



Reader zum
16. Interdisziplinären Gespräch

**Das Konzept Resilienz
als emergente Eigenschaft
in offenen Systemen**

Eine Veranstaltung des Instituts für Informatik
mit Unterstützung durch das
Institut für angewandte Informatik (InfAI) Leipzig,
LIFIS – Leibniz-Institut für Interdisziplinäre Studien Berlin,
MINT-Netzwerk Leipzig
sowie die Research Academy Leipzig.

Leipzig, 7. Februar 2020

<http://mint-leipzig.de/2020-02-07.html>

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 1.1 | Zum Anliegen des Gesprächs | 3 |
| 1.2 | Zum Inhalt dieses Readers | 4 |
| 1.3 | Ziel und Methodik des Seminars | 4 |
| 2 | Zum Systembegriff in der Theorie dynamischer Systeme | 6 |
| 2.1 | Fragestellungen der Theorie dynamischer Systeme | 6 |
| 2.2 | Erste Beispiele | 6 |
| 2.3 | Grenzyklen und Attraktoren | 6 |
| 2.4 | Systeme auf multiplen Zeitskalen | 7 |
| 2.5 | Immersiver und submersiver Systembegriff | 8 |
| 2.6 | Emergente Phänomene | 9 |
| 3 | Einführung in Systemwissenschaft, Nachhaltigkeit und Allgemeine Systemtheorie | 10 |
| 3.1 | Bertalanffys Allgemeine Systemtheorie | 10 |
| 3.2 | Der Raumbegriff der Theorie Dynamischer Systeme | 10 |
| 3.3 | Steady State und Fließgleichgewichte | 11 |
| 3.4 | Komplexe und komplizierte Systeme | 11 |
| 3.5 | Informationsbegriff | 12 |
| 4 | Historisch-kritische Anmerkungen | 12 |
| 5 | Systembegriffe. Systematisierung der Argumente aus einer Debatte unter Praktikern | 16 |
| 6 | Organisation in lebenden Systemen | 17 |
| 6.1 | Vorbemerkungen | 17 |
| 6.2 | Lebende Systeme | 18 |
| 6.3 | Autopoiesis | 19 |
| 6.4 | Autokatalyse | 20 |
| 7 | Resilienz | 21 |
| 7.1 | Stadt als System | 21 |
| 7.2 | System von Systemen | 22 |
| 7.3 | Resilienz und Panarchie | 26 |
| 8 | Organisation in komplexen adaptiven Systemen | 28 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 9 | Institutionelle Analyse sozio-ökologischer Systeme | 29 |
| 9.1 | Noch einmal zum Systembegriff | 30 |
| 9.2 | Zu Dynamiken sozio-ökologischer Systeme | 32 |
| 10 | Sozio-technische Systeme und Transformationsprozesse | 34 |
| 10.1 | Typologie von Transformationsprozessen | 34 |
| 10.2 | Transitionspfade | 35 |
| 11 | Literatur | 39 |

1 Einleitung

1.1 Zum Anliegen des Gesprächs

Der Begriff des *Systems*, besonders in dessen technischer und ingenieur-technischer Ausprägung, kann nur als enge Symbiose von Beschreibungsformen und Vollzugsformen menschlicher Praxen sinnvoll gefasst werden. In diesen Vollzugsformen interagiert eine Vielzahl derartiger Systeme, so dass auf der Ebene der Beschreibungsformen auch *Systeme von Systemen* in den Fokus rücken, die als *systemische Interaktion von Komponenten* gefasst werden können und üblicherweise auch so gefasst werden. Damit verbunden ist auf der Ebene der Beschreibungsstrukturen eine Komplexitätsreduktion längs einer White Box / Black Box Strategie, in der bewährte Praxen – im günstigsten Fall – als Komponenten auf deren Schnittstellenverhalten reduziert werden, um neue übergreifende Praxen auf der Ebene eines „Systems von Systemen“ zu implementieren. Jene Implementierung als eine Transformation einer „Wirklichkeit an sich“ in eine „Wirklichkeit für uns“ folgt einer engen Zweck-Mittel-Bestimmung längs der Interessen der handelnden Subjekte, was mit einer weiteren Reduktionsleistung der Modellierung auf das Wesentliche verbunden ist, die im TRIZ-Umfeld¹ auf eine ausgefeilte Methodik von 76 Standardverfahren zur Entwicklung angemessener Stoff-Feld-Modelle zurückgreifen kann.

Ein derartiger Obersystem-System-Komponenten-Komplex als dominantes intersystemisches Verhältnis spielte in (Holling 2001) zur Analyse intersystemischer Stabilitätsverhältnisse, die (ebenda als „adaptiver Zyklus“) auch Stabilität durch Systemumbau erfassen, eine zentrale Rolle. Es führt mathematisch auf die Struktur eines gerichteten azyklischen Graphen (Hollings „Panarchie“-Konzept ist als Modell von Systemebenen noch strikter), in dem sich Abhängigkeiten wie

System A enthält Komponente B und System B enthält Komponente A

nicht darstellen lassen.

Genau dies ist aber die Perspektive, die Luhmanns Systemtheorie einnimmt mit der Betrachtung der Wirkung von Codes (und damit Implementierungen) eines Systems auf dem Hintergrund aller anderen Systeme als Komponenten (die wie Komponenten nur indirekt über ihre Schnittstellencodes gesteuert werden können).

Mit dem Konzept der *Resilienz* (Brand 2007) bzw. der *Robustheit* (Anderies 2004) wird versucht, die Robustheit einzelner Systeme in ihrem intersystemischen Zusammenhangsverhältnis zu bewerten, indem Robustheitsparameter von benachbarten Systemen und Komponenten ausschließlich über die Input-Output-Schnittstellen kommuniziert werden und sich damit lokal in den Reflexionsstrukturen eines einzelnen Systems bewerten lassen. Die bisherigen Konzepte konzentrieren sich auf die Suche nach aussagekräftigen Kopplungsparametern.

In unserem Interdisziplinären Gespräch wollen wir uns dem Konzept der Resilienz als einem vielfach überladenen Begriff nähern, der in aktuellen Nachhaltigkeitsdebatten immer wieder in den Vordergrund gerückt wird. Mit unserem Fokus auf emergente Phänomene in offenen Systemen wollen wir die Bedingtheiten von Argumentationslinien unter diesem speziellen Blickwinkel genauer in Augenschein nehmen.

¹<https://de.wikipedia.org/wiki/TRIZ>

1.2 Zum Inhalt dieses Readers

Im Kontext unserer „Interdisziplinären Gespräche“ sind bereits mehrere Reader erstellt worden, in denen weiterführende und in der konkreten Einladung zum Gespräch nicht in dieser Detailliertheit darstellbare Aspekte des Themas, relevante Aufsätze zur Debatte oder auch ein spezifischer Zusammenschritt von Literatur zusammengetragen ist, die in dieser Kombination gewöhnlich wenig beachtet wird.

Im Wintersemester 2019/20 haben wir uns in einem Kurs *Semantic Web* intensiv mit Fragen der modernen Technikentwicklung in Zeiten des digitalen Wandels (Vorlesung) und insbesondere dem Systembegriff in seiner vielfältigen Überladung in verschiedenen Theorieansätzen (Seminar) beschäftigt.

