

Institut für
sozial-ökologische
Forschung



Egon Becker,  
Engelbert Schramm

**Zur Modellierbarkeit  
sozial-ökologischer  
Transformationen**

Zentrale Ergebnisse einer  
Sondierungsstudie

Frankfurt am Main, 2001

**Materialien Soziale Ökologie  
(MSÖ 16)**

**Materialien Soziale Ökologie (MSÖ 16)**  
**ISSN 1617-3120**

**Zur Modellierbarkeit sozial-ökologischer Transformationen**

Zentrale Ergebnisse einer Sondierungsstudie

Egon Becker, Engelbert Schramm

herausgegeben von:  
Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) GmbH  
Hamburger Allee 45  
60486 Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2001



## Inhalt

<b>1. Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2. Versorgungssysteme als Gegenstand sozial-ökologischer Forschung und mathematischer Modellierung</b>	<b>8</b>
2.1 Regulationen gesellschaftlicher Naturverhältnisse	8
2.2 Versorgungssysteme	10
2.3 Versorgungssysteme in der sozial-ökologischen Forschung	12
2.4 Problemlagen in Versorgungssystemen	13
2.5 Betrachtung der verschiedenen Versorgungssektoren hinsichtlich einer Modellierbarkeit	15
<b>3. Starke Kopplung als analytisches Schema</b>	<b>18</b>
3.1 Betrachtung von Kopplungen zwischen Gesellschaft, Wasserversorgung und Natur	19
3.2 Indikatoren für die Kopplungskonstellationen industriezeitlicher Wasserversorungen mit Gesellschaft und Natur	24
3.3 Gegenwärtige Tendenzen einer Veränderung in den Kopplungskonstellationen und deren Regulation	26
3.4 Bewertung des analytischen Schemas	34
<b>4. Ausblick: Weitere Resultate der Sondierung</b>	<b>39</b>
<b>5. Literatur</b>	<b>40</b>

## 1. Einleitung

Sozial-ökologische Transformationen<sup>1</sup> betreffen sowohl Wirtschaft und Gesellschaft als auch einzelne ökologische Gefüge und die Natursphäre insgesamt. Sozio-ökonomische Ursachen und ökologische Wirkungen sind in diesen strukturverändernden Prozessen komplex verwoben mit ökologischen Ursachen und sozio-ökonomischen Wirkungen. Natürliche und soziale Prozesse werden dabei auf immer neue Weisen miteinander verflochten, was dazu führt, daß sich neuartige Prozesse ausbilden, bei denen es wenig Sinn macht, die sozialen und die physischen Vorgänge konventionell als voneinander unabhängig zu betrachten und in isolierten Betrachtungen zu analysieren.

Grundsätzlich ist zu fragen, ob und wie sich derartig komplexe Zusammenhänge zwischen gesellschaftlichen und natürlichen Systemen, wie sie bei sozial-ökologischen Transformationen vorliegen, noch so weit durchschauen lassen, daß ein adäquates Management der Komplexität möglich ist. Vor allem ist ungeklärt, ob und wie sich in solchen Systemzusammenhängen mit wissenschaftlichen Mitteln Prognosen erstellen lassen, an denen sich die verschiedenen (wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen) Akteure sinnvoll orientieren können.

Die Mehrzahl der Modelle der Umweltforschung bilden Beeinflussungen zwischen Natur und Gesellschaft als eine gegenseitige Störung weitgehend autonomer Sphären ab. So können Natur und Gesellschaft weiterhin unabhängig voneinander erforscht werden; und es ist ausreichend, ein Modell entweder sozialwissenschaftlich oder naturwissenschaftlich aufzubauen.<sup>2</sup> Die Modelle setzen nicht nur eine strikte Trennbarkeit zwischen den Sphären der Natur und der Gesellschaft voraus, was modelltechnisch auch zu erheblichen Restriktionen führt: Sowohl die in den Systemen miteinander verknüpften Variablen als auch die anthropogenen Störungen

---

<sup>1</sup> Unter sozial-ökologischen Transformationen werden form- und strukturverändernde Prozesse verstanden, die sich nicht nur auf physische Strukturen und Prozesse beziehen, sondern ebenso auf Gesellschaft (und damit auch auf Wahrnehmungen, Bedeutungen und Symbole). Als Kennzeichen sozial-ökologischer Transformationen gilt, daß sich, durch sozio-ökonomische Prozesse und technologischen Wandel angestoßen, vielfältige Problemlagen ineinander schieben und neue Wechselwirkungen ausbilden (vgl. Becker/Jahn 2000), z.B. auf globaler Ebene ein steigendes Konsumniveau (durch eine globalisierte Ökonomie), die Bevölkerungsentwicklung, die tendenzielle Verstädterung und physische Limitationen der Versorgungssysteme.

<sup>2</sup> Nur bei einem Vorliegen schwacher Störungen können die Zustände des gestörten Gesamtsystems mit seinen beiden autonomen Teilsystemen Natur und Gesellschaft durch Linearkombinationen aus den Zuständen des ungestörten Gesamtsystems gewonnen werden. Unter dieser unrealistischen Voraussetzung kann in der mathematischen Modellwelt linearisierter Differentialgleichungen erfolgreich mit Störungsrechnungen gearbeitet werden.

sind dabei in der Regel ausschließlich materiell-energetische Größen<sup>3</sup>; die in den Modellen prognostizierten Effekte sind fast ausschließlich linearer Art (vgl. ausführlicher Becker, Scharnhorst, Schramm, in Vorbereitung).

In Gegensatz zur konventionellen Umweltforschung kann eine sozial-ökologische Forschung das Theorem der strikten Trennbarkeit von Natur und Gesellschaft nicht mehr als unhinterfragbare Voraussetzung teilen. Gesellschaftliches Handeln und Wirtschaften haben in den ökologischen Gefügen auch (nicht-lineare) Effekte zur Folge, welche nicht alleine auf physische Faktoren zurückgeführt werden können. Für eine sozial-ökologische Forschung müssen folglich andere Konzepte und Modellierungsstrategien entwickelt werden.

Der "Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung: Globale Umweltveränderungen" (WBGU) hat in seinem ersten Jahresgutachten von 1993 ein allgemeines Rahmenkonzept skizziert, auf das auch in der sozial-ökologischen Forschung zurückgegriffen werden kann. Unterschieden wird auf der höchstaggregierten Stufe zwischen einer 'Natursphäre' und einer 'Anthroposphäre', welche zusammen ein 'Erdsystem' bilden. Beide Sphären sind durch deren "Metabolismen ineinandergeflochten". – "Nur wenn man umfassende quantitative Kenntnisse über die *Kopplung von Natur- und Anthroposphäre* besitzt, kann man die zentrale Frage nach der eventuellen *Destabilisierung* der Natursphäre durch die Dynamik der Anthroposphäre beantworten." (WBGU 1993:14)

Möglichkeiten, die hier die anschauliche Vorstellung 'gekoppelter Systeme' für neue sozial-ökologische Konzepte und Modellierungen eröffnen, wurden gezielt in der Sondierungsstudie "Zur Vorhersagbarkeit sozial-ökologischer Transformationen" ermittelt und z.T. differenzierend überprüft. Die Sondierungsstudie wurde im BMBF-Schwerpunkt "Sozial-ökologische Forschung" gefördert und 2000-2001 am Frankfurter Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE) durchgeführt.<sup>4</sup>

### *Grundlegendes zum Konzept gekoppelter Systeme*

Eine sozial-ökologische Modellierung sollte die Kopplungskonstellationen zwischen "natürlichen" und "gesellschaftlichen" Systemen angemessen berücksichtigen. Wir verstehen unter Kopplungen spezielle Arrangements

<sup>3</sup> Ebenso wie die symbolische Dimension ausgeblendet wird, wird "Gesellschaft" in den Modellen der etablierten (naturwissenschaftlichen) Umweltforschung lediglich undifferenziert als Ursachenkomplex für derartige "Störungen" natürlicher Systeme gesehen, dort aber selbst weder analysiert noch modelliert.

<sup>4</sup> Neben den beiden Autoren waren Eric Sons vom ISOE sowie Dr. Andrea Scharnhorst vom WZB Berlin beteiligt.

oder Konstellationen zwischen Entitäten (Dingen, Systemen, Strukturen und Prozessen) – z.B. ihre räumliche Anordnung, ihre materielle Beschaffenheit, die Bedingungen für den Stoffwechsel und die Übertragung von Energie und Information –, welche die Rahmenbedingungen für die Wechselwirkungen zwischen diesen Entitäten schaffen (vgl. ausführlicher Becker, Scharnhorst, Schramm, in Vorbereitung).

Beschränkt man sich auf stofflich-energetische Wirkungszusammenhänge zwischen der Natur- und der Anthroposphäre (grenzt also zunächst die für die Gesellschaft wesentlichen symbolischen Beziehungen und Deutungen aus) dann lassen sich die verkoppelten Sphären in einer physikalischen Analogie nach der Stärke der Kopplung klassifizieren als:

- vollständig entkoppelte Systeme
- schwach gekoppelte Systeme
- stark gekoppelte Systeme
- fest gekoppelte Systeme.

Physikalisch läßt sich diese Klassifikation beispielsweise an zwei Federpendeln mit unterschiedlicher Masse illustrieren: Sind sie “vollständig entkoppelt”, dann schwingt jedes Pendel periodisch mit seiner jeweiligen Eigenfrequenz; sind sie “schwach gekoppelt” (z.B. durch einen dünnen Gummifaden zwischen den Pendelmassen), dann stören sich die Pendel gegenseitig, sie schwingen leicht aperiodisch mit kleiner Frequenzverschiebung; sind sie “stark gekoppelt” (z.B. durch einen kräftigen Gummifaden) dann kommt es zu einem Schwingungsverhalten, das sich nicht mehr auf das Verhalten der entkoppelten Pendel zurückführen läßt: sie bilden ein komplexes Gesamtsystem, das in nicht-lineares und häufig auch in chaotisches Verhalten übergehen kann. Sind die Pendel “fest gekoppelt” (z.B. durch eine Stange zwischen den Pendelmassen), dann schwingt das Gebilde als Einheit periodisch mit einer neuen Eigenfrequenz.

Feste Kopplung und vollständige Entkopplung sind in der sozial-ökologischen Forschung vernachlässigbare Extreme: Eine vollständig von der Natursphäre entkoppelte Anthroposphäre ist schon dadurch eine theoretische Fiktion, daß Menschen als Lebewesen immer in einem Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umwelt stehen. Eine feste Kopplung läge etwa bei unauflösbaren Symbiosen vor.

In der Sondierungsstudie wurden transdisziplinär Möglichkeiten der Modellierung von infrastrukturgebundenen *Versorgungssystemen* (für Wasser, Energie, Ernährung, Mobilität, usw.) erkundet. Dabei wurden parallel zwei Wege eingeschlagen: Einerseits wurde – vertiefend am Beispiel der Wasserversorgung – untersucht, ob die Einführung des Konzepts starker Kopplungen für die Untersuchung sozial-ökologischer Transformationen über-

haupt einen Erkenntnisgewinn bringen kann. Die aus der Physik stammende Vorstellung der starken Kopplungen wurde dabei als analytisches Schema benutzt, um abschätzen zu können, ob mit seiner Hilfe Erkenntnisfortschritte erzielbar sind. Andererseits wurde sondiert, welche einschlägige Kompetenzen zu ihrer Modellierung nutzbar sind. Dazu wurden zunächst die fachlichen Voraussetzungen für eine mathematische Modellierung entsprechender Kopplungen erarbeitet (vgl. auch Becker, Scharnhorst, Schramm, in Vorbereitung).

## 2. Versorgungssysteme als Gegenstand sozial-ökologischer Forschung und mathematischer Modellierung

In der handlungsorientierten sozial-ökologischen Forschung werden seit einigen Jahren Problemlagen in verschiedenen 'Bedürfnisfeldern' analysiert (wie Ernährung und Wohlbefinden, Bauen und Wohnen, Mobilität und Verkehr, Gesundheit und Hygiene). Dabei wird versucht, die gesellschaftlichen Widersprüche zwischen sozialen, ökonomischen und ökologischen Entwicklungen im Sinne des Nachhaltigkeitskonzepts auszubalancieren. Unter pragmatischen Aspekten ist dies durchaus ein sinnvolles Verfahren. Doch sowohl die Auswahl und die Begründung der einzelnen Bedürfnisfelder als auch deren empirische Eingrenzung sind unter einem theoretischen Aspekt problematisch. Zum einen wegen der Unklarheit der dabei benutzten Vorstellung von 'Bedürfnissen' (vgl. Schramm 1998), zum anderen wegen des ungeklärten Verhältnisses von Bedürfnisbefriedigung und 'Umweltproblemen'. Für eine mathematische Modellierung müsste der Ansatz überhaupt erst begrifflich präzisiert und empirisch operationalisiert werden.

Wir schlagen hier ein anderes Vorgehen vor: Die Modellierungen sollten sich auf einen empirisch klar beschreibbaren gesellschaftlichen Bereich konzentrieren, der zudem auch begrifflich gut zu fassen ist: die Versorgungssysteme. Wir werden sie zum einen als eine zwischen 'Gesellschaft' und 'Natur' vermittelnde technisch-materielle Struktur begreifen, zum anderen als eine Form der Regulation gesellschaftlicher Naturverhältnisse. Dadurch erschließt sich eine neue Forschungsperspektive.

### ***2.1 Regulationen gesellschaftlicher Naturverhältnisse***

Das Geflecht der Beziehungen zwischen Gesellschaft und Natur und die sich darin herausbildenden Muster bezeichnen wir zusammenfassend als *gesellschaftliche Naturverhältnisse*. Sie müssen in jeder Gesellschaft dauerhaft reguliert werden, damit ein menschenwürdiges Leben möglich ist und der gesellschaftliche Lebensprozess intergenerativ fortgesetzt werden kann. Dabei ist aber nicht eindeutig festgelegt, auf welcher gesellschaftlichen Ebene das Beziehungsgeflecht lokalisiert und untersucht wird. Ist es die



Ebene, auf der durch das Zusammenwirken individueller Handlungen gesellschaftliche Naturverhältnisse sich herausbilden – oder ist es die Ebene von Institutionen und ausdifferenzierten Funktionssystemen? In jedem Fall handelt es sich um historisch variable Beziehungen, die in unterschiedlichen Handlungsbereichen sowohl zur “äußeren” Natur als auch zur “inneren” Natur der Individuen aufgebaut werden. Betrachtet man genauer die Formen und Praktiken, in und mit denen Gesellschaften ihr Verhältnis zur Natur stofflich regulieren und kulturell symbolisieren, dann wird deutlich, dass es *basale Naturverhältnisse* gibt, welche gewissermaßen anthropologisch vorbestimmt aber hochgradig kulturell geprägt sind. Sie entsprechen weitgehend jenen *Grundbedürfnissen*, ohne deren ausreichende Befriedigung menschliches Leben nicht möglich ist: Wie andere Lebewesen auch brauchen die Menschen Nahrungsmittel und Wasser, Schutz vor Hitze und Kälte, Möglichkeiten der Fortbewegung und der Fortpflanzung; durch Arbeit und Produktion einerseits, die Möglichkeiten zur kulturellen Symbolisierung andererseits zeichnen sich die Menschen allerdings gegenüber anderen Lebewesen aus. Deshalb ist das Spektrum basaler gesellschaftlicher Naturverhältnisse breiter als die biologischen Lebensfunktionen. Deren Regulierung ist sowohl für die individuelle als auch für die gesellschaftliche Reproduktion unverzichtbar. Dabei spielen Arbeit und Produktion einerseits, Sexualität und Fortpflanzung andererseits eine besondere Rolle, denn ohne sie wäre gesellschaftliches Leben nicht möglich. Deshalb präformieren deren Regulationsordnungen die Formen in denen andere gesellschaftliche Naturverhältnisse reguliert werden. Sie begrenzen gewissermaßen den Raum möglicher Regulationsweisen.

