „Regulation". In: PROKLA 58, 109-137

Luhmann, Niklas (1999)): Zweckbegriff und Systemrationalität. Über die Funktion von Zwecken in sozialen Systemen. Frankfurt am Main: Suhrkamp

Luhmann, Niklas (2002): Einführung in die Systemtheorie. Heidelberg: Carl Auer Systeme Verlag

Maruyama, Magoroh (1963): The Second Cybernetics. In: American Scientist. Volume 51, 164-179

Meister, Martin/Eric Lettkemann (2004): Vom Flugabwehrgeschütz zum niedlichen Roboter. Zum Wandel des Kooperation stiftenden Universalismus der Systemtheorie. In: Jörg Strübing/Ingo Schulz-Schaeffer/Martin Meister/Jochen Gläser (Hg.) (2004): Kooperation im Niemandsland. Neue Perspektiven auf Zusammenarbeit in Wissenschaft und Technik. Opladen: Leske+Budrich, 105-136

Maturana, Humberto R./Francisco J. Varela (1987): Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens. Bern/München/Wien: Scherz Verlag

Mayntz, Renate/Fritz W. Scharpf (1995a): Steuerung und Selbstorganisation in staatsnahen Sektoren. In: dies. (Hg.): Gesellschaftliche Selbstregelung und politische Steuerung. Frankfurt am Main, 9-38

Mayntz, Renate/Fritz W. Scharpf (1995b): Der Ansatz des akteurszentrierten Institutionalismus. In: dies. (Hg.): Gesellschaftliche Selbstregelung und politische Steuerung. Frankfurt am Main, 39-72

Majone, Giandomenico (1994): Paradoxes of Privatisation and Deregulation. Journal of European Public Policy 1 (No.1), 53-69

Mayr, Otto (1969): Zur Frühgeschichte der technischen Regelung. München: Oldenbourg

Metzner, Andreas (1993): Probleme sozio-ökologischer Systemtheorie: Natur und Gesellschaft in der Systemtheorie Luhmanns. Opladen: Westdeutscher Verlag

Müller, Klaus (1996): Allgemeine Systemtheorie. Geschichte, Methodolgie und sozialwissenschaftliche Heuristik eines Wissenschaftsprogramms. Opladen: Westdeutscher Verlag

Parsons, Talcott (1968): The Structure of Social Action. New York/London

Porter, Michael E. (1991): Nationale Wettbewerbsvorteile. Erfolgreich konkurrieren auf dem Weltmarkt. München

Porter, Michael E. (1998): Clusters and the New Economics of Competion. In: Harvard Business Review, 97ff.

Prigogine, Ilya/Isabelle Stengers (1980): Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. München: Piper

Raskin, Paul/Tariq Banuri/Gilberto Gallopin/Pablo Gutman/Al Hammond/Robert Kates/Rob Swart (2003): Great Transition. Umbrüche und Übergänge auf dem Weg zu einer planetarischen Gesellschaft. Frankfurt am Main: ISOE

Richta, Radovan (Hg.) (1968): Politische Ökonomie des 20. Jahrhunderts. Die Auswirkungen der technisch-wissenschaftlichen Revolution auf die Produktionsverhältnisse. Richta-Report. Prag

Ritter, Ernst Hasso (1979): Der kooperative Staat. Bemerkungen zum Verhältnis von Staat und Wirtschaft. AöR (Archiv für öffentliches Recht) 104, 389-413

Ravn, Ib (1997): Chaos, Quarks und schwarze Löcher. Das ABC der neuen Wissenschaften. München: Deutscher Taschenbuch Verlag

Richardson, George P. (1992): Feedback Thought in Social Science and Systems Theory. Philadelphia: University of Philadelphia Press

Rosenblueth, Arturo/Norbert Wiener/Julian Bigelow (1943): Behavior, Purpose, and Teleology. In: Philosophy of Science. Volume 10, 18-24

Rosnay, Joel de (1979): Das Makroskop. Systemdenken als Werkzeug der Ökogesellschaft. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt

Scheele, Ulrich (2003): Der Regulierungsbegriff in der Ökonomie. Oldenburg (unveröffentlichtes Manuskript für *netWORKS*)

Schramm, Engelbert (2004): Naturale Aspekte sozial-ökologischer Regulation. Zwischenbericht aus dem Analysemodul „Ressourcenregulation“ im Verbundvorhaben „netWORKS“ zur Präsentation auf dem Meilenstein-Workshop vom 30.-31. März 2004 in Hannover. Frankfurt am Main: ISOE

Shannon, Claude E./Warren Weaver (1949): The Mathematical Theory of Communication. Urbana/Chicago: University of Illinois Press

Spencer Brown, George (1997): Gesetze der Form. Lübeck: Bohmeier (Originalausgabe (1969): Laws of Form.)