Das Zusammenspiel der verschiedenen Theorieansätze, das im Seminar intensiv beleuchtet wurde, ergab ein gutes Bild über die Kernpunkte, die bei einem systemischen Zugang zu den Analysevollzügen und Handlungsvollzügen menschlicher Praxen zu beachten sind. Natürlich haben wir dabei keinen Konsens erzielt – und ein solcher kann auch nicht Ziel eines derartigen *akademischen Seminars* sein. Jede und jeder hat ihren/seinen Teil aus diesen Diskussionen mitgenommen – jeder Versuch einer Zusammenfassung geht hinter die erreichte argumentative Komplexität zurück. Die Seminarunterlagen sind als Teil des WUMM-Projekts öffentlich zugänglich². In diesem Reader sind die Anmerkungen zu den einzelnen Seminarterminen zusammengetragen, die im Wesentlichen von *Hans-Gert Gräbe* erstellt wurden.

Nicht berücksichtigt, aber eine weitere interessante Quelle zusätzlicher Information sind die *studentischen Standpunktpapiere*, die im Internet zu finden sind, worauf an dieser Stelle nachdrücklich verwiesen wird.

Im nächsten Abschnitt sind ergänzend auch Ziel und Methodik des Seminars genauer dargestellt.

1.3 Ziel und Methodik des Seminars

Der Systembegriff spielt in der Informatik eine herausragende Rolle, wenn es um Datenbanksysteme, Softwaresysteme³, Hardwaresysteme, Abrechnungssysteme, Zugangssysteme usw. geht. Überhaupt wird die Informatik von einer Mehrheit als die „Wissenschaft von der *systematischen* Darstellung, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen, besonders der automatischen Verarbeitung mithilfe von Digitalrechner“ (Wikipedia) verstanden. Auch gewisse einschlägige Professionen wie etwa der *Systemarchitekt* genießen unter IT-Anwendern hohe Wertschätzung.

Die Bedeutung des Systembegriffs reicht allerdings weit über den Bereich der Informatik hinaus – er ist grundlegend für alle Ingenieurwissenschaften und als *Systems Engineering* mit der ISO/IEC/IEEE-15288 Norm „Systems and Software Engineering“ auch Gegenstand internationaler Normierungs- und Standardisierungsprozesse. Mehr noch spielt der Systembegriff auch bei der Beschreibung komplexer natürlicher und kultureller Prozesse – etwa im Begriff des *Ökosystems* – eine zentrale Rolle.

Mit dem *Semantic Web* rückt die Bedeutungsanalyse digitaler Artefakte in den Mittelpunkt,

²<https://github.com/wumm-project/Leipzig-Seminar>

³So die neue Denomination der im Besetzungsverfahren befindlichen W3-Professur am Institut für Informatik.

die in letzter Instanz Sprachartefakte sind und damit ebenfalls in direktem Zusammenhang zu einem sinnvoll zu entfaltenden *Systembegriff* stehen als Grundlage jeden Verständnisses konkreter Systeme.

Mit dem Schlagwort *Nachhaltigkeit* werden schließlich komplexe gesellschaftliche Abstimmungsprozesse angesprochen, mit denen vielfältige Informations- und Bewertungsprobleme einhergehen. Hierbei ist die Fähigkeit der beschreibenden Abgrenzung, Entwicklung und Steuerung von sogenannten Systemen auf bzw. über verschiedene Governance-, Raum- und Zeitebenen hinweg von großer Bedeutung.

Ziel des Seminars ist es, ein besseres Verständnis für diese Vielfalt von Systembegriffen zu gewinnen und dabei die Zugänge *verschiedener Systemtheorien* als Gegenstand einer *Systemwissenschaft* zu analysieren.

Das Seminar ist ein Einführungskurs in die Systemwissenschaft auf Master-Ebene, ihre Entwicklung im Laufe der Zeit, Verzweigung von Ansätzen, Schlüsselbegriffen und Konzepten. *Systemwissenschaft* wird hier als übergeordneter Ausdruck für ein Feld verwendet, zu dem zahlreiche Gelehrte aus den verschiedensten Disziplinen wie Anthropologie, Biologie, Chemie, Ökologie, Ökonomie, Mathematik, Physik, Psychologie, Soziologie und andere beigetragen haben. Entwicklungen wie Kybernetik, Chaostheorie oder Netzwerkanalyse und -wissenschaft können als Teil von Systemwissenschaft oder zumindest stark verwandt mit ihr angesehen werden. Einige Zweige der Systemwissenschaft gelten in Deutschland sogar als neue Wissenschaftsbereiche mit eigenen Rechten wie Synergetik oder Komplexitätswissenschaft.

Diese Entwicklungen haben neue Möglichkeiten für eine verbesserte Analyse und Entscheidungsfindung in wissenschaftlichen, geschäftlichen und politischen Bereichen eröffnet. Wir stellen jedoch täglich fest, dass in komplizierten Situationen, insbesondere in der Politik und in der Wirtschaft, einfache und direkte Entscheidungsfindungsprozesse nach wie vor überwiegen, was zu einer Zunahme negativer Entwicklungen führt, wenn die ursprünglich beabsichtigten Wirkungen nicht eintreten. Jede unerwartete Nebenwirkung oder Gegenreaktion, die die Maßnahmen unbrauchbar machen, sind ein klares Indiz dafür, dass die grundlegenden mentalen Modelle der Akteure unvollständig waren und breitere systemische Korrelationen vernachlässigt wurden. Das Systemdenken ist daher in Deutschland von besonderer Bedeutung für den Übergang zu einer nachhaltigeren Gesellschaft.

In diesem Seminar soll die historische Entwicklung der Systemwissenschaft (in Teilen) verfolgt sowie relevante Grundbegriffe studiert werden. Kursteilnehmer halten sich dabei an kein spezifisches Modell (wie z.B. *Systemdynamik*), sondern entwickeln ein tieferes Verständnis für die Systemwissenschaft und für eine spezifische Art des „Systemdenkens“, mit der Nachhaltigkeitsprobleme erfolgreicher angegangen werden können. Dies erreichen wir durch das Lesen und Diskutieren von wissenschaftlichen Arbeiten und Buchkapiteln.

2 Zum Systembegriff in der Theorie dynamischer Systeme

Literatur: (Prigogine 1993), **Zusatzliteratur:** (Jantsch 1992), (Jooß 2017)

2.1 Fragestellungen der Theorie dynamischer Systeme

Siehe hierzu [https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamisches_System_\(Systemtheorie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamisches_System_(Systemtheorie))

2.2 Erste Beispiele

Beispiele im homogenen Gravitationsfeld mit zunehmend „chaotischem“ Verhalten

- Das Pendel: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pendel>
- Gekoppeltes Pendel: https://de.wikipedia.org/wiki/Gekoppelte_Pendel
- Doppelpendel⁴ und chaotische Trajektorien, deterministisches Chaos
- Magnetisches Pendel: https://de.wikipedia.org/wiki/Magnetisches_Pendel

Beispiele mit gravitativer Wechselwirkung mit zunehmend „chaotischem“ Verhalten

- Zweikörperproblem: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zweikörperproblem>
- Dreikörperproblem: <https://de.wikipedia.org/wiki/Dreikörperproblem>
- Das Kolmogorow-Arnold-Moser-Theorem⁵ über stabile und instabile Bahnen

Das sind bereits – notwendigerweise reduktionistische – Beschreibungsformen der Wirklichkeit: Etwa Pendel mit und ohne Dämpfungsglied. Aber: Sinnvolle Reduktionen von Beschreibungsformen *verbessern* unsere Einsicht in die Zusammenhänge der Welt. Hätte Galileo Galilei diese Denkmethodik nicht angewendet, wäre ihm niemals aufgefallen, dass Eisen und Feder gleich schnell fallen.