Wir haben hier analytisch zwischen den anthropologisch bestimmten basalen gesellschaftlichen Naturverhältnissen und den je spezifischen – sozialen, ökonomischen, politischen, wissenschaftlich-technischen, ästhetischen, religiösen – Formen unterschieden, mit denen Gesellschaften ihre Naturverhältnisse materiell regulieren und kulturell symbolisieren. Die Ausprägung und das Zusammenwirken spezifischer, kulturell eingespielter Regulationsmuster lassen sich auf verschiedenen Ebenen analysieren:

- Auf der Mikroebene *individueller Bedürfnisbefriedigung* die Regulationsmuster noch eng verknüpft mit der Körperlichkeit der Menschen und psycho-physischen Prozessen (z.B. Mangelgefühlen, Wahrnehmungsweisen, Motivationen). Diese wiederum verlaufen nicht unabhängig von alltagskulturellen Praktiken.
- Auf einer mittleren Ebene sind die Möglichkeiten der Bedürfnisbefriedigung einerseits von der *Verfügbarkeit lebensnotwendiger Güter* abhängig und werden von kulturellen Symbolsystemen, kognitiven Modellen, Machtstrukturen und Eigentumsverhältnissen geprägt.

- Auf der Makroebene stabilisieren sich die *Regulationsmuster gesellschaftlicher Reproduktion* und sozialer Integration beispielsweise in Form von Produktions-, Eigentums- und Geschlechterverhältnissen.

Damit entstehen auf jeder Ebene spezifische Ausprägungen gesellschaftlicher Naturverhältnisse, mit denen ganz unterschiedliche Veränderungen der physischen und organischen Umwelt verknüpft sind. Die Regulationsmuster auf den verschiedenen Ebenen müssen wiederum zusammenwirken, ihre Vermittlung kann gelingen oder misslingen, wodurch Regulationsprobleme zweiter Ordnung entstehen, Regulation von Regulationen also. (Jahn/Wehling 1998: 88).

## 2.2 Versorgungssysteme

Ein Teil der menschlichen Grundbedürfnisse lässt sich nur befriedigen, wenn bestimmte lebensnotwendige Güter in ausreichender Menge und Qualität verfügbar sind: Wasser (Trink- und Brauchwasser), Lebensmittel (Grundnahrungsmittel und besondere Speisen), Energie (Kohle, Holz, Gas, Elektrizität, ...) <sup>5</sup>; gesellschaftliches Leben ist aber nur möglich, wenn leistungsfähige Verkehrsmittel zur Gewährleistung von Alltags- und von Gelegenheitsmobilität existieren (Wege und Strassen, Eisenbahn-, Schifffahrts- und Fluglinien). Die Menschen brauchen aber auch Kleidung und Wohnung, Gesundheitssicherung und Altersversorgung, Bildung und Kommunikationsmöglichkeiten. Um die Menschen in einem Gebiet mit lebensnotwendigen Gütern und Dienstleistungen zu versorgen, haben sich im Verlauf der Geschichte spezifische Strukturen und Regulationsformen herausgebildet, die einem ständigen Wandel unterliegen. Wir nennen sie *Versorgungssysteme*.

Das deutsche Wort *Versorgung* hat ein breites Bedeutungsspektrum. Es bezeichnet sowohl eine technische Struktur als auch eine gesellschaftliche Aufgabe. Versorgen und Bedarf hängen eng zusammen. Zunächst bedeutet es, *jemandem etwas, was er (dringend) braucht oder was ihm fehlt, zukommen zu lassen*. Jemand also mit Geld, Lebensmitteln, Kleidern, Medikamenten, Informationen zu versorgen. Es bedeutet aber auch, für jemandens *Unterhalt zu sorgen, ihn zu ernähren*. In diesem Sinne gibt es Güter und Dienstleistungen, mit denen eine Bevölkerung beispielsweise durch Versorgungsbetriebe und über spezifische Netze ausreichend versorgt sein sollte. Sie definieren eine Versorgungslage. Misslingt die Versorgung, dann kommt es zu Engpässen und Lücken, manchmal auch zu bedrohlichen Krisen <sup>6</sup>.

<sup>5</sup> Dabei finden Versorgungen nicht nur auf stofflich-materieller Ebene sondern auch als Dienstleistungen statt (z.B. in Form von contracting). So hängen sich Dienstleistungen quasi an materielle Dinge an.

<sup>6</sup> Im Englischen muss das deutsche Wort *versorgen*, dem breiten Bedeutungsspektrum entsprechend, durch mehrere Worte übersetzt werden: to take care, to look after, to nurse, to

Versorgungssysteme sind zugleich produzierende, transformierende und distributierende Einheiten. Auch diese Einheiten müssen wiederum versorgt werden – mit Rohstoffen, Energie, Arbeitskräften. Dadurch sind die einzelnen Versorgungssysteme auf vielfältige Weise miteinander verknüpft. Die Verteilung der Güter erfolgt entweder über eine eigene technische Infrastruktur (z.B. Leitungsnetze für Wasser, Gas und Elektrizität) oder über Transportsysteme und Märkte.

Zu der Notwendigkeit einer Versorgung kommt noch die einer *Entsorgung*: Durch die Nutzung des Wassers entstehen Abwässer, die Energieversorgung produziert Abfälle und Schadstoffe, durch Ernährung und Konsum entsteht Müll. So ergibt sich die Notwendigkeit, eigene Entsorgungssysteme zu entwickeln und zu betreiben, um Gesundheitsschäden und ökologische Gefährdungen zu vermeiden. Im Zusammenspiel von Versorgung und Entsorgung entstehen sozial-ökologische Problemlagen, für die jede Gesellschaft eigene Regulationen entwickeln muss.

Die von den Versorgungssystemen zu erbringenden Leistungen (der Bedarf) hängen ab von der Gesamtzahl der zu versorgenden Menschen, deren Bedürfnissen und sozialem Status. Versorgungssysteme müssen also sowohl auf die Populationsdynamik als auch auf die Veränderung von Bedürfnissen und Sozialstrukturen reagieren. Der Eigenbedarf von Versorgungssystemen an Rohstoffen oder Energie hängt nur indirekt von der Bevölkerungszahl ab. Entscheidend sind hier vielmehr die verfügbare Technik und die Produktionsbedingungen. Versorgungssysteme sind dadurch auf unterschiedliche Weise in die Ökonomie einer Gesellschaft eingebunden. Versorgungsbetriebe für Wasser, Gas und Elektrizität werden vielfach noch als kommunale Eigenbetriebe oder in der Form kommunaler oder regionaler Zweckverbände betrieben; es dominieren aber große gemischtwirtschaftliche Unternehmen, die derzeit unter starkem Privatisierungsdruck stehen.

Bedenkenswert ist noch, dass der Begriff 'Versorgung' auch noch in einem ganz anderen Sinne verwendet wird, nämlich als Versorgung von Menschen in besonderen Situationen mit den Finanzmitteln, die sie zur Bestreitung ihres Lebensunterhaltes benötigen. So spricht man beispielsweise im öffentlichen Dienstrecht von der "Versorgung" – verstanden als "die materielle Sicherstellung der Beamten und ihrer Hinterbliebenen nach Ausscheiden aus dem aktiven Dienst durch Zahlung von Versorgungsbezügen." Ähnlich wird allgemein von Altersversorgung gesprochen, sei es

---

supply (with), to provide (with), to furnish (with), to maintain, to support. Versorgungsbetriebe heißen im engl. public utilities, ein Versorgungsgebiet heißt supply district. Die Bezeichnung ‚supply system‘ kommt dem deutschen ‚Versorgungssystem‘ noch am nächsten. Neudings spricht man auch von ‚life support systems‘

als Rente oder als Kapitaleinkommen, aber auch als "Unterbringung einer Person in einer Anstalt, z.B. einem Altersheim." Hier handelt es sich um scheinbar rein innergesellschaftliche Probleme. Doch gerade mit solchen Versorgungssystemen reagiert eine Gesellschaft auf Naturtatsachen – Altern und Sterben. Systeme der Altersversorgung vermitteln also durchaus zwischen Gesellschaft und Natur, und können daher auch unter eine sozial-ökologischen Perspektive betrachtet werden. Dies gilt ebenso für Gesundheitssysteme.

### ***2.3 Versorgungssysteme in der sozial-ökologischen Forschung***

Versorgungssysteme sind ein herausgehobener Bereich sozial-ökologischer Forschung. Einerseits deshalb, weil die Güterversorgung der Bevölkerung mit Wasser, Energie, Verkehrsmittel und Nahrung, sowie Dienstleistungen für Mobilität, Gesundheit, Kommunikation und Bildung nur noch mittels ausgedehnter und sich zeitlich entwickelnder sozio-technischer Großsysteme zu garantieren ist. Diese wiederum bilden eine vermittelnde Instanz zwischen Gesellschaft und Natur, welche Flüsse von Stoffen, Energie und Informationen gezielt lenken und umlenken. Andererseits treten in den einzelnen Bereichen sozial-ökologische Problemlagen auf, die sich krisenhaft verschärfen können. Gerade die für die Befriedigung menschlicher Grundbedürfnisse zentralen Bereiche wie Wasser, Energie, Ernährung und Verkehr sind dadurch in vielen Teilen der Welt ernsthaft gefährdet.

Versorgungssysteme müssen als solche reguliert werden; sie regulieren aber gleichzeitig auch selbst Stoff-, Energie- und Informationsflüsse. Versorgungssysteme haben dadurch einen erheblichen Einfluß auf die Regulierung gesellschaftlicher Naturverhältnisse, ein zentrales Aufgabengebiet sozial-ökologischer Forschung.

Konventionell werden die Probleme von Versorgungssystemen in der Regel entweder zu allgemein als *Infrastrukturprobleme* oder zu speziell als Probleme einzelner Versorgungssektoren (z.B. Wasser oder Energie) untersucht. Zur Infrastruktur einer Gesellschaft ("Unterbau") zählt man traditionell jene Einrichtungen, die durch die öffentliche Hand betrieben oder beaufsichtigt werden und der generellen, 'Daseinsvorsorge'<sup>7</sup> dienen – z.B. Verkehr, Energie, Ausbildung, Forschung, Gesundheitswesen, Wasserbau, Wasserwirtschaft, Anlagen für Kultur, Erholung und Sport sowie

---

<sup>7</sup> Der Terminus wurde von Ernst Forsthoff 1938 in seiner Schrift "Die Verwaltung als Leistungsträger" eingeführt und in engen Zusammenhang mit der "Zusammendrängung großer Bevölkerungsmassen auf engstem Raum in den Großstädten" gebracht. Aufgabe des Staates sei es, die Daseinsführung ohne beherrschten Lebensraum erst möglich zu machen: Gas, Wasser, elektrische Energie, Abwasserableitung, Verkehrsmittel usw. seien Aufgaben staatlicher Daseinsfürsorge (vgl. Läßle 1973: 90ff) Die präfaschistischen Konnotationen dieses Staatsverständnisses sind deutlich genug.

die öffentliche Verwaltung. Auch die Gesamtheit ortsfester militärischer Anlagen zur Landesverteidigung (wie z.B. Flugplätze, Ölleitungen, Lazarette, Übungsplätze, Fernmeldenetze) wird Infrastruktur genannt. ‚Infrastruktur‘ ist offensichtlich ein viel zu allgemeiner und wenig trennscharfer Begriff, um die spezifischen Probleme von Versorgungssystemen wissenschaftlich zu bearbeiten. Konzentriert man sich umgekehrt nur auf einzelne *Versorgungsbereiche*, dann rückt der Systemcharakter und das Zusammenwirken einzelner Ver- und Entsorgungssysteme leicht aus dem Blickfeld.

#### ***2.4 Problemlagen in Versorgungssystemen***

Technologischer Wandel und ökonomische Globalisierung haben in den letzten Jahren die Komplexität der gesellschaftlichen Versorgungssysteme in einem noch kaum überschaubaren Ausmaß gesteigert: Technisch werden immer mehr Systemelemente (z.B. Nahrungsmittelerzeuger, Brunnen, Kraftwerke, Computer) miteinander verbunden, wodurch sich die einzelnen Systeme räumlich ausdehnen und mehr und mehr den gesamten Globus umspannen. Dabei nimmt die Anzahl der in die Systeme eingebundenen und miteinander verbundenen Elemente rapide zu, hierdurch aber auch die Möglichkeiten gegenseitiger Einwirkungen, Rückwirkungen und Abhängigkeiten. Zugleich sind die großen und kapitalintensiven Versorgungssysteme eingebunden in Marktstrategien und Finanzierungsnotwendigkeiten überregional operierender Unternehmen, die zunehmend privatwirtschaftlich verfasst sind. Nahrungsmittel, Wasser und Energie werden als Waren auf globalen Märkten gehandelt. Die Größe und das Funktionieren der Versorgungssysteme ist abhängig von der Anzahl der jetzt und zukünftig zu versorgenden Menschen, den Bedürfnissen und Einkommensverhältnissen der Bevölkerung, von Konsumentenverhalten und Lebensstilen. Die einzelnen Systeme sind zudem auf einer technisch-materiellen Ebene miteinander verkoppelt: Das System der Nahrungsversorgung setzt ein ausgebautes Güterverkehrssystem voraus und dieses wiederum ein Versorgungssystem für Energie. Und sämtliche Systeme werden mehr und mehr abhängig von leistungsfähigen I&K-Netzwerken. Nur damit lassen sie sich noch technisch regulieren und ökonomisch steuern. Jedes dieser technisch-ökonomischen Systeme ist aber auch über vielfältige Wirkungsketten mit natürlichen Systemen verbunden, die einerseits als Ressourcen genutzt und andererseits für die Aufnahme von Abfällen und Schadstoffen gebraucht werden. Dadurch verändern sich aber diese Systeme in einer nur schwer vorhersehbaren Weise. Es entstehen komplexe sozial-ökologische Problemlagen, auf die wiederum mit technischen, ökonomischen, politischen oder rechtlichen Mitteln reagiert wird.