Steinbuch, Karl/Simon Moser (Hg.) (1970): Philosophie und Kybernetik. München: Nymphenburger Verlagshandlung

Steinbuch, Karl (1978): Regelung. In: Edmund Braun/Hans Radermacher (Hg.): Wissenschaftstheoretisches Lexikon. Graz/Wien/Köln: Styra

Storper, Michael/Allen J. Scott (1989): The Geographical Foundation and Social Regulation of Flexibel Production Complexes, zit. N. Hellmer et al. (1999), 46

Strübing, Jörg/Ingo Schulz-Schaeffer/Martin Meister/Jochen Gläser (Hg.) (2004): Kooperation im Niemandsland. Neue Perspektiven auf Zusammenarbeit in Wissenschaft und Technik. Opladen: Leske+Budrich

Vester, Frederic (1980): Neuland des Denkens. Vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt

Wiener, Norbert (1948): Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, Mass.: MIT-Press

Wiener, Norbert (1992): Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine. Düsseldorf/Wien/New York/Moskau: Econ Verlag

Wittgenstein, Ludwig (1989): Tractatus logico-philosophicus. Logisch-philosophische Abhandlungen. Frankfurt am Main

Anhang

Die Ergebnisse des Forschungsverbundes netWORKS erscheinen in der Reihe netWORKS-Papers. Kommunen haben die Möglichkeit, diese Veröffentlichungen kostenlos über das Deutsche Institut für Urbanistik zu beziehen. Interessenten aus Wissenschaft und Forschung sowie der übrigen Fachöffentlichkeit können sich die Texte kostenlos von der Projektplattform www.networks-group.de herunterladen. Bisher sind folgende Papers erschienen:

- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
  Transformationsprozesse in netzgebundenen Infrastruktursektoren. Neue Problemlagen und Regulationserfordernisse
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 1)

- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
  Transformation Processes in Network Industries. Regulatory Requirements
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, No. 1)

- Kluge, Thomas/Koziol, Matthias/Lux, Alexandra/Schramm Engelbert/Veit, Antje
  Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Wasser
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 2)

- Bracher, Tilman/Trapp, Jan Hendrik
  Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse ÖPNV
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 3)

- Bracher, Tilman/Trapp, Jan Hendrik
  Network-Related Infrastructures under Pressure für Change – Sectoral Analysis Public Transport
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, No. 3)

- Scheele, Ulrich/Kühl, Timo
  Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Telekommunikation
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 4)

- Monstadt, Jochen/Naumann, Matthias
  Netzgebundene Infrastrukturen unter Veränderungsdruck – Sektoranalyse Stromversorgung
  Berlin 2003 (netWORKS-Papers, Nr. 5)

- Tomerius, Stephan
  Örtliche und überörtliche wirtschaftliche Betätigung kommunaler Unternehmen. Zum aktuellen Diskussionsstand über die rechtlichen Möglichkeiten und Grenzen in Literatur und Rechtsprechung
  Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 6)

- Kluge, Thomas/Scheele, Ulrich
  Benchmarking – Konzepte in der Wasserwirtschaft: Zwischen betrieblicher Effizienzsteigerung und Regulierungsinstrument. Dokumentation des Symposiums am 28.4.2004 in Frankfurt a.M.
  Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 7)

- Libbe, Jens/Trapp Jan Hendrik/Tomerius Stephan
  Gemeinwohlsicherung als Herausforderung – umweltpolitisches Handeln in der Gewährleistungskommune. Theoretische Verortung der Druckpunkte und Veränderungen in Kommunen.
  Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 8)

- Hummel, Diana/Kluge, Thomas
  Sozial-ökologische Regulationen.
  Berlin 2004 (netWORKS-Papers, Nr. 9)

Weitere Veröffentlichungen des Forschungsverbunds netWORKS:

- Trapp, Jan Hendrik/Bolay, Sebastian
  Privatisierung in Kommunen – eine Auswertung kommunaler Beteiligungsberichte
  Berlin 2003, Schutzgebühr Euro 15,- (Difu-Materialien, 10/2003)

- Trapp, Jan Hendrik/Bolay, Sebastian
  Privatisation in Local Authorities – An Analysis of Reports on Municipal Holdings
  Berlin 2003 (Translated from Difu-Materialien, 10/2003)