Nicht alles, was wie Chaos aussieht, muss auch Chaos sein:

<https://i.redd.it/zr7tet9mdfl01.gif>

2.3 Grenzyklen und Attraktoren

- Grenzyklen: <https://de.wikipedia.org/wiki/Grenzyklus>
- Als **Attraktor** bezeichnet man eine stabile Lösung des entsprechenden Differentialgleichungs-Systems

Beispiel: Attraktoren des Magnetpendels waren die drei stabilen Endlagen, also drei Punkte im Phasenraum.

⁴<https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelpendel>

⁵<https://de.wikipedia.org/wiki/Kolmogorow-Arnold-Moser-Theorem>

- Hysterese
 - Beispiel: Temperaturregelung einer Heizungsanlage
 - <https://de.wikipedia.org/wiki/Hysterese>
- Räuber-Beute-Zyklen
 - <https://de.wikipedia.org/wiki/Ruber-Beute-Beziehung>
 - <https://de.wikipedia.org/wiki/Lotka-Volterra-Regeln>

Zur Bedeutung *stabiler* zyklischer Prozesse in der Natur.

Wir sind in der Lage, solche sich *näherungsweise* wiederholenden Muster in natürlichen Prozessen (d.h. Attraktoren) wahrzunehmen, also auch unabhängig von der Mathematik eine solche Reduktionsleistung zu vollbringen.

- Frage: Wie kompliziert können solche Attraktoren werden?
- Der Lorenzattraktor: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lorenz-Attraktor>.
Achtung, bei den dort verwendeten numerischen Verfahren zur Visualisierung ist schwer zu unterscheiden, ob sie eine chaotische Trajektorie berechnen oder wirklich den Attraktor, der ja ein *globales* Artefakt ist.
- Seltsame Attraktoren⁶ als „Endzustand eines dynamischen Prozesses, dessen fraktale Dimension nicht ganzzahlig und dessen Kolmogorov-Entropie echt positiv ist. Es handelt sich damit um ein Fraktal, das nicht in geschlossener Form geometrisch beschrieben werden kann“. (Wikipedia)

Damit ist der Trajektorienbegriff der klassischen Physik für derartige Phänomene nicht mehr anwendbar. („Schmetterlingseffekt“)

2.4 Systeme auf multiplen Zeitskalen

Ein wichtiger Ansatz ergibt sich für Systeme, deren Dynamiken auf verschiedenen Zeitskalen ablaufen. Man kann dann methodisch als weiteren Abstraktionsschritt zunächst die Dynamiken auf den einzelnen Zeitskalen untersuchen und später in einem erweiterten Modell die Wechselwirkungen zwischen den Zeitskalen hinzunehmen. Massiv neue Phänomene ergeben sich bereits bei der Betrachtung von *zwei* Zeitskalen, was als *Mikro- und Makroevolution* bezeichnet wird. Hier wird es in der Wikipedia bereits dünn.

- Beispiel: Das Doppelpendel kann in gewissen Grenzen als Pendel aufgefasst werden, dessen Pendelkörper selbst noch eine innere Dynamik hat. Das Obersystem prägt dem Untersystem durch Energieeintrag eine gemeinsame Dynamik auf. Obwohl Doppelpendel, ist das System damit (final) *nicht* chaotisch, sondern verhält sich wie ein einfaches Pendel mit Masse im Schwerpunkt.
- In der Literatur als *Versklavungseffekt* bekannt und besonders in methodisch schlecht fundierten soziologischen Betrachtungen als Verbalargument verbreitet.
Siehe aber <https://de.wikipedia.org/wiki/Netzwerkforschung>.

⁶https://de.wikipedia.org/wiki/Seltsamer_Attraktor

2.5 Immersiver und submersiver Systembegriff

Welche Probleme treten beim Zusammensetzen von (verstandenen) Mikroevolutionen von Teilsystemen zu einem Verständnis der Dynamik auf der Makroebene auf?

Wie lassen sich zwei Systeme S_1 und S_2 zu einem Obersystem zusammenfassen?

Immersiver Zugang

Mathematische Formulierung der Fragestellung: Dies geschieht durch Abbildungen (im einfachsten Fall Einbettungen, Immersionen) $f_1 : S_1 \rightarrow S$, $f_2 : S_2 \rightarrow S$. Wie lassen sich solche Abbildungen konstruieren?

Gibt es für diese Konstellation ein *universelles kategorielles Objekt*, d.h. ein universelles U und universelle Abbildungen

$$p_1 : S_1 \rightarrow S, p_2 : S_2 \rightarrow S,$$

so dass sich für jedes Tripel (f_1, f_2, S) die obige Konstellation als

$$f_1 = f \circ p_1 : S_1 \rightarrow U \rightarrow S, f_2 = f \circ p_2 : S_2 \rightarrow U \rightarrow S$$

für ein geeignetes $f = f_1 \oplus f_2 : S \rightarrow U$ schreiben lässt? U heißt in dem Fall *direkte Summe* und man schreibt $U = S_1 \amalg S_2$.

Die meisten mathematischen Modelle bewegen sich in konkreten *Kategorien*, zum Beispiel der Kategorie der Mengen, der Vektorräume, der Faserbündel, der algebraischen Varietäten usw. Jede solche Kategorie zeichnet sich dadurch aus, dass dort die Begriffe *Objekt* und *Morphismus* eine klare Bedeutung haben. Morphismen zwischen Vektorräumen sind zum Beispiel operationstreue Abbildungen, also lineare Abbildungen, die sich für endlichdimensionale Vektorräume durch Matrizen beschreiben lassen.

Nicht in jeder Kategorie existieren solche universellen Objekte.

Anmerkung: Die Konstruktion lässt sich leicht auf endlich viele S_i und sogar auf unendlich viele $S_i, i \in I$, verallgemeinern, und so ist es in der Mathematik auch gemeint.

In der *Kategorie der Mengen* existieren direkte Summen U sowohl für endliche als auch unendliche Indexmengen I . Dies ist gerade die *disjunkte Vereinigung* der Mengen S_i .

Die Abbildungen p_i sind gerade die Einbettungen $p_i : S_i \rightarrow S$ der Teilmengen in deren disjunkte Vereinigung.

Die Abbildung $f : U \rightarrow S$ ergibt sich wie folgt: Für jedes $a \in U$ existieren genau ein i und ein $a' \in S_i$ mit $a = p_i(a')$. Setze $f(a) = f_i(a')$.

Ist $|S_1| = a$, $|S_2| = b$, so ist $|S_1 \amalg S_2| = a + b$.

Das Ganze ist nicht mehr als die Summe seiner Teile.

Submersiver Zugang

Alle Pfeile umdrehen (TRIZ Prinzip 13)

Es ergeben sich Abbildungen (im einfachsten Fall Projektionen) $f_1 : S_1 \leftarrow S$, $f_2 : S_2 \leftarrow S$.