Die kompliziert verketteten Wirkungszusammenhänge zwischen technischen, ökonomischen und ökologischen Faktoren in den verschiedenen Versorgungssystemen und zwischen ihnen lassen sich auf vielfältige Weise beschreiben und darstellen. Bei den Betreibern und in der Öffentlichkeit wächst aber die Skepsis, ob sich derartig komplexe Systemzusammenhänge überhaupt noch so durchschauen lassen, dass ein adäquates Management der Komplexität möglich ist. Noch stärker ist die Skepsis, ob sich in solchen Systemzusammenhängen mit wissenschaftlichen Mitteln Prognosen erstellen lassen, an denen sich die verschiedenen Akteure noch sinnvoll orientieren können. Die Probleme einer Erklärung und Prognose verschärfen sich noch, wenn die Akteure dem Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung folgen wollen, denn dann müssen auch die Auswirkungen auf die natürlichen Systeme erfasst werden.

In einer so komplizierten Forschungssituation müssen unterschiedliche wissenschaftliche Verfahren angewendet werden, um einzelne Versorgungssysteme und deren Zusammenwirken zu verstehen.

- a) Fragestellungen für historische und kultur-vergleichende Untersuchungen einzelner Versorgungssysteme sowie deren Zusammenwirken sind zu entwickeln und interdisziplinär zu bearbeiten<sup>8</sup>;
- b) der Beitrag von Versorgungssystemen (Bedarfsfeldern) zur Regulation gesellschaftlicher Naturverhältnisse ist zu untersuchen;
- c) bei beiden Fragerichtungen sollte möglichst konsequent die Gender-Dimension herausgearbeitet werden, beispielsweise durch Untersuchung der geschlechtsspezifischen Arbeitsteilung bei der alltagspraktischen Versorgung;
- d) schließlich sollten mathematische Modellierungen mit avancierten Methoden entwickelt werden.

Mit dem Konzept der starken 'Kopplung' wird versucht, für mathematische Modellierungen einen neuen Zugang zu eröffnen. Um Versorgungssysteme als sozial-ökologische Systeme beschreiben und modellieren zu können (und nicht nur als sozio-technische) empfiehlt es sich, die Menschen – Konstrukteure, Betreiber und Nutzer – als Elemente des Systems zu beschreiben. Denn dann lassen sich Selbstorganisationsprozesse erkennen, welche das gesamte System erfassen. Dann wird es aber auch sinnvoll,

---

<sup>8</sup> Dazu lohnt es sich, universalhistorisch angelegte Studien genauer anzusehen. Von besonderem Interesse dabei Fred Spier (1998), der untersucht, wie "Menschlich-ökologische Regulationssysteme und deren Transformationen" das vorherrschende Strukturprinzip der Geschichte bilden; oder auch August Nitschke (1994), der gesellschaftliche und natürliche Systembildungen miteinander vergleicht. Hier könnten aber auch Sieferle (1997) und Fischer-Kowalsky/Weisz (1999), die mit einem humanökologischen Ansatz Probleme von Versorgungssystemen als gesellschaftlichen Metabolismus thematisieren, herangezogen werden.

die Theorien und Modellierungstechniken für komplexe selbstorganisierende Systeme auf Versorgungssysteme anzuwenden.

Sozial-ökologische Systeme lassen sich in einer physikalischen Analogie nach der Stärke ihrer inneren und äußeren Kopplungen als fest, stark, lose oder entkoppelt beschreiben. Bei Versorgungssystemen können sowohl intern (zwischen den einzelnen Bestandteilen des Systems) als auch extern (zu anderen gesellschaftlichen oder natürlichen Systemen) sämtliche Kopplungstypen auftreten. Die Folgen starker Kopplung sind bisher wenig untersucht. Dies hat neben den bekannten Schwierigkeiten bei der Analyse nicht-linearer Systeme auch noch einen ganz praktischen Grund: Beim Aufbau von Versorgungssystemen wird ingenieurstechnisch versucht, entweder mit losen oder mit festen Kopplungen zu arbeiten – und starke Kopplungen sicherheitstechnisch auszuschließen (vgl. Schramm 2001). Denn starke Kopplungen können zu Fluktuationen, Instabilitäten und partiellen Zusammenbrüchen führen („Strukturbrüchen“); es kann aber auch zur Evolution neuer Ordnungen kommen („Restrukturierung“). Solange man versucht, den Fall der starken Kopplung auszuschließen, wird oft auch deren Möglichkeit übersehen.

### ***2.5 Betrachtung der verschiedenen Versorgungssektoren hinsichtlich einer Modellierbarkeit***

Im Rahmen einer Sondierung konnten aus untersuchungspragmatischen Gründen insbesondere die Interdependenzen zwischen verschiedenen Versorgungssektoren nicht verfolgt werden. Vielmehr war es erforderlich, einen einzigen Versorgungsbereich zu betrachten. Daher wurde ein grober Überblick über die verschiedenen Versorgungssysteme und deren Transformationen erarbeitet, die in sozial-ökologischen Forschungsprojekten im Vordergrund stehen könnten. Im Hinblick auf eine Modellierung wird dabei insbesondere die für Modelle erforderliche Datenlage und die Komplexität knapp betrachtet.

#### *Energieversorgung*

Bei Energie handelt es sich um eine abstrakte und homogene Größe, unter der die verschiedensten Trägerformen und Endverbraucher subsumiert werden können. Der Energieversorgungssektor ist jedoch aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Energieträgern von der Datenlage sehr unübersichtlich. Daher und wegen der aufgrund der Diversität der Energieträger vermuteten Komplexität wird der Bereich nur sehr aufwendig zu modellieren sein. Aus diesen Gründen ist nach unserer vorläufigen Einschätzung trotz der hier ablaufenden sehr interessanten Transformationsprozesse (Ausstieg aus der Nuklearenergie, Knappheitserscheinungen am Ölmarkt) eine Sondierung extrem schwierig.

### *Wasserversorgung*

Die technische Infrastruktur des Wasserversorgungssektors ist gegenüber Transformationen wesentlich widerstandsfähiger als die des Energieversorgungssektors. Es ist daher und aufgrund der geringeren Homogenität des Wassers damit zu rechnen, daß hier Transformationen nur über sehr große Zeitabschnitte hin eintreten werden (zur Bebilderung: bereits der Aufbau des komplementären Entsorgungsektors hat etwa 100 Jahre gebraucht). Im Vergleich zu den anderen Versorgungssektoren ist der Bereich der Wasserversorgung vermutlich wesentlich übersichtlicher und für eine Modellierung besser geeignet.

### *Verkehrssystem*

Der Verkehrssektor wird wissenschaftlich zwar primär von einer Infrastrukturplanungs-Disziplin behandelt. Eine integrierte Trassenplanung und aufeinander abgestimmte Verkehrspolitik zur Entwicklung und Transformation des Verkehrssektors existiert aber in der Praxis nicht. In den verschiedenen Teilsektoren sind extrem verschiedene, nur indirekt miteinander konkurrierende und unterschiedlich mächtige Branchen die relevanten Akteure und Betreiber. Die – in ihren Rahmenbedingungen noch nicht vollständig determinierte – Privatisierung des öffentlichen Transportwesens verschärft diese Tendenzen derzeit. Aus den genannten Gründen ist anzunehmen, daß die Datenlage extrem unübersichtlich ist; auch die Transformationsbedingungen des Sektors sind vermutlich derzeit für eine Modellierung zu komplex. Die Sondierung dieses Bereiches wird daher als wenig erfolgversprechend ausgeschieden.

### *Kommunikationssystem*

Die Entwicklung der Kommunikationssysteme ist extrem sprunghaft verlaufen. In der Geschichte hat hier ein Wechsel der unterschiedlichsten Kommunikationssysteme stattgefunden (Übermittlung von Turm zu Turm bzw. Poststation zu Poststation, kabelgebundene und drahtlose Morse-, Telefon-, Telex- und moderne IT-Systeme); neuerdings ist ein Nebeneinander verschiedener Systeme zu beobachten, deren Nutzung nach Wegfall des staatlichen Telekommunikationsmonopols zunehmend von verschiedensten Betreibern angeboten werden. Während sich die zentrale Infrastruktur vergleichsweise langsam wandelt (z.b. Übergang von Kupfer- zu Glasfaserkabeln), ist auf Seiten der Komplementärtechnologien eine extrem rasche Innovationsgeschwindigkeit zu verzeichnen. Aus den genannten Gründen ist vermutlich die Datenlage extrem unübersichtlich und der Sektor selbst – trotz einer vergleichsweise Standardisierung durch globalgültige technische Normen – äußerst komplex. Die Sondierung dieses Bereiches ist daher wenig erfolgversprechend.



### *Lebensmittelversorgung*

Der Sektor Lebensmittelversorgung ist äußerst heterogen; hier werden die unterschiedlichen Verkehrstrassen genutzt sowie Verteilerstationen, die z.T. auch anderen Zwecken dienen (z.B. Kühlhallen, Großmärkte). Der Lebensmittelversorgungssektor wird wissenschaftlich häufig nicht als Einheit betrachtet, sondern in aufgesplitteter Weise (Landwirtschaft, Lebensmittelveredelung, Güterverkehr, Handel, Konsum). Daher ist nach unserer Ansicht die Datenlage extrem unübersichtlich und das System selbst äußerst komplex. Die Sondierung dieses Bereiches ist daher – trotz der sich derzeit andeutenden Transformation aufgrund wesentlicher Veränderungen in der europäischen und der Bundespolitik – recht aufwendig.

### *Versorgung mit Grundstoffen*

Auch der Sektor zur Versorgung der Gesellschaft mit chemischen Grundstoffen ist äußerst heterogen. Die Erzeugung von Grundstoffen wird zwar chemietechnologisch als Einheit betrachtet, ist aber auf eine große Anzahl von Branchen verteilt: An der Extraktion der Grundstoffe sind verschiedene Industriezweige beteiligt (Bergbau, Erdöl- und Erdgasgewinnung); in Raffinerien und der chemischen Grundstoffindustrie findet die Weiterverarbeitung statt. Zur Distribution werden die unterschiedlichen Verkehrstrassen genutzt sowie diverse Verteilerstationen. Aus den genannten Gründen ist vermutlich die Datenlage extrem unübersichtlich und das System selbst äußerst komplex. Die Sondierung dieses Bereiches schien daher in der verfügbaren Zeit wenig erfolgversprechend.

### ***Zwischenfazit***

Aufgrund dieser Grobeinschätzungen konnten einige der Versorgungssektoren als für die weitere Sondierung ungeeignet ausgeschieden werden. Dagegen war es erforderlich, Energieversorgung und Wasserversorgung noch eingehender zu betrachten, um sich zwischen den beiden für das in der weiteren Sondierung zu vertiefenden Beispiel zu entscheiden. Da sich der Energiebereich durch eine zu hohe Komplexität und Undurchsichtigkeit auszeichnet, wurde auf die Wasserversorgung als einfacherem und der Modellierung vermutlich leichter zugänglichen Bereich focussiert.

Das Wasserbeispiel eignet sich insgesamt besser zur Vorbereitung einer Modellierung, weil hier klare Strukturen erkennbar sind und hier bei einer Modellierung die Verräumlichung und Regionalisierung leichter fallen werden. Außerdem kann hier gewinnbringend an die im ISOE selbst vorhandenen eigenen Kompetenzen angeschlossen werden.

Es ist jedoch zu vermuten, daß es in einem größeren Verbund im Anschluß an eine erste Erprobung der Modellierung am Beispiel der Wasserversorgung sinnvoll sein wird, auch komplexere Modelle für den Bereich der Energieversorgung in einem – vermutlich sehr aufwendigen – Ver-

bund zu erarbeiten. Die größere Komplexität läßt hier mittelfristig eine Verwendung des Modells der gekoppelten Systeme zur Prognose der zukünftig auftretenden sozial-ökologischen Transformationen wünschenswert erscheinen: Aufgrund der (nur im Vergleich zu Wasser) geringeren Trägheit des Energieversorgungssystems könnten hiermit insbesondere die langfristigen Entwicklungen der Veränderung von Technik prognostiziert bzw. einer Analyse zugänglich gemacht werden.

### 3. Starke Kopplung als analytisches Schema

Die Konstellation starker Kopplung von Gesellschaft und Natur kann als analytisches Schema begriffen werden, um an Versorgungssystemen – hier am Beispiel der Wasserversorgung – grundlegende Strukturen sowie auftretende Probleme (insbesondere Umweltprobleme 2. Ordnung) und sich zeigende Transformationen zu reformulieren. Mit dieser Reformulierung und der sich aus ihr ergebenden Analyse sollte überprüft werden, ob sich mit dem Kopplungskonzept neue Einsichten über den Gegenstandsbe- reich, insbesondere sozial-ökologische Transformationen, gewinnen lassen.

Um starke Kopplungen identifizieren zu können und die durch sie produzierten Problemdynamiken adäquat bearbeiten zu können, wurde hilfsweise angenommen, daß die Wasserversorgung ein hybrider Bereich ist, der historisch als materielle Vermittlungsinstanz zwischen Gesellschaft und Natur aufgebaut worden ist. Modelltheoretisch kann der Bereich der gesellschaftlichen Wasserversorgung zunächst als zwischen Gesellschaft (mit ihren Institutionen und Bereichen) und Natur (mit ihren unterscheidbaren Sphären) “geschobenes” System betrachtet werden.<sup>9</sup>

Hierbei wurde zudem eine Reihe konzeptioneller Vorannahmen getroffen, indem ein Verständnis von Wasserversorgung zugrundegelegt wurde, auf dem in einem späteren Schritt dann auch eine Modellierung aufbauen könnte. Daher wurde Wasserversorgung begriffen

- als *vermittelnde Instanz zwischen Gesellschaft und Natur*, welche Flüsse von Stoffen, Energie und Information gezielt lenken und umlenken kann, um den Bedarf der Gesellschaft an bestimmten Gütern und Dienstleistungen zu befriedigen,
- als (intern und extern unterschiedlich stark) gekoppeltes *sozial-ökologisches System*, d.h. als System mit gesellschaftlichen und natürlichen Elementen,

---

<sup>9</sup> Für Modellierungen würde es auf jeden Fall erforderlich sein, die Unterscheidungen zwischen Gesellschaft, Natur und dem dazwischengeschobenen hybriden Bereich pragmatisch festzulegen.

- als *selbstorganisierendes System*, wenn die Konstrukteure, Betreiber, Regulatoren und Organisatoren in das System miteinbezogen werden.

### ***3.1 Betrachtung von Kopplungen zwischen Gesellschaft, Wasserversorgung und Natur***

Mit Hilfe dieser Annahme eines zwischen Gesellschaft und Natur vermittelnden Versorgungsbereichs mit selbstorganisierenden Anteilen konnten dann die basalen und abgeleiteten Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Natursphäre einerseits, zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft andererseits identifiziert und einer Analyse zugänglich gemacht werden.

Menschen sind in ihrem physiologischen Stoffwechsel täglich auf die ausreichende Aufnahme von Wasser angewiesen (ca. 2 L/d). Nicht nur dieses Grundbedürfnis, sondern auch weitere, auch sozio-kulturell geprägte Bedürfnisse (Körperpflege, Hygiene, Nahrungszubereitung), die von uns auch gesellschaftliche Naturverhältnisse genannt werden (vgl. Kap. 2, sowie Jahn 1991), erfordern eine Versorgung mit Wasser. Auch für das Wirtschaften der Menschen ist die Versorgung mit Wasser eine notwendige Voraussetzung<sup>10</sup>

Siedlungen und Gewerbe waren in der Geschichte zunächst starr an das örtlich erschließbare Wasserdargebot gekoppelt: Nur jenes Wasser, das lokal in Still- oder Fließgewässern vorhanden war (oder zusätzlich durch einfache Brunnen verfügbar wurde), konnte auch gesellschaftlich genutzt werden. Die ausreichende Versorgung mit vor Ort verfügbarem, qualitativ geeignetem Wasser war demnach ein außerordentlich wichtiger und lange stark limitierender Faktor für die Bevölkerungs-, Siedlungs-, Wirtschafts- und Gesellschaftsentwicklung.