Gibt es auch für diese Konstellation ein *universelles kategorielles Objekt*, d.h. ein universelles U und universelle Abbildungen

$$p_1 : S_1 \leftarrow S, p_2 : S_2 \leftarrow S,$$

so dass sich für jedes Tripel (f_1, f_2, S) die obige Konstellation als

$$f_1 = p_1 \circ f : S_1 \leftarrow U \leftarrow S, f_2 = p_2 \circ f : S_2 \leftarrow U \leftarrow S$$

für ein geeignetes $f = f_1 \otimes f_2 : S \rightarrow U$ schreiben lässt? U heißt in dem Fall *direktes Produkt* und man schreibt $U = S_1 \amalg S_2$.

In der *Kategorie der Mengen* existieren direkte Produkte U sowohl für endliche als auch unendliche Indexmengen I . Dies ist gerade das *Karthesische Produkt* der Mengen S_i .

Die Abbildungen p_i sind die Projektionen $p_i : U \rightarrow S_i$ des karthesischen Produkts auf die einzelnen Komponenten.

Die Abbildung $f : S \rightarrow U$ ergibt sich wie folgt: Für jedes $a \in S$ ist $f(a) = (f_i(a) : i \in I)$.

Ist $|S_1| = a$, $|S_2| = b$, so ist $|S_1 \amalg S_2| = a \cdot b$.

Das Ganze ist deutlich mehr als die Summe seiner Teile, der größte Teil der „Information“ ist relationaler Natur.

2.6 Emergente Phänomene

- Nichtlineare Systeme und Phasenübergänge:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Phasenbergang>.
- Selbstorganisation in dissipativen Strukturen
 - <https://de.wikipedia.org/wiki/Rayleigh-Bnard-Konvektion>
 - <https://de.wikipedia.org/wiki/Belousov-Zhabotinsky-Reaktion>
- Dissipative Strukturen: https://de.wikipedia.org/wiki/Dissipative_Struktur
- Temperatur⁷ als emergentes Phänomen.
- Entropie⁸ und Enthalpie⁹.
- Leben auf der Erde als dissipatives System

⁷<https://de.wikipedia.org/wiki/Temperatur>

⁸<https://de.wikipedia.org/wiki/Entropie>

⁹<https://de.wikipedia.org/wiki/Enthalpie>

3 Einführung in Systemwissenschaft, Nachhaltigkeit und Allgemeine Systemtheorie

Literatur: (Bertalanffy 1950), (Mele 2010), (Binder 2013)

Im Seminar wurde das Thema in zwei Vorträgen von Sabine Lautenschläger und Lydie Laforet vorgestellt.

Hans-Gert Gräbe hat im Nachgang den folgenden Text verfasst, in dem die Verbindungen zu konzeptionellen Fragen der Theorie Dynamischer Systeme sowie zu den Argumentationen zum Thema Nachhaltigkeit aus der Vorlesung aufgenommen werden. Dabei werden einige Aspekte der Theorie Dynamischer Systeme mit den von Lautenschläger und Laforet vorgebrachten Systemtheorieansätzen abgeglichen und damit zugleich einige Punkte der Theorie Dynamischer Systeme genauer ausgeführt.

3.1 Bertalanffys Allgemeine Systemtheorie

Bertalanffy entwickelt in seinem Text (Bertalanffy 1950) zunächst genau die Grundlagen der Theorie Dynamischer Systeme im Verständnis jener Zeit. Der Bezugstext steht damit ganz am Anfang einer stürmischen Entwicklung der Theorie Dynamischer Systeme in den 1960er und 1970er Jahren, die zu fundamental neuen Einsichten in die Vielfalt von Formen der Lösungen gewöhnlicher Differentialgleichungssysteme geführt haben. Bereits in diesem Gebiet¹⁰ finden sich erstaunliche Phänomene wie der Lorenzattraktor, deterministisches Chaos, das Ende des Trajektorienbegriffs und fraktale Gebilde. Mit partiellen Differentialgleichungen kommen noch Solitonen¹¹ hinzu. Bertalanffy hat also nur eine erste Ahnung möglicher Phänomene. Seine mathematischen Betrachtungen verwenden allein Taylorreihen und beschränken sich damit auf Phänomene nahe einer Gleichgewichtslage, können also mathematisch auf steady state Situationen (ohne wesentlich vereinfachende Annahmen) nicht einmal angewendet werden.

Seine wissenschaftstheoretischen Überlegungen fußen auf der Analogie entsprechender mathematischer Beschreibungsformen in verschiedenen Wissenschaftsgebieten¹² und stellen damit nach meinem Verständnis auf *methodologische* Ähnlichkeit von Zugängen und *nicht* auf Isomorphie von Strukturen (so Lautenschläger) ab. Dass Bertalanffys Zugang *deduktiv* sei, kann sich damit auch maximal auf den mathematisch-deduktiven Kern seiner Argumentation beziehen, nicht aber auf die weitergehenden wissenschaftstheoretischen Beobachtungen, bzw. dies wäre noch genauer zu belegen.

3.2 Der Raumbegriff der Theorie Dynamischer Systeme

Der Raumbegriff der Theorie Dynamischer Systeme entwickelt sich aus dem physikalischen Begriff des *Phasenraums*. So „lebt“ ein klassisches Vier-Teilchen-System in einem 12-dimensionalen Phasenraum, der durch die 4×3 Raumkoordinaten aufgespannt wird. Derartige Pha-

¹⁰In den Gleichungen werden nur zeitabhängige Ableitungen zugelassen, keine partiellen Ableitungen nach auch noch anderen Parametern, das Gebiet der *partiellen Differentialgleichungen* wird also noch nicht betreten.

¹¹Auf dieses Phänomen bin ich in meinem Seminar nicht eingegangen, obwohl diese Strukturen, die in vielen Systemen partieller Differentialgleichungen als Lösungen auftreten, zu einem vollkommen neuen Verständnis des Welle-Teilchen-Dualismus führen. Siehe dazu <https://de.wikipedia.org/wiki/Soliton>.

¹²Komplexe Systemtheorie stellt die Adäquatheit derartiger Beschreibungen heute selbst in Frage.

senräume dienen zunächst der Koordinatisierung der Bewegungsgleichungen, allerdings sieht bereits die Physik in solchen Koordinatenabhängigkeiten einen Mangel, da die Gesetze unter Koordinatentransformationen invariant sein müssen, also letztlich koordinatenfreie Zusammenhängebeschreibungen mehr Einsicht in bestehende Zusammenhänge vermitteln. Damit steht zugleich die Frage, invariante geometrische Strukturen in solchen höherdimensionalen Phasenräumen zu beschreiben.

Derartige Fragen sind Gegenstand zum Beispiel der algebraischen Geometrie oder der Differentialgeometrie. In diesen Beschreibungen (der invarianten geometrischen Gebilde) treten ihrerseits Räume auf, die sich etwa im Konzept der *Vektorbündel* „materialisieren“ als *Sprache*, um geometrische Eigenschaften der betrachteten invarianten Strukturen zu beschreiben (wie Fasern, Keime, Schnitte, Obstruktionen zur Fortsetzbarkeit von Schnitten, Homologieklassen als Strukturen derartiger Obstruktionen usw.).

Im Bereich der Analysis wird der Raumbegriff weiter verallgemeinert zu unendlich-dimensionalen Banach- und Sobolev-Räumen, in denen sich gewisse mathematische Konzepte (etwa das Lebesgue-Integral) überhaupt erst entfalten lassen für Situationen, wo man mit „klassischen“ Lösungen nicht mehr weiterkommt. Theorien (wie etwa der Banachsche Fixpunktsatz) lassen sich überhaupt erst auf der Basis derart verallgemeinerter Raumbegriffe konsistent entwickeln.

3.3 Steady State und Fließgleichgewichte

Diese Begriffe entwickeln sich später zum Begriff des *Attraktors* weiter. Zugleich wird erkannt, dass derartige Attraktoren extrem komplexe Gestalt haben können, womit eine Unterscheidung zu chaotischem Verhalten allein auf phänomenologischer Ebene schwierig wird. Zugleich wird die Rolle auch *negativer Attraktoren* erkannt. Derartige Strukturen und Strukturbildungsprozesse sind typisch für dissipative Prozesse fern von Gleichgewichtszuständen, die durch einen gewissen Durchsatz von Materie und Energie getrieben werden. Der Durchsatz von Information spielt dabei keine Rolle¹³. Ich komme unten auf diese Frage zurück.

3.4 Komplexe und komplizierte Systeme

Diese Unterscheidung habe ich überhaupt nicht begriffen. Sicher kann man einen solchen Unterschied nicht an der Zerlegbarkeit eines technischen Artefakts („ein Auto ist kompliziert, nicht aber komplex“) festmachen, da ein entsprechender Technikbegriff noch deutlich hinter dem des VDI (siehe meine 1. Vorlesung) zurückbliebe, der zum System wenigstens noch „Herstellung“ und „Verwendung“ des Artefakts (oder – dort bereits deutlich – „Sachsysteme“) rechnet.

Eine solche Unterscheidung lässt sich nach meinem Verständnis ausschließlich an den Beschreibungsmethodiken festmachen, die etwa im Potsdamer Manifest (VDW 2005) als „mechanisch-materialistisch“ und „geistig-lebendig“ unterschieden werden. Damit kommen wir aber sofort auf grundlegende Fragen, welche Technik- und Wissenschaftsverständnisse überhaupt nur Grundlage für „Nachhaltigkeit“ sein können und welchen Anteil das Wert-Nutzen-Denken des homo oeconomicus oder auch nur des homo faber an der aktuellen Krise unserer fossil basierten Produktionsweise hat.

¹³Siehe dazu etwa noch einmal https://de.wikipedia.org/wiki/Dissipative_Struktur.

Carlowitz hat vor 250 Jahren wenigstens noch über eine nachhaltige Bewirtschaftung der nachwachsenden Ressource „Holz“ *raisonniert*¹⁴. Unsere gesamte Technik und Wissenschaft hat sich seither rasant weiterentwickelt, allerdings auf der Basis *fossiler* Rohstoffe, die sich definitiv *nicht* in so kurzen Zeiten regenerieren wie sie verbraucht werden. Die damit verbundenen grundlegenden Probleme habe ich bereits in der 2. Vorlesung („Peak Oil? Peak Everything!“) angeschaut. Siehe dazu auch (Davis 2008), (Gräbe 2012).

3.5 Informationsbegriff

„Komplexe Systeme sind lernfähig“ (Laforet). Lernfähigkeit setzt nach meinem Verständnis 1) Reflexionsfähigkeit und 2) Selbstreflexionsfähigkeit voraus. Ich denke nicht, dass der Begriff „komplexes System“ derart eingeengt werden sollte. Insgesamt sind wir bei diesem Ansatz bei Informationstheorien auf dem Stand der 1970er Jahre, etwa (Steinbuch 1969)¹⁵, die Klaus Fuchs-Kittowski (Fuchs-Kittowski 2002) in der Unterscheidung zwischen Kybernetik 1. und 2. Ordnung noch einmal resümierte. Dieser Ansatz wurde bereits Ende der 1990er Jahre in Debatten zwischen Janich, Capurro, Fleissner, Hofkirchner u.a. fundamental kritisiert. Dazu etwa (Janich 2006), (Capurro 1996), (Capurro 1998), (Capurro 2002), (Klemm 2003).

4 Historisch-kritische Anmerkungen

Grundlegendes Problem menschlicher Verhandlungs- und Entscheidungsstrukturen ist die Frage, wie wir die Vielfalt der Sichten auf die Wirklichkeit („Welten“ in Termini der Vorlesung) mit der Einheit der Wirklichkeit abgleichen können. „Das, was wirklich geschieht“, ist uns nicht direkt sprachlich zugänglich, sondern nur über kooperative Sprachformen, die Erwartetes mit Gewesenem abgleichen können. Siehe dazu auch die Anmerkungen¹⁶ zu einem anderen Seminar im Dorfwiki. In diesem Sinne gilt „Welt als Wirklichkeit *für uns* ist Wirklichkeit im Prozess begrifflicher Erfassung“ (Vorlesung). Und in diesem Sinne sind die Begriffe *Welt* und *Wirklichkeit* im weiteren Text zu verstehen.

Mit dem Systembegriff wird versucht, diese Nahtstelle von Sichten und Wirklichkeit selbst in eine Sprachform zu bringen und damit den Begriff *Ganzheitlichkeit* zu entwickeln. Herr Kleemann hat in seinen Ausführungen diese Versuche über die letzten 300 Jahre, also im Wesentlichen im Kontext bürgerlicher Gesellschaftsverhältnisse, nachgezeichnet. Nach einer motivierenden Vorbereitung, auf die ich aus systematischen Gründen erst später eingehe, hat er fünf Entwicklungsschritte identifiziert, in denen sich der Ganzheitlichkeitsbegriff im betrachteten Zeitraum entwickelt hat.

1. Am Übergang des 17. zum 18. Jahrhundert herrschte folgende Sichtweise (etwa Leibniz, siehe auch (Knobloch 1987)) vor: Die Ganzheit der Welt (hier als *Wirklichkeit*, diese Unterscheidung wurde damals so noch nicht getroffen) kann überhaupt nur aus einer Innen-

¹⁴Dass Carlowitz’ Probleme eng mit der aufkommenden kapitalistischen Produktionsweise zusammenhängen und vergleichbare Probleme der Bewirtschaftung von Infrastrukturen vorher mit den lokalen Allmendegesetzen stabil prozessiert werden konnten, hat Elinor Ostrom klar gezeigt, siehe etwa (Stollorz 2011).

¹⁵„Geschichte ist die uns überlieferte Information über frühere Versuche, die Zukunft zu gestalten.“ (ebenda, S. 5)

¹⁶<http://www.dorfwiki.org/wiki.cgi?HansGertGraebe/SeminarWissen/2019-10-24>

perspektive erfasst werden, denn die Welt bewegt sich aus sich heraus und in sich selbst; es gibt kein *Außen*. Damit wird der Beweis göttlicher Schöpfung als Anspruch verworfen, da dieser Gedanke einer weiteren Entwicklung der technischen Möglichkeiten der Menschheit im Wege steht. Dieser Ansatz findet sich bereits in der Archimedes zugeschriebenen Position, dass er nur einen festen Punkt außerhalb der Welt bräuchte, um jene aus den Angeln zu heben.