Erst die historische Entwicklung sozial-ökologischer Versorgungssysteme erlaubte die Emanzipation vom ausschließlich örtlichen Naturraumpotential. Die bis dahin weitgehend starre Kopplung zwischen Wasserverwendung und örtlichem Wasserdargebot wurde gelockert: Bereits mit antiken, mittelalterlichen-klösterlichen oder frühneuzeitlich-herrschaftlichen Formen von Wasserleitungen und -versorgung und spezifischen Weisen der Kanal- und Bewässerungswirtschaft konnte auf weitere, mittelbar zugängliche Wasserressourcen zurückgegriffen werden: Grundwasser, Wasser von entfernteren Orten und aus anderen Regionen. Perfektioniert und univer-

---

<sup>10</sup> Beispielsweise als Prozeßwasser, als Energielieferant, aber auch zur Produktion von Kulturpflanzen und Haustieren. Wasser hat darüber hinaus auch symbolische Bedeutungen, z.B. für die Taufe oder rituelle Reinigungen. Vgl. auch Ipsen et al. 1998.

salisiert wurden diese Technologien in der industriezeitlichen Siedlungswasserwirtschaft (vgl. Kluge/Schramm 1988).

Das industriezeitliche Wasserversorgungssystem und die mit ihm gekoppelten Sanitär- und Produktionstechnologien führten zur Ausbildung neuer Gebrauchsmuster von Wasser. Dabei wurde in einem weit größeren Maßstab als zuvor Wasser mechanisch, chemisch und mikrobiologisch belastet. In der Folge mußten im historischen Vergleich riesige Abwassermengen aus den Verbrauchsstätten herausgeleitet werden, die auch – u.a. wegen der enthaltenen Fäkalien usw. – nicht direkt (z.B. über Grabensysteme, Rinnsteine usw.) wieder in die ökologischen Gefüge der Siedlungen eingeleitet werden konnten. Innerörtliche Kanalisationssysteme zur Ableitung dieses verschmutzten Abwassers entstanden zunächst im städtischen Raum (um primäre und – z.B. Gewässerverschmutzung! – sekundäre) Umweltprobleme zu vermeiden oder zu vermindern).<sup>11</sup>

*Ideale Kopplungsarrangements der industriezeitlichen Wasserversorgung*  
Die industriezeitliche Wasserversorgung wird von unterschiedlichen gesellschaftlichen Akteuren betrieben – Ingenieuren des Wasserfachs, Hygienikern, staatlichen Aufsichtsbehörden usw. Diese “Wassermacher” stellen eine expertokratische Machtelite dar, erheben aber – anders als die Mandarine des alten China, die aufgrund des Bewässerungswesens ihre Macht ausbauen konnten (vgl. Wittfogel 1977) – nicht den Anspruch auf die Macht im Staat, sondern sind fast ausschließlich daran interessiert, für die Wasserversorgung eine möglichst weitgehende Definitions- und Gestaltungsmacht zu besitzen. Der Erhalt dieser Macht ist in erster Linie davon abhängig, daß die Wasserversorgung gesellschaftlich möglichst unauffällig bleibt und möglichst keine eigenständigen gesellschaftlichen Regulationen (z.B. durch Parlamente oder die staatliche Politik) beansprucht und implementiert werden. Dies erfordert, daß die Arrangements zwischen Wasserversorgung und Natursphäre einerseits und zwischen Wasserversorgung und Gesellschaftssphäre andererseits möglichst so gestaltet werden müssen, daß starke Kopplungen vermieden werden. Denn als Folge starker Kopplungen können Zustände auftreten, die nicht mehr einfach prognostizierbar und beherrschbar sind.

Tatsächlich sind unterschiedliche Kopplungstypen zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft einerseits und zwischen Versorgung und Natur andererseits zu unterscheiden:

---

<sup>11</sup> Der bisherige Erfolg des industriezeitlichen Wasserversorgungssystem läßt sich nicht ohne diese Entsorgungssysteme, die zur Ableitung und später auch der (teilweisen) Reinigung der Abwässer aufgebaut wurden, erklären. Im Idealfall sind Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung starr gekoppelt.

- Im Idealfall werden zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung starre Kopplungen etabliert, ähnlich wie sie zuvor bezogen auf die Mengen-Kopplung zwischen Gesellschaft und Natur vorhanden waren: Die Wasserversorger befriedigen den in der Gesellschaft – z.B. aufgrund der Grundbedürfnisse und der sich ausdifferenzierenden gesellschaftlichen Naturverhältnisse der in ihr lebenden Menschen – vorhandenen Bedarf nach Wasser. Der gesellschaftlich ermittelte Bedarf wird dabei von den Versorgern meist nicht in Frage gestellt, sondern z.B. durch Erweiterung der Ressourcenbasis zu befriedigen gesucht. Wenn die Wasserversorgung diesen Bedarf nicht mehr befriedigen könnte, könnte sie zum limitierenden Faktor der gesellschaftlichen Entwicklung werden oder als solcher diskutiert werden. Solche Zustände sind aus Sicht der Betreiber möglichst zu vermeiden. In der gesellschaftlichen Dynamik könnte es andernfalls zu Krisenerscheinungen kommen, die mit den verfügbaren Mitteln nicht zu bewältigen sind. Um Zustände zu vermeiden, die die Selbstorganisation als Wasserversorgungssystem in Frage stellen und die eigene Macht schmälern, waren daher die Zentralakteure der Wasserversorgung (Betreiber und Organisatoren wie z.B. Ingenieure) industriezeitlicher Versorgungen daher bisher daran interessiert, der Bevölkerung und der Wirtschaft immer ausreichend mit Wasser versorgen zu können.
- Im Idealfall werden zwischen Natur und Wasserversorgungssystem starke Kopplungskonstellationen mit den aus ihnen resultierenden nicht-linearen Wechselwirkungen vermieden. Nach Möglichkeit wird die Extraktion des Wassers aus der Natur vielmehr so gestaltet, daß hierbei schwache Kopplungskonstellationen mit der Natur entstehen, die sich ingenieurtechnisch beherrschen lassen.<sup>12</sup> Die Orientierung des Managements an schwachen Kopplungen erlaubt einen dauerhaften Betrieb der Wasserversorgung mit den ingenieurwissenschaftlichen Möglichkeiten. Um die Versorgung auch in Zukunft unaufwendig betreiben zu können, ist es wünschenswert, ihr Management möglichst alleine mit natur- und technikwissenschaftlichen Mitteln (z.B. mit “Störungsrechnungen”) durchführen zu können. Folglich dürfen möglichst nur schwache und damit unaufwendig beherrschbare Kopplungen zwischen Natur und Wasserversorgung arrangiert werden<sup>13</sup> Andernfalls

---

<sup>12</sup> Nach dem Entwurfsideal des 19. Jahrhunderts ist die laufende Entnahme des Wassers und sein Transport durch eine Fernwasserleitung so gestaltet, daß hierbei keine Maschinen dauerhaft eingesetzt werden, die physikalische Arbeit leisten müssen (Fassung von Quellen und Gravitationsleitungen). Dieses Ideal ist aber selbst in wasserreichen Ländern wie Deutschland weitgehend aufgegeben worden, da der gesellschaftliche Bedarf die Zahl entsprechend ausbeutbarer Vorkommen wesentlich übersteigt.. So wird zunehmend auf Tiefengrundwasser zurückgegriffen, das z.T. mehrere hundert Meter hoch gepumpt werden muß.

<sup>13</sup> Wenn keine starke Kopplungen eintreten, lassen sich in den ingenieurwissenschaftlichen Modellen bei der Entnahme des Wassers nicht-lineare Effekte in der Natur vermeiden.

müssen sich ergebende starke Kopplungen so beschaffen sein, daß sie weder unmittelbar den reibungslosen Betrieb stören (weil sie z.B. nicht in der bewirtschafteten Grundwasserressource selbst relevant sind, sondern z.B. in der Vegetationsdecke an der Erdoberfläche) noch von Einflußgruppen (z.B. Naturschutzverbänden, Parteien) skandalisiert bzw. gesellschaftlich als "störend" wahrgenommen werden.<sup>14</sup>

Im Idealfall könnten es ingenieurtechnische Mitteln ermöglichen, bei der Regulation dieser Kopplungen sowohl das Versorgungssystem dauerhaft zu erhalten als auch die Versorgungsgrundlage der Gesellschaft zu erhalten (und vielleicht sogar weiterzuentwickeln) anstatt sie zu bedrohen.

### *Die industriezeitliche Wasserversorgung*

Bevölkerungswachstum, Verstädterung und neue Gebrauchsmuster haben in den industrialisierten Ländern Europas und Nordamerikas im 19. Jahrhundert dazu geführt, daß die bis dahin allgemein übliche Versorgung mit Wasser aus innergemeindlichen Brunnen und Quellen aufgegeben bzw. revidiert wurden. An ihre Stelle trat der Aufbau einer professionellen Siedlungswasserwirtschaft mit einheitlicher Wasserversorgung, in denen ein Wasser für alle Zwecke – in Trinkwasserqualität – aus der Umgebung herangeführt wurde. Diese Entwicklung hatte zur Folge, daß Siedlungen sich auch ohne ausreichendes innerörtliches Wasserdargebot entwickeln und wachsen konnten. Die zuvor bestehende starre Kopplung der Siedlungsentwicklung an das hydrogeologisch im Untergrund unter der jeweiligen Siedlung vorhandene Wasserdargebot konnte so aufgegeben werden. Wo gesellschaftlich erwünscht<sup>15</sup> konnte auch darauf verzichtet werden, direkt aus den Flüssen Wasser zur Trinkwasserversorgung zu entnehmen (vgl. Kluge/Schramm 1988).

Das von außerhalb herangeholte Leitungswasser wird in der Siedlung an die Haushalte, das Gewerbe sowie an öffentliche Einrichtungen (z.B. Schulen, Schwimmbäder, botanische Gärten, Kasernen) verteilt.<sup>16</sup> Inner-

---

Schwach mit dem Naturhaushalt gekoppelte Extraktionen erlauben es folglich ohne besonders aufwendige Prognostik (z.B. Grundwassermodelle, die nichtlineare Zustände abbilden), Wasser dauerhaft aus der Natur zu extrahieren.

- <sup>14</sup> Zunehmend zeigt sich allerdings, daß diese sekundäre Umweltprobleme gesellschaftlich nachbearbeitet werden müssen.
- <sup>15</sup> In Deutschland wird nur in Rostock die Bevölkerung mit aus der fließenden Welle eines Flusses entnommenem Wasser versorgt. Die Vorbehalte gegen direkte Nutzung von Flußwasser für Trinkwasserzwecke gelten insbesondere im angelsächsisch geprägten Raum nicht.
- <sup>16</sup> Große Industriebetriebe haben weiterhin eine Eigenversorgung über private Brunnen und Fassungen betrieben (Grund- und in erster Linie Flußwasser). Der Aufbau und Betrieb von überbetrieblichen Brauchwasserleitungen für betriebliche Zwecke ist dahingegen zu vernachlässigen.

halb der Häuser wird (anstelle der zunächst üblichen zentralen Zapfstellen) eine komplementäre privatbetriebene Verteilungsinfrastruktur zur Versorgung der verschiedenen Verbrauchsstätten (Küchen, Werkstätten, Toiletten, Bäder, Gärten, usw.) aufgebaut. Die so erreichte "Wasserbequemlichkeit" hatte historisch zur Folge, daß für viele Zwecke Wasser verwendet wurde, bei denen es zuvor nicht benötigt wurde (z.B. Toiletten, Vakuumierung in chemischen Labors, Antrieb von Haushaltsgeräten wie Kartoffelschälmaschine usw.).

Bedingt durch die entstehenden Gebrauchsmuster fielen und fallen große Abwassermengen an den vielfältigen Verbrauchsstätten an, die aus den Häusern herausgeleitet und auch dort – auch wegen der enthaltenen Fäkalien usw. – nicht einfach wieder in die städtischen Ökosysteme (z.B. über Grabensysteme, Rinnsteine usw.) eingeleitet werden konnten. Innerstädtische Kanalisationssysteme, zunächst zur Ableitung dieses verschmutzten Abwassers, entstanden in der Folge, um sekundäre starke Kopplungen zwischen Gesellschaft und Natur zu vermeiden.<sup>17</sup> Je nach spezifischen (sozio-kulturellen) Bedingungen wurden auch, in unterschiedlichem Ausmaß, sozial-ökologische Systeme zur technischen Abwasserbehandlung aufgebaut: Beispielsweise störte die aufgrund der Abwassereinleitung in die Flüsse ungenügend gewordene Rohwasserqualität in Westdeutschland spätestens seit den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts die industrielle Wasserversorgung so sehr, daß die Industrielobby beim Deutschen Bundestag vorstellig wurde, um eine rechtliche Regelung zu erreichen (vgl. Wey 1982). Als Resultat des Wasserhaushaltsgesetzes wurden in den Kommunen Abwasserbehandlungsanlagen gebaut bzw. mit weiteren Klärstufen nachgerüstet. Im Unterschied zu anderen Ländern (auch der EU) ist heute eine weitgehende Reinigung des anfallenden kommunalen und industriellen Abwassers erreicht bzw. erreichbar (vgl. Larsen & Gujer 1997).<sup>18</sup> Es kann daher hierzulande tendenziell eine starre Kopplung zwischen den sozio-technischen Systemen der Wasserversorgung und der Abwasserbeseitigung unterstellt werden, so daß die Wasserversorgung und die komplementäre Abwasserentsorgung auch gemeinsam betrachtet werden können.

Die industriezeitliche Wasserversorgung hat tendenziell auch zu einer Entkopplung von örtlicher Wasserversorgung und Grundwasserschutz geführt: Denn insbesondere die Konzentration der industriezeitlichen Was-

---

<sup>17</sup> Die globale Erfolgsgeschichte des industriezeitlichen Wasserversorgungssystem läßt sich daher nicht ohne diese Systeme zur Abwasserbeseitigung, die zur Ableitung und später auch der Reinigung von Schmutzwasser (bei den in Mitteleuropa vorrangigen Mischsystem wurde in die Kanalisation auch das auf den versiegelten Flächen anfallende Niederschlagswasser eingeleitet) erklären.