2. Ab Ende des 18. Jahrhunderts: Die Ganzheit der Welt wird als Einheit der Wirklichkeit postuliert, die aber nur durch Beschreibungsformen praktisch-planerisch zugänglich ist. Deshalb geht es um die Ganzheit und Geschlossenheit der Beschreibungsformen. Um den nicht hintergehbaren Widerspruch zwischen Beschreibungsformen und Wirklichkeit in die Beschreibungsformen aufzunehmen, werden die Begriffe *System* (mit einem Geschlossenheitsanspruch) und *Organismus* (als prinzipiell unvollständige Beschreibungsform von Teilen der Wirklichkeit) geschieden. Einem (konstruktiven) Technikbegriff ist jene systemische Welt zugänglich, aber noch nicht die organismische. Es werden jedoch Erfahrungen aus jener mechanistisch-technischen Welt auf die Beschreibungsformen jener „Organismen“ übertragen mit entsprechenden Folgen auch für ein Menschenbild, siehe etwa (als frühes Werk der Periode) *Der Mensch als Maschine*¹⁷ von La Mettrie.

3. Ab Ende des 19. Jahrhunderts können etwa energetische Experimente mit *Organismen* durchgeführt, damit die Beschreibungsformen von Organismen selbst einer rational-kritischen Würdigung unterzogen und mit Mitteln der mechanistisch-technischen *Welt der Systeme* analysiert werden. Neben der spekulativ-induktiven Methode der Verallgemeinerung von Beobachtungen entwickelt sich eine symbolisch-deduktive Methode, in der Logik und Mathematik als Komplettierungsinstrumente für Theoriegebäude mit Ganzheitsanspruch in Stellung gebracht werden. Diese *geschlossenen Theorien* begründen

- a) eine neue argumentative Tradition des Verhältnisses von Induktion und Deduktion (einen Begriff von *Science* in der im angelsächsischen Sprachraum verbreiteten Bedeutung) und
- b) eine Aufspaltung in Einzelwissenschaften, deren Vertreter den intern stehenden (deduktiven) Ganzheitsanspruch an das jeweilige Theoriegebäude gern mit dem alten (induktiven) Ganzheitsanspruch einer „Welterklärung“ verwechseln (Naturphilosophie, Empiriekritizismus).

4. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts führen diese zwei Linien zum Schisma in *Science* und *Humanities*. Herr Kleemann verfolgte vor allem die Linie *Science*, in der sich die interessanteren Entwicklungen bzgl. der Sprachformen vollzogen, in denen sich der Widerspruch zwischen dem Geschlossenheitsanspruch von Theorie und der Ganzheit und Einheit der Wirklichkeit entwickelt.

Hier ist zunächst der Versuch zu nennen, diesen Widerspruch durch einfache Identifizierung der Pole zu lösen: Die Versuche (Russell, Hilbert, Bernays u.a.) zu zeigen, dass mit dem Geschlossenheitsanspruch der Theoriebildung die Ganzheitlichkeit der Wirklichkeit prinzipiell

¹⁷<http://www.lsr-projekt.de/lm1.html>

sprachlich eingefangen werden kann. Dieser Versuch scheitert aber mit Kurt Gödel bereits an der ersten ernsthaften Frage: Ist das zu entwickelnde theoretische Instrumentarium geeignet, den gestellten Geschlossenheitsanspruch in der Anwendung auf sich selbst einzulösen? Die verblüffende Antwort lautet nicht nur „Nein“, sondern die Antwort kann mit den Mitteln jenes Theorieansatzes sogar *bewiesen* werden, ist also nicht spekulativen, sondern deduktiven Typs.

Auf der anderen Seite formen sich Bereiche (Einzelwissenschaften), in denen sich je spezifische Balancen zwischen spekulativen und deduktiven Ansätzen herausbilden, der Geschlossenheitsanspruch also eine je innerdisziplinäre sozialisierungsbasierte Institutionalisierung (Fachlogik) erfährt. Diese Fachlogiken, die T.S. Kuhn als *Paradigmata* bezeichnet, stehen ihrerseits aber in dialektischen Entwicklungsprozessen bis hin zu Brüchen (Kuhn untersucht derartige Paradigmenwechsel intensiv).

Als dritte Entwicklungslinie jener Zeit verwies Herr Kleemann auf die beginnende *Technisierung* von Science im Sinne einer technischen Werkzeugunterstützung von Versuchsaufbaustrukturen bis hin zu repetitiven Vorgängen innerhalb jener Sprachformen einer mathematisch-deduktiven Argumentation. Turing greift ältere derartige Ansätze (Rechenmaschinen von Leibniz und Pascal, die „Analytical Engine“ von Babbage und Lady Lovelace) im zunächst theoretischen Konzept der Turingmaschine (1936) auf, das in der *Turing-Bombe*, der Entschlüsselung der Chiffrierung der deutschen Enigma bereits im Vorcomputerzeitalter einen ersten Höhepunkt praktischer Anwendung hat.

Die Turingmaschine ist zugleich eine „Gödelmaschine“, denn sie setzt den Gödelschen Unvollständigkeitsansatz maschinell um: Das unendliche Eingabeband führt zu einer unendlichen Abfolge innerer Zustände, repetitive Zustandsstrukturen sind – im Gegensatz zur engeren Klasse der Kellerautomaten – an repetitive Inputs gebunden.

5. Seit den 1960er Jahren setzt sich jene instrumentelle Untersetzung mathematisch-deduktiver Ansätze in Kybernetik, Regelungssystemen, KI, Automatisierungstechniken usw. fort. Die instrumentelle Untersetzung von Automatisierungstechniken ist allerdings deutlich älteren Datums – mechanische Regelwerke existieren seit Tausenden von Jahren, der Einsatz komplizierter, mechanisch fundierter Prozess-Steuerungen begleitet die Automatisierungstechnik seit den Anfängen der industriellen Produktionsweise Mitte des 19. Jahrhunderts, Zuses Z1 (1937) verwendete noch komplett eine derartige Technologie und selbst Zuses Z4 (1945) war nach dem Übergang zu einer Technologie mit elektro-mechanischen Relais nur halbherzig „elektrifiziert“.

Dem gesamten ingenieurtechnischen Konzept eines *Standes der Technik* liegt ein solcher mathematisch-deduktiver Geschlossenheitsanspruch zugrunde, der mit Blick auf die prinzipielle Orientierung von Technik am Lösen von Problemen aber interdisziplinär ist und damit die mathematisch-deduktiv begründeten Geschlossenheitsansprüche jeder Einzelwissenschaft nur zu einem sozio-praktisch begründbaren Geschlossenheitsanspruch zusammenführen kann. Mit der fortschreitenden Durchdringung unserer Produktionsweise mit wissenschaftssprachlich fundierten Praxen und fortschreitender Technologisierung reproduziert sich damit der dialektische Widerspruch zwischen der Vielfalt der (nun instrumentell hochgradig aufgeladenen) Welten (der Einzelwissenschaften) und der Einheit der Wirklichkeit auf neuem Niveau.

Die Frage ist keineswegs nur von akademischem Interesse, denn in einer hoch technisierten Gesellschaft, in der zweckgerichtetes instrumentelles Handeln die Grundform praktischen Tuns ist, steht immer die Frage, was ist Subjekt und was Objekt oder – in Termini von TRIZ – was ist Werkzeug und was Produkt. Gestaltung betrifft Menschen, womit jene (in *dieser* Handlungslogik) immer auch Objekt und Produkt von Handeln sind. Auch TRIZ perpetuiert diesen Ansatz, der in der *Handlungsplanung* einen äußeren Standpunkt einnimmt, um dann im *Handlungsvollzug* „die Welt aus den Angeln zu heben“ wie einst Archimedes. Wir haben in der Grundfrage über die fünf Stufen hinweg eigentlich nichts gewonnen und bewegen uns *in dieser Frage* weiter auf der Ebene spekulativer Gesellschaftstheorien, wie Herr Kleemann am Beispiel von Talcott Parsons’ AGIL-Ansatz genauer ausgeführt hat.

Herr Kleemann kondensierte seine Ausführungen in fünf Problemen, denen sich jede Systemtheorie stellen muss, wenn sie nicht in den Verdacht geraten will, nur soziopolitische Legitimation spezifischer Interessenkonstellationen zu sein:

- Problem 1: Was ist innen und außen?
- Problem 2: Der Systemaufbau. Was ist Input und Output?
- Problem 3: Entwicklung eines tragfähigen Begriffs von Information als systemische Grundlage
- Problem 4: Was ist dann Nachhaltigkeit?
- Problem 5: Die politische Dimension

Das Ringen um einen tragfähigen Systembegriff ordnet sich damit ein in das Ringen um die Herstellung von Sprachfähigkeit in den Gestaltungs- und Entscheidungsprozessen der bürgerlichen Gesellschaft, auf die Herr Kleemann im ersten Teil seiner Ausführungen (allerdings nicht unter einer derart expliziten Überschrift) einging. Auf dem Weg der Stärkung der symbolisch-deduktiven Basis dieser Sprachfähigkeit als Grundlage der wissenschaftlich-technisch verfassten modernen Produktionsweise geht es auf einer *ersten Ebene* um die Begründung der Bedeutungen von Begriffen. Auf einer *zweiten Ebene* geht es um die Bündelung von Begriffen zu praktisch bedeutsamen Systemen (Ontologien) als sprachliche Komponente bewährter und institutionalisierter Praxen und Verfahrensweisen. Das Verhältnis zwischen beiden Ebenen ist ein synergetisches (wie im Konzertbeispiel in der ersten Vorlesung besprochen): Die verfügbaren Begriffe begrenzen und ermöglichen Praxen auf Systemebene, umgekehrt entwickeln sich Begriffe im Kontext systemischer Praxen weiter. In der Vorlesung wird dies auf folgenden Punkt gebracht: Bedeutung **ist** der Gebrauch von Begriffen. Begriff und System stehen damit in einem reflexiven Verhältnis, welches unsere Handlungsmacht definiert.

Diese Handlungsmacht wollen wir für eine Transformation der Gesellschaft in Richtung einer nachhaltigen Produktionsweise einsetzen. Die Vielfalt der Welten, die beim Wechselverhältnis von Ebene 1 und 2 noch kein Problem ist, wird nun aber zum Problem, denn mit dem Nachhaltigkeitsanspruch tritt das dialektische Wechselverhältnis von Vielfalt der (sprachlich konstituierten) Welten und der Einheit der Wirklichkeit unmittelbar auf die Tagesordnung. Es gibt keinen externen Standpunkt, von dem aus sich ein nachhaltiger Umgang mit der

Wirklichkeit instrumentell erzwingen ließe. In diesem Sinne müssen wir offen sein dafür, dass Nachhaltigkeitsfragen auch zu einer wesentlichen Änderung dessen führen, mit welchen Begriffen und Systemen wir an jenes dialektische Verhältnis herangehen. Wir müssen nicht nur lernen, das Denken in Kreisläufen in unser instrumentelles Vorgehen einzubauen, sondern das instrumentelle Vorgehen selbst zu einem Vorgehen in Kreisläufen transformieren. In diesem Sinne stehen auch Begriffe und Systeme einerseits sowie Nachhaltigkeit andererseits in einem synergetischen Verhältnis. Billiger ist das Semantic Web nicht zu haben.

5 Systembegriffe. Systematisierung der Argumente aus einer Debatte unter Praktikern

Literatur: <https://wumm-project.github.io/2019-08-07>

In den bisherigen Seminaren wurde eine Vielfalt von Kontexten betrachtet, in denen ein Systembegriff verwendet wird.

In der *Theorie Dynamischer Systeme* ging Gräbe vor allem auf mathematische Beschreibungsformen von Modellen ein, die sich wesentlich auf zwei Zeitebenen – einer Mikro- und einer Makroevolution – entfalten.

In den von Laforet und Lautenschläger vorgestellten Theorieansätzen ging es um die Verbindung zwischen komplexen Beschreibungsformen und Handlungsvollzügen, an denen eine Vielzahl von Akteuren beteiligt ist. Bereits dabei wurde deutlich, dass es schwierig ist, einen Systembegriff allein aus den Beschreibungsformen zu entwickeln.

Im Beitrag von Kleemann wurde dieser Gedanke noch einmal vertieft und in den historischen Entwicklungskontext eines *Ganzheitlichkeitsanspruchs* gestellt, in dem die Differenz zwischen den Erwartungen (kodierte in den Beschreibungsformen) und den Erfahrungen (aus den Handlungsvollzügen) praktisch prozessiert werden kann. In den Ausführungen wurde deutlich, in welchem engem Zusammenhang die jeweils historisch-konkreten *Formen* jenes Prozessierens mit dem konkreten *Stand der Technik* stehen. Mit dem aktuellen *digitalen Wandel* eröffnen sich gerade auch hier vollkommen neue Möglichkeiten, die in einer Debatte um das *Semantic Web* nicht nur in ihrer technischen Dimension auszuloten sind.

Im Gegensatz zu allen anderen Seminaren war diesmal als Grundlage keine akademische Arbeit ausgewählt worden, sondern der Zusammenschritt einer Diskussion unter TRIZ-erfahrenen Personen über das Verhältnis theoretischer und praktischer Dimensionen eines Systembegriffs, der in der TRIZ-Methodologie eine wichtige Rolle spielt. Der Systembegriff taucht dort etwa in der *9-Felder-Matrix* oder bei den *Gesetzen der Evolution technischer Systeme* auf, ist aber andererseits nur unscharf gegen Begriffe wie Funktion, Komponente, Element, Produkt oder Objekt abgegrenzt. Genau um die Problematik einer solchen Abgrenzung ging es in jener Diskussion und auch in der Diskussion im Seminar.

Das Ergebnis unserer Diskussion lässt sich wie folgt zusammenfassen. Der Systembegriff dient der Abgrenzung eines Beschreibungs- und Handlungsraums, in dem die Umsetzung eines gewissen Bündels von Zwecken planerisch-beschreibend und auch im Handlungsvollzug konzentriert ist. Die Abgrenzung erfolgt einerseits nach dem *Relevanzkriterium* und damit submersiv, andererseits nach dem *Beeinflussungskriterium* und damit immersiv. Letzteres wurde besonders strittig diskutiert, aber zum Ende als *Einbettung in vorhandene Praxen* erkannt. Diese Praxen treten einerseits als vorgefundene institutionalisierte „äußere“ Bedingungen (Supersy-

stem in der TRIZ-Terminologie), andererseits als vorgefundene technische Mittel (Komponenten in der TRIZ-Terminologie) in Erscheinung. Ob eine solche Trennung auf dem Hintergrund des in der Vorlesung entwickelten Technikbegriffs sinnvoll ist, sei dahingestellt.