<sup>18</sup> Dagegen sind in vielen Ländern des Südens, was die Effekte der Abwassereinleitung in die Ökosysteme betrifft, noch eindeutig mittelstarke Kopplungen vorhanden.

serversorgung auf die außerörtlichen Wasserressourcen ermöglichte es der staatlichen und Kommunalpolitik statt ökologischere Regulationsregime durchzusetzen, innerörtlich den Grundwasser- und den Bodenschutz zu vernachlässigen und Industrie und Gewerbe sich innerhalb der Siedlungen ungehemmt ansiedeln zu lassen.<sup>19</sup>

### ***3.2 Indikatoren für die Kopplungskonstellationen industriezeitlicher Wasserversorungen mit Gesellschaft und Natur***

Anders als in der Mechanik (z.B. mechanische Verbindungen zwischen Federpendeln oder die Kupplung zwischen einem Automobil und seinem Anhänger) können in der sozial-ökologischen Forschung Kopplungen nicht leicht identifiziert werden, da es sich dabei um spezielle räumliche Konstellationen zwischen Entitäten, um deren Metabolismus oder Energieübertragung usw., handeln kann. In der Sondierungsstudie wurden daher versucht, die Kopplungen über schlüssige Indikatoren zu identifizieren. Für die verschiedenen Typen von Kopplungskonstellationen (schwache, starke, starre) wurden zunächst aufgrund theoretischer Annahmen über die Kopplungen zwischen der industriezeitlichen Wasserversorgung<sup>20</sup> und einerseits der Gesellschaft, andererseits der Natursphäre unterschiedliche Sets von Indikatoren zusammengestellt.

#### ***Schema 1: Indikatoren für starre und starke Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft***

	Starre Kopplung	Starke Kopplung
Abstimmung von Wasserangebot und Nachfrage	Lieferung von Wasser in Trinkwasserqualität im vordefinierten Lieferquantum; Anschluß- und Benutzungszwang	Intermittierende Versorgung; demand-side-management; freies Vertragsverhältnis zwischen Wasserversorgung und Kunden
Finanzielle Beziehungen	Gebührendeckungsprinzip: Anfallende Invest.- & Betriebspreise werden immer gezahlt	Marktpreise: Unternehmerisches Risiko
Politische Regulation	Wasserrecht nach Vorgaben der Wasserversorger; Staat regelt Allokation nach WVS-Vorgaben; keine Grundwasserabgabe	Wasserrecht auch gegen Wasserversorgungs-Maximen; Allokationsprobleme müssen ausgehandelt werden; Grundwasserabgabe
Öffentliche Perzeption	Wasserversorgung ist unauffällig; "es gibt keine Probleme"	"Probleme" führen zu Akzeptanzkrisen und zu Marketingkampagnen

<sup>19</sup> In der Folge führte das als Problem zweiter Ordnung zu Kontaminationen des Bodens und des Grundwassers unter Altstandorten und Industriedeponien ("Altlasten").

<sup>20</sup> Dabei wurde nur jene Ausformung von Siedlungswasserwirtschaft betrachtet, wie sie in Deutschland, Österreich und der Schweiz vorherrschend ist.



Mögliche Indikatoren für starre Kopplungskonstellationen lassen sich dabei (vgl. Schema 1) relativ einfach festlegen (z.B. Gebührendeckungsprinzip); hingegen ist es schwieriger, Indikatoren für starke Kopplungskonstellationen zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung zu finden.

Im Unterschied zu den Indikatoren für die typisierten Kopplungskonstellationen zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung lassen sich bei den Kopplungen zwischen Natur und für die industriezeitliche Wasserversorgung mit Hilfe der identifizierten Indikatoren die beiden Kopplungstypen in der Realität allerdings – mit Ausnahme der energetischen Indikatoren – weniger eindeutig unterscheiden (vgl. Schema 2).

*Schema 2: Indikatoren für schwache/starke Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Natur*

	Schwache Kopplung	Starke Kopplung
Wasserentnahme: Hydrogeosphäre	Eingriff in Bilanz vernachlässigbar; nur tatsächlicher Überfluß wird entzogen	Entnahme nahe der Neubildung; Entnahme von Tiefen Grundwasser nahe saliner Horizonte
Wasserentnahme: Ökosphäre, Landschaft	räumlich und zeitlich vernachlässigbare ökologische Effekte auf Landschaftsebene; zielgerichteter Abgang von Biotopen	erhebliche Ökologische Effekte auf Vegetation; unbeabsichtigte Veränderungen/ Abgang von typischen Biotopen
räumlicher Naturhaushalt	Funktion und Entwicklungsfähigkeit bleibt	Funktion oder Entwicklungshaushalt fraglich
Energiebedarf für Extraktion	sehr geringer Energiebedarf	hoher Energiebedarf; Notstromaggregat nötig
Stoff- und Energiebedarf für Aufbereitung	fast keine Aufbereitung (außer Filtration, Mn, Fe)	Wasserqualität erfordert weitgehende Aufbereitung
Energiebedarf für Transport und Verteilung	sehr geringer Energiebedarf (Gefälleleitung)	hoher Energiebedarf; Notstromaggregat nötig
Abwasserprobleme	gering	verlangen eigenes Entsorgungssystem

Dies hängt nicht nur damit zusammen, daß hier beide Pole nicht so einfach von einander unterschieden werden können, da sowohl schwache als auch starke Kopplungen erst aufgrund der resultierenden Wechselwirkungen in einer physikalisch orientierten Datenanalyse eindeutig voneinander zu trennen sind; welcher der beiden Typen von Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Natur vorhanden ist, läßt sich zunächst nur mit Hilfe empirischer Daten über aus der Systemkopplung resultierende Wechselwirkungen ablesen: Im Falle starker Kopplungen

müssen nämlich, wenn die physikalische Anschauung in diesen Bereich transferierbar ist, Nichtlinearitäten auftreten. Nichtlineare Phänomene aber lassen sich aber auf Grundlage einer (naturwissenschaftlichen und sozial-ökologischen) Empirie entweder nur ex-post bestimmen oder mit Hilfe von – bisher noch fehlenden – mathematischen Modellen prognostizieren. Der Übergang von der schwachen zur starken Kopplung wird im übrigen auch deshalb empirisch nicht genau faßbar sein, weil ökologische Gefüge auch eigene, von Seiten der ökologischen Forschung im Regelfall nicht genau bestimmte Temporalitäten (z.B. Zeitverzögerungen) aufweisen, so daß es auf jeden Fall erforderlich wird, hier Modelle zu entwickeln.

Zudem besteht bei der Klassifizierung starker Kopplungen zwischen Wasserversorgung und Natur eine weitere Problematik: In ökologischen Gefügen auftretende nichtlineare Phänomene sind nicht alleine und häufig auch nicht zuallererst auf eine Grundwasserentnahme oder andere Aktivitäten der Wasserversorger zurückführbar. Bekanntlich entstehen Nichtlinearitäten in synökologischen Einheiten auch z.B. durch statistische Klimaschwankungen oder andere natürliche Ereignisse, z.B. durch tierisches Umwühlen der Vegetationsdecke oder Sukzessionsdynamiken, die zum Wiederauftreten oder zum Wegbleiben von Gefäßpflanzen, Bodenalgen, Insekten usw. führen können.

Wenn nicht das Auftreten von Individuen einzelner Arten die Nichtlinearität anzeigt, sondern wenn zwischenartliche, einfach erkennbare Muster gebildet werden könnten, wären allerdings Strukturbrüche besser auf Ursachen im Wasserversorgungssystem zurückbeziehbar – z.B. das (periodische) Trockenfallen von Quellen im hydrogeologischen Einzugsbereich von Trinkwasserbrunnen.<sup>21</sup>

### ***3.3 Gegenwärtige Tendenzen einer Veränderung in den Kopplungskonstellationen und deren Regulation***

Wenn unterstellt wird, daß die Indikatoren für die Kopplungstypen richtig gewählt wurden, lassen sich die beiden obigen Schemata mit den Indikatoren auch noch anders auswerten: Dann kann gefragt werden, ob es derzeit nicht Übergänge von einem zum anderen Kopplungstyp gibt. In einer Tendenzbetrachtung wird deutlich, daß die Wasserversorgung zunehmend nicht mehr alleine idealtypische schwache Kopplungen aufweist, sondern sich Hinweise auf starke Kopplungskonstellationen häufen. Beispielsweise sind derzeit in den meisten Bundesländern Grundwasserabgaben einge-

---

<sup>21</sup> Diese Einflußbereiche und auch die Beeinflussungen sind bei Lockergesteins-Grundwasserleitern noch relativ einfach bestimmbar und modellierbar; erhebliche methodische Probleme treten aber bei Grundwasserleitern im Festgestein und im Kluftgestein auf.

führt worden (vgl. TU Darmstadt/ISOE 1999)<sup>22</sup>, aufgrund des Widerstandes, auch seitens der Wasserversorger, wird in Hessen die dortige Grundwasserabgabe, die anders als in den meisten anderen Bundesländern sehr deutlich eine Allokationswirkung hatte, derzeit wieder abgeschafft (Hessischer Landtag 2000).

*Zum tendenziellen Übergang von schwachen zu starken Kopplungen zwischen Natursphäre und Wasserversorgung*

Das den Quellen, Bächen, Flüssen und Seen entzogene Wasser fehlt in diesen Ökosystemen. Durch die vorgenommenen Eingriffe kommt es bei Talsperrenwirtschaft zu einer Verstetigung des Wasserflusses, bei einer Extraktion von Wasser aus den Grundwasserleitern und den Quellbereichen teilweise zu einem Unterschreiten einer ökologisch bzw. fischereibiologischen tolerablen Niedrigflußmenge.<sup>23</sup> Die Talsperrenwirtschaft beruht zudem auf einer vollständigen Umwandlung von Gebirgslandschaften, in dem Täler permanent und sehr hoch über die Talsohle überschwemmt werden.

Auch bei der Extraktion von Grundwasser kann es zu erheblichen ökologischen Auswirkungen kommen: Absterben von Wäldern, Austrocknen von Feuchtgebieten, Artenwandel. Dies belegen vielfältige praktische Erfahrungen in Wassergewinnungsgebieten wie der Lüneburger Heide, dem Vogelsberg, dem Hessischen Ried und dem Loisachtal. Eine weitere Folge sind aber auch (als Sekundäreffekt) Setzrisse an Häusern. Es ist auffällig, daß diese Effekte nicht in dem hydrogeologischen Teilsystem auftreten, mit dem die Brunnen und Pumpen der Wasserversorgung direkt gekoppelt sind, sondern als Umweltprobleme zweiter Ordnung in anderen natürlichen Teilsystemen (aquatische oder terrestrische Ökosysteme) auftreten. Erst durch diese indirekt, an der Landschaftsoberfläche feststellbare Auswirkung der Grundwasserentnahmen wird deutlich, daß es sich prinzipiell auch um eine starke Kopplung zwischen Hydrogeosphäre und Wasserversorgungssystem handeln könnte, obgleich die Wassermenge im Grundwasserleiter größere Entnahmen zu gestatten scheint.

Durch die Nutzung der terrestrischen und aquatischen Ökosysteme (z.B. durch die Landwirtschaft, Industrien oder das Abwasserbeseitigungssystem

---

<sup>22</sup> In den meisten Bundesländern ist die Ausgestaltung allerdings nicht so, daß hiermit tatsächlich Allokationswirkungen erzielt werden können.

<sup>23</sup> Die resultierenden Schäden fallen meist in besonders warmen und niederschlagsarmen Sommern besonders auf. Im Gegensatz dazu bestehen die meisten Biotope, die bezogen auf Wasser von den im 19. Jahrhundert für die Trinkwasserversorgung gefaßten Quellen abhängig sind, nicht mehr fort; in anderen Fällen haben sie sich stark verändert, da sie nur noch vom Überlauf gespeist werden.

mit jeweils spezifischen Emissionen) kann es auch zu teilweise erheblichen Qualitätsverlusten der genutzten Wasserressourcen kommen.<sup>24</sup> Unter Umständen lassen sich die Ressourcen nicht mehr oder nicht mehr im bisherigen Umfang nutzen, so daß es in einem relativ wasserreichen Land wie Deutschland örtlich und regional Wasser wieder knapp werden kann.

*Zur Gestaltung der Kopplung zwischen Wasserversorgung und Natur*

Die Kopplungen zwischen Wasserversorgung und Natur sind nur teilweise gesellschaftlich gestaltbar bzw. regulierbar. Klimatische Schwankungen und andere natürliche Zufallsereignisse bestimmen die aus den Kopplungen resultierenden Wechselwirkungen ganz wesentlich.

Grundregel der Hydrologie und der Wasserwirtschaft ist es, keineswegs mehr Wasser zu entnehmen als das Ressourcendargebot enthält. Daher werden entsprechende Wasserbilanzen aufgestellt, die allerdings auf die Hydrosphäre begrenzt bleiben (und häufig sogar Teile der Hydrosphäre ausgrenzen, indem sie sich aus pragmatischen Gründen entweder alleine auf das Grundwassersystem oder auf das Oberflächensystem beschränken). Mit Hilfe von Bilanzbetrachtungen alleine lassen sich allerdings die in anderen Teilsystemen der Natur entstehenden Probleme zweiter Ordnung, aus denen dann starke Kopplungen resultieren, nicht prognostizieren.

Wasser als Naturressource ist in vielen Ländern der Welt Gemeineigentum. Die staatliche Aufsicht teilt jede bewirtschaftete Ressource zwischen den verschiedenen Interessenten (z.B. öffentliche Wasserversorgung, Industriewasserversorgung) auf. Sie versucht teilweise auch zu verhindern, daß es durch die Wasserentnahme zu Konstellationen starker Kopplung kommt, bei denen für die Wasserversorgung mehr Wasser entnommen wird als der Naturhaushalt für die Aufrechterhaltung und Entwicklung seiner Funktionen benötigt.<sup>25</sup> Teilweise ist dazu eine Neuordnung des bewirtschafteten Wasserhaushalts notwendig, indem erteilte Entnahmebewilligungen wieder (in einem entschädigungsgleichen Eingriff) zurückgezogen oder freiwillig zurückgegeben werden.<sup>26</sup>

---

<sup>24</sup> Eine Zufuhr von landwirtschaftlichem Nitrat kann in bestimmten Grundwasserleitern auch dazu führen, daß bedingt z.B. durch mikrobiologische Vorgänge das Wasser härter wird und damit zu Folgekosten bei der Nutzung führt.

<sup>25</sup> Hierfür scheinen die in der früheren DDR verwendeten Verfahren zur eingehenden Prüfung der Ressourcen vor der Nutzung geeigneter als die derzeitige Praxis in den meisten Ländern der Bundesrepublik Deutschland. Ebenso könnten auch Umweltverträglichkeitsprüfungen oder die Orientierung an Referenzgrundwasserständen bzw. Niedrigfließmengen der Oberflächengewässer Bestandteile der Regulation sein (vgl. Kluge & Schramm 1990).

<sup>26</sup> Beispielsweise ist in Südhessen Mitte der neunziger Jahre durch landespolitische Maßnahmen (insbesondere Ausrufen eines Wassernotstandes in zwei aufeinanderfolgenden niederschlagsarmen Jahren) ein Klima geschaffen worden, das dazu führte, daß ein Teil der

In Gebieten mit hoher Wassernachfrage stehen die Wasserversorger vor der Entscheidung, entweder weitere Entnahmerechte zu beantragen, wodurch das Risiko einer starken Kopplung zunimmt oder aber auf andere Ressourcen auszuweichen. Hier ist die Fernwasserversorgung wegen der hohen Kapitalbindung für den Bau der Pipelines und evtl. hygienischen Problemen, die eine Nachchlorung des Leitungswassers erfordern, kaum die ultima ratio (s.u.). Daher kann es für die Wasserversorger auch notwendig werden, durch technische Maßnahmen das natürliche Wasserdargebot zu vermehren (z.B. künstliche Anreicherung des Grundwasserdargebots durch Infiltration von Flußwasser, water harvesting usw.). Um die Ausbildung starker Kopplungen zwischen dem Wasserversorgungssystem und der Natur, aus der Wasser entnommen wird, zu verhindern, könnten aber auch andere Regulationen der Wasserverteilung (z.B. wie in Paris die Prognose von Spitzenlasten mit Modellen vom Typ neuronaler Netzwerke) oder sogar Maßnahmen einer Bedarfsbeeinflussung eingesetzt werden (z.B. Wassersparmarketing in Frankfurt a.M, vgl. auch Ipsen et al 1998).

Punktförmige Emissionsquellen (z.B. Einleitungen aus Kläranlagen) lassen sich mit Hilfe des Umweltrechts relativ befriedigend regeln. Flächenförmige Emissionen, wie sie direkt aus der Landwirtschaft, aber auch indirekt über den Luftpfad in die Fließ- und Standgewässer und über den Boden ins Grundwasser vordringen können, können hingegen ordnungsrechtlich alleine nicht hinreichend erfaßt werden. Auch ökonomische Instrumente (z.B. Stickstoffabgabe) sind hier nur bedingt wirkungsvoll. Bezogen auf den Ursachenbereich Landwirtschaft sind in den letzten Jahren Erfahrungen, z.B. mit Kooperationen zwischen Wasserversorgung und verschiedenen Formen der Landwirtschaft, gesammelt worden; entsprechende Allianzen und Problemgemeinschaften müssen neben rechtliche Regulationen treten (vgl. Kluge, Schramm, Vack 1995). Im Rahmen des BMBF-Schwerpunkts "Flußgebietsmanagement" werden derzeit solche Regulationsansätze näher untersucht.

### *Zum tendenziellen Übergange von starrer zu starker Kopplung zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung*

In Deutschland wird etwa ein Drittel des natürlichen Wasserdargebotes für die Wasserversorgung von Bevölkerung, Gewerbe und Industrie verwendet. Es wird sowohl Grund- und Quellwasser als auch Oberflächenwasser (für die Trinkwasserversorgung: Talsperren, Uferfiltrat, angereichertes Grundwasser) eingesetzt (vgl. Kluge, Schramm, Vack 1995).

---

Betreiber von öffentlichen bzw. industriellen Wasserversorgungssystemen nicht (mehr) benötigte Wasserentnahmerechte freiwillig an den Staat zurückgegeben hat.

Bedingt nicht alleine durch die Zahl der Abnehmer (Bevölkerungsdynamik, Zuwanderung, Wirtschaftsentwicklung), sondern auch und – historisch zunehmend stärker – durch ein verändertes Verbrauchsverhalten (z.B. tägliches Duschen, häufiges Wäschewaschen) ist die Wassermenge, die die Siedlungswasserwirtschaft bereitstellt (bezogen auf Westdeutschland) bis in die 70er Jahre ungefähr proportional zur verbrauchten Elektrizitätsmenge gewachsen, hat dann etwa 20 Jahre auf einem hohem Niveau (ca. 144 l/Einwohner und Tag) stagniert und ist seit 1991 um etwa 10 % zurückgegangen.

Stagnation und Rückentwicklung haben wesentliche Ursachen im Einsatz von Energie- und Wasserspartechnologien in neueren Haushaltsgeräten und in der Einführung von Wasserspartechnologien in öffentlichen Einrichtungen und Gewerbebetrieben.<sup>27</sup> Relevant sind aber auch ein Bewußtseins- und Verhaltenswandel in der Bevölkerung sowohl als Ergebnis der Umweltdebatte (z.T. verstärkt durch politikinitiiertes Wassersparmarketing und umweltpädagogische Maßnahmen), als auch in Folge gestiegener Kosten sowie z.T. einer verbrauchsbezogenen Ermittlung des Wasserverbrauchs.<sup>28</sup>

Der Übergang von einer starren zur starken Kopplung zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung wird innergesellschaftlich durch wechselseitige, dynamische Abhängigkeiten unterschiedlicher gesellschaftlicher Teilsysteme befördert. Trotz möglicher relativer Autonomie sind diese Teilsysteme (wie Wirtschaft, Recht, Wissenschaft, Politik) über den Austausch von Leistungen in immer höherem Maße voneinander abhängig

---

<sup>27</sup> Auch die Wasserversorger haben zu diesem Verbrauchsrückgang durch die weitgehende Vermeidung von Leitungsverlusten infolge Einsatz von Meß- und Regeltechnik (z.B. Fernwirkssysteme) und Abdichtung der Leitungsnetze beigetragen; Motive waren hier die knapper werdenden Ressourcen, aber auch betriebswirtschaftliche Gründe und dann auch die Orientierung am "Stand der Technik".

<sup>28</sup> An dieser Aufzählung der unterschiedlichen Faktoren, die zu einem Rückgang des Wasserverbrauchs beigetragen haben, wird deutlich, daß hier verschiedene Variablen wie z.B. milieu- und geschlechtsspezifische Wertpräferenzen, daraus erwachsende Handlungsmotive, sozio-kulturell beeinflusste Routinen, finanzielle Restriktionen und die Verwendung von Wasserspartechnologien in Haushaltsgeräten zusammenspielen. Dieses Zusammenspiel erfolgt allerdings bereichsspezifisch. Wenn zum Beispiel in neuen Mietwohnungen standardmäßig Wasserspartechnologien eingesetzt werden, spielt die Milieuzugehörigkeit und das Umweltbewußtsein der neuen Bewohner zumindest für den durch die Toilettenspülung erzeugten Wasserverbrauch fast keine Rolle. Hier liegen also auf der Verhaltensseite wenig Freiheitsgrade vor. Im Bereich des Duschens und der Körperpflege oder des Wäschewaschens schlagen dagegen milieuspezifische Verhaltensmuster und soziokulturelle Routinen direkt auf den Wasserverbrauch durch. Beim jetzigen Forschungsstand kann der allgemeine Trend zum Wassersparen noch nicht als Gesamtverhalten auf einer emergenten Systemebene beschrieben werden. Denn dazu wäre die Identifikation weniger stets wirkender makroskopischer Observablen notwendig, mit denen wesentliche Charakteristika des gesamten Systemverhaltens bereichsübergreifend bestimmt werden könnten.

(Interdependenz) und insofern miteinander gekoppelt.<sup>29</sup> Durch diese Leistungsabhängigkeit der gesellschaftlichen Teilsysteme untereinander erhöhen sich auch die aufschaukelnden Resonanzeffekte zwischen ihnen, denn die einzelnen gesellschaftlichen Teilsysteme reagieren jeweils sensibler und stärker auf die Dynamiken, die sich in anderen gesellschaftlichen Teilsystemen abspielen. Beispielsweise entstanden als Reaktion auf den öffentlichen ökologischen Diskurs seitens der Politik (rechtlich) formulierte Normierungen im Umweltbereich (wie z.B. Abwasserabgabengesetz, Grundwasserabgaben); Industrieunternehmen reagierten, indem sie auf die rechtlichen Vorgaben und den ökologischen Diskurs einerseits mit Maßnahmen des produktionsintegrierten Umweltschutzes und einer rationalen Wasserversorgung reagierten, andererseits mit Öko-Innovationen wie energie- und wassersparenden Waschmaschinen. Deren Erwerb wurde dann beispielsweise in Hessen auf kommunalpolitischer Ebene im Rahmen des Rückflusses der Grundwasserabgabe finanziell bezuschußt; die kommunalen Bezuschussungsrichtlinien und ihre Grenzwerte führten wiederum bei den industriellen Entwicklern zu einer weiteren Steigerung des Wassersparpotentials bei den Haushaltsgeräten (vgl. Neumüller et al. 1999).

*Zur Gestaltung der Kopplung zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft*

Die Betreiber der Wasserversorgung orientieren sich an dem Bedarf, der ihnen (z.B. von kommunalen Planungsinstanzen) mitgeteilt wird. Im allgemeinen wird versucht, bereits vorausschauend weitere Ressourcen in Beschlag zu nehmen. Wasserwirtschaftsverwaltung und Raumplanung unterstützen die Betreiber im allgemeinen bei der Sicherstellung. Die Bevorratung von Wasser auch für die Befriedigung von Nachfragespitzen erlaubt es in weiten Teilen der EU, kontinuierlich Wasser an die Verbrauchsstellen zu verteilen und damit auf eine intermittierende Versorgung zu verzichten.

Nur sehr vereinzelt ist bisher in Deutschland eine Beeinflussung der Gesellschaft hin zu einer zielgerichteten Beeinflussung der Nachfrage (demand-side-management) von Leitungswasser durch Sparen bzw. Substituieren von Trinkwasser zu beobachten; diese Beeinflussung wird dann fast immer durch das jeweilige Wasserversorgungsunternehmen selbst betrie-

---

<sup>29</sup> Beispielsweise fließen von der Politik Gelder in die Wissenschaft mit der Erwartung, daß dieselbe über ihre Forschung zu technologischen Fortschritten beiträgt, mit denen über Technologietransfer wiederum neue Arbeitsplätze in der Wirtschaft geschaffen werden können.

ben – allerdings initiiert durch erheblichen Druck aus der Politik (z.B. Stadtwerke Hamburg, Saarbrücken, Frankfurt).<sup>30</sup>

Im Unterschied zur Nutzung des Wassers ist gesetzlich die Qualität des vom Versorger abzugebenden Wassers geregelt.<sup>31</sup> Die Analysen- und Aufbereitungstechnologie der Wasserwerke ist an diese Rechtsnorm grundsätzlich angepaßt; wo dies nicht der Fall war, ist die Trinkwasserverordnung (bzw. die zugrunde liegende EU-Richtlinie) auf Druck der Wasserversorger so novelliert worden, daß die Kompatibilität zwischen Wassertechnologie und Wasserrecht wieder gegeben war (z.B. Wegfall des Labor-Parameters Gesamtstickstoff nach dem Kjeldahl-Verfahren).

### ***Zwischenfazit***

Es kann daher als mehr oder wenige plausible Prognose ausgesprochen werden, daß die industriezeitliche Wasserversorgung tendenziell zu einem Übergang von der idealtypischen zur starken Kopplung zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft einerseits, Wasserversorgung und Natursphäre andererseits führen könnte. Natur und Gesellschaft werden sich dann allerdings bezogen auf die mit der Wasserversorgung verbundenen Problemlagen nicht mehr als tendenziell unabhängig von dem "Hybrid" (Latour 1994) Wasserversorgung bzw. voneinander betrachten lassen. Außerdem ist dann davon auszugehen, daß die veränderten Konstellationen zwischen Gesellschaft und Natur dazu führen werden, daß die Problemdynamik aufgrund von Nicht-Linearitäten "chaotischer" wird und Transformationen sehr schwer voraussagbar werden, weil sie nicht mehr alleine auf Gesellschaft oder auf Natur bezogen werden können.

### ***Zu Transformationen der Wasserversorgung und deren technisch-materiellen Bedingungen***

Die technische Infrastruktur des Wasserversorgungssystems ist sehr kostenintensiv; etwa 70 % der im Bereich der Wasserversorgung anfallenden Kosten gehen in die Gewinnungs- und die Aufbereitungstechnik sowie in die Verteilungsnetze.

---

<sup>30</sup> Ausnahme war Hessen, wo das Bundesland eine Wasseragentur gründete, die indirekt – über die zweckgebundene Verteilung von Mitteln aus der Hessischen Grundwasserabgabe – auf Kommunen, Siedlungswirtschaft und andere Interessierte einwirkte (vgl. TU Darmstadt/ISOE 1999). Daneben gibt es auch – allerdings nicht auf ein bestimmtes Entwicklungsziel des jeweiligen Wasserversorgungsunternehmens oder des Wasserversorgungssystems überhaupt gerichtete – Beeinflussungsversuche vor allem hin zu einem sparsameren Umgang mit Wasser – durch Umweltverbände, kommunale und staatliche Umweltadministration.

<sup>31</sup> Grenzwertüberschreitungen sind nur für eine Übergangszeit tolerierbar, führen aber u.U. zu erheblichen Imageverlusten des Leitungswassers (Substitution durch Flaschenwasser).



Leitungswasser ist keine homogene Flüssigkeit; die verschiedenen Wässer haben einen z.T. sehr unterschiedlichen Chemismus und können in den Leitungen miteinander reagieren (Mischwasserproblematik). Regionale Versorgungsleitungen lassen sich nicht unbegrenzt verlängern, da aufgrund langer Fließ- bzw. Standzeiten des Wassers hygienische Probleme (Verkeimungen) zu erwarten sind, so daß hier (imagerträchtige) Behandlungen mit Chlor oder Ozon anstehen. Ein Transport gegen die Schwerkraft (Pumpenergie) wird im allgemeinen vermieden. Daher ist der Aufbau eines zentralen überregionalen Versorgungsnetzes nicht zu erwarten.

Technische Innovationen setzen sich erfahrungsgemäß im Bereich der Wasserversorgung (verglichen insbesondere mit elektrischer Energie) nur sehr langsam durch. Bereits der Aufbau des Versorgungssystems in Deutschland hat mehr als 50 Jahre gedauert (vgl. auch Kluge/Schramm 1988).<sup>32</sup> Es ist daher damit zu rechnen, daß Transformationen, insbesondere solche, die das öffentliche Verteilungssystem betreffen, nur über sehr große Zeitabstände eintreten werden. In der komplementären Hausinfrastruktur ist hingegen – bisher in sehr beschränktem Umfang – eine Veränderung zu beobachten (Nutzung von Regenwasser, z.T. auch von Grauwasser).

Wenn davon ausgegangen werden kann, daß die industriezeitliche Form der Wasserversorgung zumindest auf der Ebene ihrer technischen Infrastruktur ein grosses Beharrungsvermögen hat und hier Transformationen nur sehr langsam stattfinden werden, könnte dies bei einer Zunahme nicht-linearer Effekte jedoch erhebliche Auswirkungen sowohl auf gesellschaftlicher als auch auf ökologischer Ebene haben. Diese Effekte könnten im Extremfall zu einer sozial-ökologischen Transformationsdynamik mit dann erheblichen Strukturbrüchen in der Wasserversorgung führen, die nicht mehr direkt auf Selbstorganisationsprozesse der Wasserversorgung zurückführbar sind.

---

<sup>32</sup> Der Aufbau der dadurch provozierten, ebenfalls extrem kapitalintensiven Abwasserbeseitigung dauerte etwa 100 Jahre. Erst über entstehende Probleme zweiter Ordnung werden zeitverzögert Kanalisation und Abwasserbehandlungsanlagen aufgebaut, die weltweit bisher in einem unterschiedlichen Grad, insbesondere was die chemische Fällstufe und die Hygienisierung des Abwassers, z.B. durch Mikrofiltration, angeht) realisiert sind. Zuvor kommt es zunächst bedingt durch die mit dem Schmutzwasser in die aquatischen Ökosysteme (bzw. in den Boden, bei Sinkgrubentechnologie) eingetragenen Stoffe und Mikrobewesen im Extremfall zu einem Umkippen von Gewässern und anderen nicht-linearen und z.T. unumkehrbaren Effekten.

### *Richtungen und Bifurkationen sozial-ökologischer Transformationen der Wasserversorgung*

Eine genauere Vorhersage dieser Dynamiken ist jedoch beim bisherigen Stand nicht möglich. Zudem könnten sozial-ökologische Transformationen der Wasserversorgung verschiedene Richtungen nehmen; es handelt sich hierbei nicht um (ausschließlich) linear modellierbare Prozesse, da Bifurkationen auftreten können. Mit Modellen aus der nicht-linearen Physik können diese Prozesse adäquater erfaßt werden (vgl. Becker, Scharnhorst, Schramm, in Vorbereitung).

Bifurkationen sind beispielsweise bei der Entwicklung der technischen Infrastrukturen prognostizierbar: Einerseits ist es denkbar, daß Veränderungen sich alleine auf der Ebene der Hausinfrastruktur ereignen (z.B. partielle Versorgung mit Regen- oder auch mit sog. Grauwasser), die die öffentliche Wasserinfrastruktur ergänzt; andererseits könnten auch komplementäre Veränderungen in der Siedlungswirtschaft selbst stattfinden (z.B. Aufbau von doppelten Leitungsnetzen). Tendenziell könnte es durch die infrastrukturellen Veränderungen zu einem vollständigen Strukturbruch des industriezeitlichen Wasserversorgungssystems und Abwasserentsorgungssystems kommen, so daß dieses auch für die zukunftsfähige Versorgung der Mega-Cities des Südens geeignet wäre (vgl. Niemczynowicz 1996, Töpfer 1999).

Des weiteren sind für Regionen mit einer (natürlichen oder anthropogen, u.U. auch durch Qualitätsprobleme oder/und die Bevölkerungsentwicklung, entstandenen) Wasserknappheit unterschiedliche Auswege denkbar, wenn bewußt starke Kopplungen zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung arrangiert werden. Auch hier sind Bifurkationen in der Entwicklungsrichtung denkbar: Einerseits könnte die Zielstellung sein, eine zivilgesellschaftliche Wasserkultur zu entwickeln, in die eine rationelle Wassernutzung eingebunden wäre; andererseits könnte expertokratisch orientiert z.B. auf psychologisch geschickt wirkenden Wasserspar-Marketingkampagnen, einer Grundwasserbewirtschaftung nach Wasserstand im Grundwasserleiter (oder nach Niedrigfließwassermenge in einem Referenz-Gewässer), einem Spitzenlast-Management in der Wasserverteilung mit Hilfe von Modellrechnungen (z.B. Agentenmodelle oder neuronale Netze) und durch Strukturbrüche im (dann wasserfreien) urbanen Fäkalienmanagement das Versorgungssystem umgebaut werden (vgl. hierzu auch Schramm 1998, 2000).

#### **3.4 Bewertung des analytischen Schemas**

Im weiteren Verlauf der Sondierungsstudie wurde überprüft, ob sich mit Hilfe des entwickelten analytischen Schemas interessante Einsichten, insbesondere zu sozial-ökologischen Transformationen, gewinnen lassen.

Hierzu haben die Bearbeiter zunächst selbst die Ergebnisse ihrer Reformulierung bewertet; anschließend wurden Meinungen der Fachwelt eingeholt.

### *Eigene Bewertung*

Bereits die direkte Anwendung des zu überprüfenden analytischen Schemas erbrachte neue Erkenntnisse. Die Betrachtung der Wasserversorgung als ein eigenes sozial-ökologisches Versorgungssystem, das in spezifischen Konstellationen sowohl zur Gesellschaft als auch zur Natur aufgebaut worden ist und einen selbstorganisierenden Charakter hat, erlaubt es, Kopplungen mit Hilfe von Indikatoren zu identifizieren und zu klassifizieren.

Als wesentlicher Ausgangspunkt für neue Erkenntnisse erwies sich die Hypothese, daß die Konstellationen zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft idealiter starre Kopplungen darstellen sollten, während die Konstellationen zwischen Wasserversorgung und Natur möglichst nur lose Kopplungen sein sollten, damit sie mit ingenieurwissenschaftlichen Instrumenten und ohne Infragestellung der Definitions- und Gestaltungsmacht der Wasserversorger beherrschbar bleiben. Daraus folgt als (bisher implizites) Selbstverständnis- und Konstruktionsprinzip für das Management des Wasserversorgungssystems: Starke Kopplungen des Wasserversorgungssystems sind sowohl mit der Natur als auch mit der Gesellschaft möglichst zu vermeiden.

Allerdings handelt es sich bei der Verfolgung dieses Prinzips jedoch um eine – bezogen auf Kopplungskonstellationen – implizite Strategie. Empirisch läßt sich aber beobachten, daß seitens der Wasserversorger tendenziell immer wieder versucht wird, zu linearisieren: Beispielsweise werden, wenn sich (Spitzen-)Verbräuche nicht genau abschätzen lassen, zusätzliche Sicherheiten (durch Bau von Speichern, Sticheleitungen oder durch Vorhalten weiterer, z.B. dezentraler Ressourcen) aufgebaut. Wenn das naturräumliche Wasserdargebot kleiner wird als die potentielle gesellschaftliche Nachfrage nach Wasser, werden neue Ressourcen erschlossen bzw. technisch geschaffen (z.B. künstliche Grundwasseranreicherung mit flußbürtigem Wasser).<sup>33</sup> Das ingenieurwissenschaftliche Bemühen um eine (Wieder-)Herstellung von linearen Zusammenhängen bestätigt indirekt, daß strukturell die Kopplungskonstellationen eine relevante Rolle bei der Entwicklung der Wasserversorgung und in sozial-ökologischen Transformationsprozessen spielen.

---

<sup>33</sup> Bezogen auf die–in Deutschland derzeit vorherrschenden – Wasserqualitätsprobleme (z.B. Verschlechterung der Wassergüte durch Umweltverschmutzung) werden zunächst nur die finanziellen, politischen und perzeptiven Dimensionen angesprochen werden; erst wenn die Qualitätsprobleme dazu führen, daß eine Ressource aufgegeben werden muß, ist auch die Mengen-Problematik relevant.

Weitere wesentliche Einsichten aus der Sondierungsstudie seien hier erwähnt:

- Professionelle Vorbehalte der Wasserversorger gegen politisch vorgeschlagene Veränderungen (z.B. Wassersparen) können als Versuche erklärt werden, Linearisierungen abzusichern.
- Veränderungen in den Kopplungsmodi der Wasserversorgung mit der Natursphäre können Veränderungen der Kopplungen mit der Gesellschaft zur Folge haben (und umgekehrt).
- Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Teilen der Natursphäre (z.B. Hydrogeosphäre und Ökosphäre) führen zu sekundären Umweltproblemen (z. B. Aufschaukelungen mit nicht-intendierten Folgen).
- Abhängigkeiten innerhalb der Gesellschaft können ebenso zu Aufschaukelungen mit nicht-intendierten Folgen führen (die verschiedenen Indikatoren für Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft sind nicht unabhängig).

Auf diesen Ergebnissen kann auch eine weitergehende sozial-ökologische, nicht mehr unbedingt systemtheoretisch orientierte Analyse der Wasserversorgung aufbauen. Die Orientierung am analytischen Schema alleine wird es nicht erlauben, Hierarchien, Machtverhältnisse und innergesellschaftlich divergierende Ansprüche an die Wasserversorgung und Interessenslagen in den Blick zu bekommen. Diese müssen dort, wo sie berücksichtigt werden müssen, auf jeden Fall noch an die mit Hilfe des analytischen Rahmens gewonnene Beschreibung angefügt werden. Eine Addition dieser Aspekte in die Analyse wird allerdings durch das verwendete Schema nicht behindert.

Zunehmend sind nicht-lineare Effekte zu berücksichtigen, die sich nicht mit traditionellen ingenieurwissenschaftlichen Mitteln alleine bearbeiten lassen: Beispielsweise kann die weitere Entwicklung des Trinkwasser-Verbrauchs pro Kopf nicht mehr einfach aus den bis in die siebziger Jahre stetigen, wachsenden Verbräuchen der Vergangenheit abgeleitet werden. Leistungssysteme und Netze werden in der Folge z.T. unterhalb ihrer Auslegungsgrenze gefahren.<sup>34</sup> Es kommt derzeit aufgrund der hohen Fixkosten-Anteile zu Gebührenanstiegen.

Die Sondierungsstudie erbrachte auch prognostische Erkenntnisse: Wie bereits erwähnt, könnte es in Zukunft verstärkt zur Ausbildung starker Kopplungskonstellationen zwischen Gesellschaft und Wasserversorgung bzw. zwischen Natur und Wasserversorgung kommen. Auch wenn eine prognostische Analyse erst im Rahmen einer Modellierung möglich sein

---

<sup>34</sup> Um nun aufgrund langer Standzeiten in den Leitungen Verkeimungen zu verhindern, wird z.T. eine Sicherheitschlorung bzw. -ozonierung durchgeführt.

wird, weisen bereits die gewählten Indikatoren auf die Ausbildung starker Kopplungskonstellationen zwischen Wasserversorgung und Gesellschaft und in manchen Wassergewinnungsgebieten (z.B. Vogelsberg, Lüneburger Heide, Hessisches Ried) auch zwischen Wasserversorgung und Natur hin. Folglich könnte jedoch die Verhaltensweise der Wasserversorger, starke Kopplungen zu vermeiden, zukünftig paradox und gegenintentional werden, da jeder Versuch, wieder Linearitäten herzustellen (bei denen die Kopplungen nicht systematisch berücksichtigt werden), zu neuen Nichtlinearitäten führen kann. Dies läßt mittel- bis langfristig auf weitgehende Transformationen aufgrund der sich ergebenden Wechselwirkungen und Problemdynamiken schließen.

Es spricht vieles dafür, daß eine post-industriezeitliche Wasserversorgung jenseits der ingenieurwissenschaftlich idealen Kopplungskonstellationen betrieben werden muß. Bezogen auf die mit der Wasserversorgung verbunden Problemlagen werden sich Natur und Gesellschaft allerdings nicht mehr als tendenziell unabhängig voneinander betrachten lassen. Im weiteren ist dann davon auszugehen, daß die starken Kopplungskonstellationen mit Gesellschaft und Natur dazu führen werden, daß die Problemdynamik aufgrund von Nicht-Linearitäten "chaotischer" wird und Transformationen sehr schwer voraussagbar werden, weil sie nicht mehr alleine auf Gesellschaft oder alleine auf Natur bezogen werden können.

### *Externe Bewertung*

Die oben niedergelegten Ergebnisse wurden auf dem Workshop am 29.1.2001 einem Kreis von naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Experten für die Wasserproblematik vorgestellt.<sup>35</sup> Als ein wesentliches Ergebnis dieses Workshops kann festgehalten werden, daß die erarbeitete Sicht bestätigt wurde: Die Reformulierung von sozial-ökologischen Problemen im Zusammenhang mit der Wasserversorgung, die mit Hilfe des modellstrukturell abgeleiteten analytischen Schemas vorgenommen und vorgestellt wurde, ist innovativ. Mit Hilfe des analytischen Schemas stark gekoppelter Systeme lassen sich tatsächliche neue Erkenntnisse gewinnen. Die Reformulierung produziert keineswegs Trivialitäten; auch werden die vorgenommenen Beschreibungen nicht überkomplex. Auf dem Workshop wurde grundsätzlich bestätigt, daß sich

- bekannte sozial-ökologische Probleme um die Wasserversorgung ohne Verbiegungen abbilden lassen,

---

<sup>35</sup> Es handelt e sich um die folgenden Fachleute: Prof. Dr. Rüdiger Wittig, Botanisches Institut, J. W. GoetheUniversität, Frankfurt a.M., Yvonne Haffner, Institut für Soziologie, TU Darmstadt, Hans-Jürgen Leist, Forschungsstelle für Recht, Ökonomie und Umwelt, Universität Hannover, Dr. Helmut Lehn, Akademie für Technikfolgenabschätzung, Stuttgart.

- die resultierende Beschreibung realitätsnah bleibt und
- die Analyse zu neuen Ergebnissen führt.

Es wurde angeregt, darauf zu achten, daß möglichst auch jene Qualitätsprobleme, die für die derzeitige Versorgung nicht relevant sind, die aber für eine zukünftige Versorgung aus weiteren Vorkommen äußerst relevant werden können (z.B. Verschmutzung von derzeit nicht genutzten Gewässern), modellistisch gefaßt werden können. Die Abwasserproblematik sollte im Modell auf jeden Fall mitbetrachtet werden.

Der neue Modellierungsansatz, das analytische Schema und die mit seiner Hilfe gewonnenen Ergebnisse wurde im Anschluß auch bei weiteren Expertengruppen sondierend vorgestellt. Bei der Diskussion einer Präsentation im Rahmen des Arbeitskreises Nachhaltige Entwicklung der Akademie für Technikfolgen-Abschätzung (Stuttgart, 1.2.01) wurde besonders darauf hingewiesen, daß das Schema einen gleichrangigen Zugang zu symbolischen und zu materiellen Prozessen erlaube; mit seiner Hilfe könnten Hybride im Sinne Latours (1994) der wissenschaftlichen Analyse zugänglich gemacht werden.

Die Diskussion beim Arbeitskreis Theorie der Gesellschaft für Ökologie (23.2.01, Freising) im Anschluß an eine weitere Präsentation verdeutlichte, daß es (erst) die Kombination des analytischen Schemas mit darüber hinausgehenden Analysen ermöglicht, in die Dynamik sozial-ökologischer Transformationen auch Interessenslagen und die Dimension der Macht adäquat einzubeziehen. Andererseits wurde noch einmal verdeutlicht, daß sich aus Ergebnissen der Naturwissenschaften alleine wenig indikative Hinweise auf starke Kopplungen zwischen Natur und Versorgungssystem entnehmen lassen, da diese ja nicht alleine eine physische Seite, sondern immer auch einen vermutlich ebenso wesentlichen gesellschaftlichen Anteil haben. Das Grundschema war im übrigen für Naturwissenschaftler wesentlich vertrauter als andere sozial-ökologische Ansätze<sup>36</sup> (angesprochen haben sie vergleichend das Konzept "Metabolismus und Kolonisierung der Natur" der Wiener Gruppe um M. Fischer-Kowalksi, vgl. etwa Hüttler & Payer 1997).

---

<sup>36</sup> Die Reformulierung ist allerdings nur beschränkt alltags- und medientauglich, da zu ihrem Verständnis physikalische Kenntnisse eine grundlegende Voraussetzung sind; die mit Hilfe des analytischen Schemas vorgenommenen Analysen werden daher vermutlich auf politischer Ebene unmittelbar wenig erfolgreich sein bzw. erst dann, wenn z.B. das Bild gekoppelter Systeme nach einer didaktischen Aufbereitung gut in den Medien visualisierbar ist.

#### 4. Ausblick: Weitere Resultate der Sondierung

Die modellereinterte Analyse von Kopplungen zwischen Gesellschaft, Wasserversorgungssystem und Natur ist tatsächlich weiterführend. Sie erlaubt eine transdisziplinäre Beschreibung, die wegführt von der bisher üblichen problemorientierten Phänomenologie; die Interdependenzen von Gesellschaft und Natur können so neu thematisiert und einer transdisziplinären Analyse zugänglich gemacht werden. In dieser weiterführenden Analyse können die strukturellen Triebkräfte, ihre Variablen und auch die Besonderheiten der Wasserversorgung gut in den Blick kommen.

Mit Hilfe des analytischen Schemas lassen sich auch die Strategien der Versorger untersuchen, mit denen sie bestimmte Kopplungskonstellationen zwischen Natur und Gesellschaft arrangieren. An diesen Kopplungskonstellationen orientieren bisher aber die Wasserversorger ihr Handeln nur implizit. Sie könnten jedoch auch zu einem expliziten Orientierungswissen der Wasserversorger gemacht werden, wenn sie in weitergehenden Studien genauer untersucht würden. Auf diese Weise können die Kopplungskonstellationen genauer als bisher beschrieben und analysiert werden; die Wirkungen der Kopplungen und die Übergänge zwischen verschiedenen Kopplungstypen werden einer weitergehenden Analyse<sup>37</sup> überhaupt erst zugänglich.<sup>38</sup>

Auf diesem Weg wird es auch möglich sein, die potentiellen Variablen der Transformationsprozesse zu identifizieren und so analytische und mathematische Modelle aufzubauen, mit denen sich ein umfassenderes Verständnis dieser Transformationen erzielen läßt. Beispielsweise wird es dann möglich, die nicht-lineare Dynamik und daraus entstehende Randbedingungen von Bifurkationen genauer zu modellieren. So können dann genauere Aussagen über die Entwicklungslogik im Transformationsprozeß gemacht werden können, und es läßt sich auch eine gewisse Planungssicherheit gewinnen (vgl. Becker, Scharnhorst, Schramm, in Vorbereitung).<sup>39</sup>

Ein Expertenworkshop am 8.3.01, der im Rahmen der Sondierungsstudie mit Modellierungsfachleuten aus unterschiedlichen Disziplinen<sup>40</sup> durchge-

---

<sup>37</sup> In diese Analyse läßt sich eine wissenschaftskritische Sichtweise ebenso wie eine gesellschaftskritische Perspektive eintragen.

<sup>38</sup> Auch werden mögliche Kopplungen zu anderen Versorgungssystemen (insbesondere Energieversorgung) und auch zu "Entsorgungs"-Systemen (Abwasser) identifiziert.

<sup>39</sup> Nicht möglich ist es dabei jedoch, die Zeitpunkte solcher Bifurkationen zu bestimmen.

<sup>40</sup> Dies waren Dr. Broder Breckling (Universität Bremen – UFT Ökologie), Dr. Klaus Kasper (ATIP GmbH Frankfurt), Dr. Jan C. Schmidt (Zentrum für Interdisz. Technikforschung TU

führt wurde, hat bestätigt, daß es prinzipiell möglich ist, derartige Fragestellungen zu modellieren. Dort hat sich auch gezeigt, daß auch in Deutschland entsprechende Modellierungspotentiale vorhanden sind. Für die Modellierung starker Kopplungen und sozial-ökologischer Transformationen stehen bereits eine Vielzahl von Modellierungstechniken zur Verfügung – z.B. nicht-lineare Dynamik, gerichtete Algorithmen, agentenbasierte Modelle, neuronale Netze, zelluläre Automaten, fuzzy logic und zahlreiche stochastische Verfahren.<sup>41</sup> Entscheidend wird es von der konkreten Fragestellung der Untersuchung abhängen, welche Technik der Modellierung hier zum Einsatz kommen sollte. Allerdings muß in derartige Modellierungen neben überdisziplinärem analytischem Wissen auch das Erfahrungswissen von Praktikern (z.B. Betreiber, beratende Ingenieure, VerbraucherInnen) einfließen, damit Prognosen zu erwarten sind, die zu praxisnahen Ergebnissen mit Problemlösungspotential führen.

Am Beispiel von Versorgungssystemen könnten mit derartigen avancierten Verfahren die Kopplungskonstellationen zwischen Natur und Gesellschaft modelliert werden, um ein besseres Verständnis sozial-ökologischer Transformationen zu erreichen und die Versorgung "robuster" zu gestalten. Bis zur tatsächlichen Entwicklung und praktischen Erprobung entsprechender Modelle bleibt die Erforschung solcher Transformationen, in denen sich Natur und Gesellschaft in ihren Dynamiken nicht mehr voneinander trennen lassen, eine große theoretisch-konzeptionelle und methodische Herausforderung für die zu beteiligenden Wissenschaften.

## 5. Literatur

- Adam, Brigitte (1996): Wasserversorgung in verdichteten Räumen – Konfliktpotentiale und Konfliktlösungen aus raumplanerischer Sicht. In: W. Fischer u.a. (Hg.): Wasser: Nachhaltige Entwicklung und Verwendung eines lebenswichtigen Rohstoffs. Jülich (Konferenzen des Forschungszentrums Jülich) 16, 209-228
- Baccini, P., u.a. (1993): Metapolis. Güterumsatz und Stoffwechselprozesse in den Privathaushalten einer Stadt. EAWAG-News 35, 3-7
- Baccini, P., F. Oswald (1999): Netzstadt. Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme. Zürich: Hochschulverlag.
- Becker, E./ Schmincke, B. (1996): Soziologische Energie. Anmerkungen zu einem übersehenen Theoriefragment bei Talcott Parsons. In: Bren-

---

Darmstadt), Prof. Dr. Klaus Troitzsch und Michael Möhring (Institut für sozialwissenschaftliche Informatik, Universität Koblenz-Landau)

<sup>41</sup> Vgl. z.B. Castillo/Metin (2001). Diese Methoden spielen trotz ihres interessanten Potentials – anders als z.B. Ansätze einer System Dynamics – in der Umweltforschung bisher eine vernachlässigbare Rolle.



- tel, H. et al.(Hrsg.), *Gegensätze. Elemente kritischer Theorie*. Frankfurt; New York (Campus), 145-161.
- Becker, E./Th. Jahn (editors) (1999): *Sustainability and the Social Sciences. A Cross-Disciplinary Approach to Integrating Environmental Considerations into Theoretical Reorientation*. London, New York : Zed Books.
- Becker, E./Jahn, Th./ Schramm, E. (1999): *Sozial-ökologische Forschung – Rahmenkonzept für einen neuen Förderschwerpunkt*. Frankfurt a.M. (Institut für sozial-ökologische Forschung).
- Becker, E./Th. Jahn (2000): *Sozial-ökologische Transformationen. Theoretische und methodische Probleme transdisziplinärer Nachhaltigkeitsforschung*. In: Brand, K.-W. (Hg.), *Nachhaltigkeit und Transdisziplinarität*. Berlin: Analytica, 68-84.
- Becker, E./Andrea Scharnhorst & E. Schramm (in Vorbereitung): *Modellierung in der sozial-ökologischen Forschung*.
- Bertalanffy, L. von (1971): *General System Theory: Foundations, development, applications*. London: Penguin.
- Bossel, H. (1994): *Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Ein Lehr- und Arbeitsbuch mit Simulations-Software*. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg.
- Byrne, David (1998): *Complexity Theory and the Social Science. An introduction*. London; New York: Routledge.
- Cabrera, E./V. Espert/P.A. Lopez (1999): *Water supply systems in drought periods, the case of Spain*. In: Cabrera, E./J. Garcia-Serra (editors) (1999): *Drought Management Planning in Water Distribution Systems*. Dordrecht, 1 – 21.
- Castillo, O./P. Mehin (2001): *Soft Computing for Control of Non-Linear Dynamical Systems*. Heidelberg, New York: Physica.
- Dieter, H.H./E. Schramm/Ingrid Chorus (1998): *Trinkwasserversorgung*. In: Korff, W./L. Beck/P. Mikat (Hrsg.), *Lexikon der Bioethik. Band 3 Pe-Z*. Im Auftrag der Görres-Gesellschaft. Gütersloh: Gütersloher Verlagshaus, 608-615.
- Düsberg, K. J. (1995): *Deterministisches Chaos: Einige wissenschaftstheoretisch interessante Aspekte*. In: *Zeitschr. für allgemeine Wissenschaftstheorie*, Bd. 26. Nr. 1. , 11-24
- Ebeling W., et al (1993): *Anwendungsmöglichkeiten von Prinzipien der Selbstorganisation*. Berlin (Sonderforschungsbereich 230).
- Ebeling, W./ Andrea Scharnhorst (2000): *Evolutionary Models of Innovation Dynamics*. In: D. Helbing et al. (Hg.): *Traffic and Granular Flow '99 – Social, Traffic, and Granular Dynamics*. Berlin: Springer, S. 43-56.
- Ehlers, E./Th. Krafft (2001): *Understanding the Earth System. Compartments, Processes and Interactions*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer.
- Epstein, J. M.; Axtell, R. (1996): *Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Cambridge, Mass.: MIT Press)

- Fischer-Kowalski, Marina/H. Weisz (1999): Society as hybrid between material and symbolic realms. Towards a theoretical framework of society-nature interaction. In: *Advances in Human Ecology* 8: 215-251.
- Gründer, et al. (Hg.) (1984): *Historisches Wörterbuch der Philosophie*. Darmstadt.
- Guy, S. /S. Marvin/T. Moss (Hg.) (2001): *Infrastructure in Transition. Networks, Buildings, Plans*. London, Sterling: Earthscan Publications.
- Hessischer Landtag (2000): *Stenographischer Bericht*. 21. Sitzung des Ausschusses für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. 17. November 2000. Wiesbaden
- Hüttler, W./H. Payer (1997): *Der Wasser-Stoffwechsel*. In: M. Fischer-Kowalski et al. (Hg.): *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie*. Amsterdam.
- Ipsen, D./G. Cichorowski/E. Schramm (Hg.) (1998): *Wasserkultur. Beiträge zu einer nachhaltigen Stadtentwicklung*. Stadtökologie Band 2. Berlin: Analytica.
- Jørgensen, S.E. (2000): *Thermodynamik offener Systeme*. In: Fränzle, O.; Müller, F.; Schröder, W. (Hrsg.), *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. Landsberg am Lech: ecomed.
- Kara, S., F. Alleweldt (1995): *Trinkwasserversorgung und Stadterweiterung: Der Fall Istanbul*. *gwf. Wasser/Abwasser* 136, S. 346-354.
- Kauffman, St. (1996): *Der Öltropfen im Wasser. Chaos, Komplexität, Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft*. München, Zürich: Piper.
- Knapp, H. G. (1978): *Logik der Prognose. Semantische Grundlegung technologischer und sozialwissenschaftlicher Vorhersagen*. *Alber-Broschur Philosophie*. Freiburg; München: Alber.
- Kluge, Th. (2000): *Wasser und Gesellschaft. Von der hydraulischen Maschinerie zur nachhaltigen Entwicklung. Ein Fallbeispiel*. Opladen.
- Kluge, Th./E. Schramm (1988): *Wassernöte. Zur Geschichte des Trinkwassers*. Köln: Volksblatt.
- Kluge, Th./E. Schramm (1990): *Konzepte zur Sicherung der Trinkwasserversorgung im Großraum Dresden. Bewertung der gegenwärtigen Diskussion und Skizze möglicher Auswege*. *Sozial-ökologisches Arbeitspapier* 38
- Kluge, Th., E. Schramm, A. Vack (1995): *Wasserwende. Wie die Wasserkrise in Deutschland bewältigt werden kann*. München: Piper 1995.
- Kötter, R. (2000): *Der Modellbegriff und seine Bedeutungen*. Materialien der GWTF-Jahrestagung 2000. Erlangen (Interdisziplinäres Institut für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsgeschichte)
- Larsen, T. A. & W. Gujer, (1997): *The Concept of Sustainable Urban Water Management*. *Water Science & Technology* 35 (9), 3-10
- Latour, B. (1995): *Wir sind nie modern gewesen. Versuch einer symmetrischen Anthropologie*. Berlin: Akademie.

- Neumüller, J./H. Schweitzer/E. Schramm (1999): Rationelle Wasserverwendung in privaten Haushalten. Wirksamkeit geförderter Maßnahmen aus der Hessischen Grundwasserabgabe. DELIWA Energie, Wasser, Praxis, 6/1999, 245-247, 7-8/1999, 300-302.
- Nigel, G.; Troitzsch, K.G. (1999): Simulation for the Social Scientist. Buckingham, Philadelphia: Open University Press.
- Niemczynowicz, J. (1996): Megacities in Water Perspective. Water International 21 (4), 198-205.
- Peak, D.; Frame, M. (1994): Chaos Under Control. New York: W.H. Freeman
- Schmidt, J. C. (2000): Die physikalische Grenze. Eine modelltheoretische Studie zur Chaostheorie und Nichtlinearen Dynamik. Philosophie im Kontext. Interdisziplinäre Studien, Bd.7 . St. Augustin (Gardez! Verlag)
- Schramm, E. (1998): Potentielle Handlungsoptionen für eine wasserwirtschaftliche Transformation. In: Ipsen, Cichorowski, Schramm (1998), 128-138.
- Schramm, E. (2000): Am Bild des Kreislaufs. Perspektiven für den städtischen Umgang mit Wasser. In: Kunst und Ausstellungshalle der Bundesrepublik Deutschland (Hg.), Wasser. Schriftenreihe FORUM Band 9. Köln, 344-353.
- Sieferle, Rolf (1997): Kulturelle Evolution des Gesellschaft-Natur-Verhältnisses. In: Marina Fischer-Kowalski u.a. (Hg.), Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonialisierung der Natur. Amsterdam. Gordon & Breach Verlag Fakultas, S. 37-56.
- Simon, K.H. (2001): Gesellschaft-Umwelt-Interaktion im Modell. Sozial-ökologische Konzepte und Operationalisierungen. (unv. Manuskript).
- Spier, F. (1998): Big History. Was die Geschichte im Innersten zusammenhält. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft.
- Töpfer, K. (1998): Für einen Marshallplan der Wasservorsorge in der Welt. Korrespondenz Abwasser 12/1998
- TU Darmstadt / Institut für sozial-ökologische Forschung (1999): Effizienter Einsatz von Mitteln aus der Hessischen Grundwasserabgabe. Evaluation und Weiterentwicklung der Förderrichtlinien. Gutachten im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit. Darmstadt, Frankfurt am Main
- Wey, K.G. (1982): Umweltpolitik in Deutschland. Kurze Geschichte des Umweltschutzes in Deutschland seit 1900. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, Hg.) (1993): Welt im Wandel: Grundstruktur globaler Mensch-Umwelt-Beziehungen. Jahresgutachten 1993. Bremerhaven 1993.
- Wittfogel, K.A. (1977). Die Orientalische Despotie. Eine vergleichende Untersuchung totaler Macht. Frankfurt, Berlin, Wien: Ullstein.