Das Begreifen einer derartigen *begriffliche Weiterentwicklung* (in der Vorlesung heißt es dazu „Welt als Wirklichkeit für uns ist Wirklichkeit im Prozess begrifflicher Erfassung“) vorgefundener Bedingungen kann sich prozessual am Konzertbeispiel aus der Vorlesung orientieren, besser aber noch am Konzept einer *Software aus Komponenten*, nach dem heute moderne IT-Systeme entworfen und realisiert werden. Derartige aus Komponenten zusammengesetzte Systeme sind generell der zentrale Ansatz modernen ingenieur-technischen Handelns, und die Informatik musste sich lange fragen lassen, warum ein solcher Ansatz dort keine Rolle spielte. Hier sind in den letzten 10 Jahren klare Weiterentwicklungen zu verzeichnen.

Komponenten gehen in solche Systeme vor allem mit der von ihnen bereitgestellten Funktionalität ein. Gleiches gilt für den dissipativen Durchsatz, der die Strukturbildungsprozesse innerhalb des Systems antreibt, wenn so etwas zu berücksichtigen ist. Komponenten sind selbst wieder Systeme, wenn es darum geht, die *Bereitstellung* solcher Funktionen genauer zu beschreiben. Systembildung ist damit auf der einen Seite submersive Reduktion von Komplexität. Diese Perspektive berücksichtigt allerdings zunächst nur die *Aufbauorganisation* des Systems. In der *Ablauforganisation* müssen sich die Abläufe in den Komponenten mit den Abläufen im System koordinieren, was Quelle mannigfacher Restriktionen ist.

Der wesentliche eigene Beitrag auf Systemebene ist die Organisation des Zusammenspiels der Komponenten auf eine solche Weise, dass die verfolgten Zwecke erreicht werden. Dies wird in der spezifischen Interpretationsleistung des Konzertbeispiels ebenso deutlich wie in der spezifischen Leistung des aus Komponenten zusammengesetzten IT-Systems.

Die hohe zusätzliche Leistung, die bei letzterem in der Entwicklung einer *Systemarchitektur* liegt und damit die zusätzliche Unterscheidung zwischen *Systemtemplate* (Klasse) und *Systeminstanz* (Objekt) nahelegt, bleibt weiter auszuloten, zumal sich dabei Systembildungsprozesse ihrerseits in System-Komponenten-Dichotomien auf einer höheren Abstraktionsebene (etwa auf der Ebene von Geschäftsprozessen) einordnen lassen.

6 Organisation in lebenden Systemen

Literatur: (Mingers 1989), (Ulanowicz 2009)

6.1 Vorbemerkungen

Strukturiertes Handeln geht von der Grundannahme aus, dass die Wirklichkeit zwar gelegentlich chaotisch erscheint, aber selbst strukturiert ist, womit eine grundlegende epistemische Frage darin besteht, Beschreibungsformen zu finden, mit denen diese Strukturiertheit adäquat erfasst werden kann. Zentraler Punkt ist dabei die Frage nach Beschreibungsformen für relative Stabilität sowie deren Entstehungs- und Auflösungsbedingungen.

Im Seminar versuchen wir auszuleuchten, welche Stellung ein Begriff *System* bei diesen Versuchen in verschiedenen wissenschaftlichen Zusammenhängen spielt. In den bisherigen Semina-

ren hatten wir den Systembegriff als Beschreibungsfokussierung identifiziert, mit der konkrete Phänomene durch *Reduktion auf das Wesentliche*, also durch einen submersiven Zugang, einer Beschreibung zugänglich sind. Die Reduktion richtete sich auf mehrere Aspekte

- Abgrenzung des Systems nach außen gegen eine *Umwelt*, Reduktion dieser Beziehungen auf Input/Output-Beziehungen.
- Abgrenzung des Systems nach innen durch Zusammenfassen von Teilbereichen als *Komponenten*, deren Funktionieren auf eine „Verhaltenssteuerung“ über Input/Output-Beziehungen reduziert wird.
- Reduktion der Beziehungen im System selbst auf „kausal wesentliche“ Beziehungen.

Eine grundlegende Einsicht war, dass Systembeschreibungen ähnlich dem Konzertbeispiel aus der Vorlesung im Sinne einer „Wirklichkeit im Prozess begrifflicher Erfassung“ stets auf bereits vorgefundene Beschreibungen aufsetzen. Die mit einer Systembeschreibung verbundene Reduktion setzt in diesem Sinne bestehende Beschreibungsformen auf drei Ebenen voraus, die mit der Weiterentwicklung der Beschreibung des Systems selbst (explizit oder implizit) weiterentwickelt werden sollen:

1. Eine wenigstens vage Vorstellung über die Input/Output-Leistungen der Umgebung.
2. Eine deutliche Vorstellung über das innere Funktionieren der Komponenten.
3. Eine wenigstens vage Vorstellung über Kausalitäten im System selbst, also eine der detaillierten Modellierung vorgängige, bereits vorgefundene Vorstellung von Kausalität im gegebenen Kontext.

Die Punkte 1 und 2 können ihrerseits in systemtheoretischen Ansätzen für die Beschreibung der „Umwelt“ (hierfür ist allerdings die Abgrenzung eines Obersystems in einer noch umfassenderen „Umwelt“ erforderlich) sowie der Komponenten (als Untersysteme) entwickelt werden, womit die Beschreibung von *Koevolutionsszenarien* wichtig wird, die ihrerseits für die Vertiefung des Verständnisses von Punkt 3 relevant sind.

So weit Vorbemerkungen, um die Debatte im aktuellen Seminar genauer einordnen zu können.

6.2 Lebende Systeme

Im Seminar ging es zunächst um die Frage, ob es sinnvolle Kriterien gibt, „lebende“ Systeme zu charakterisieren. Im Vergleich mit dem Phänomen der Bénard-Zellen zeigte sich, dass viele der diskutierten Abgrenzungskriterien nicht greifen, die Diskussion von „Lebendigkeit“ eher auf den Begriff „Offenes System“ führt, für das – im Sinne *dissipativer Systeme* – nicht nur Input/Output-Funktionalitäten, sondern konkrete Input/Output-Durchsätze eng an innere Systemdynamiken gekoppelt sind. Damit sind Fragen der inneren Struktur aber nicht nur an die *Funktionalität* von Input/Output gebunden, sondern hängen auch mit quantitativen Durchsatzraten zusammen.

Das bedeutet allerdings, dass für die Beschreibung von Systemen nicht nur deren struktureller Aufbau von Bedeutung ist, sondern auch Prozess-Charakteristika des Betriebs selbst zu berücksichtigen sind.

Strukturierungen in der Zeit sind auch aus physikalischen Systemen wie dem Pendel – als *Resonanzen* – gut bekannt. Dort hängen derartige zeitliche Strukturierungen (Resonanzfrequenzen) eng mit räumlichen Ausdehnungen (etwa der Pendellänge) zusammen. Zeit erscheint in solchen Systemen aber nicht als lineare Zeit, sondern als *Eigenzeiten* (Frequenzen), in denen sich Systemzustände (näherungsweise) wiederholen. Derartige Strukturmomente von Systemen spielten in den bisherigen Betrachtungen keine Rolle und werden auch im Ansatz von (Ulanowicz 2009) nicht berücksichtigt, wenn allein *Flüsse* T_{ij} zwischen Systemkomponenten betrachtet werden, nicht aber deren zeitliche Strukturierung. Eigenzeiten, deren systemische Quelle noch zu identifizieren ist, spielen eine große Rolle in der Taktung sowohl biologischer („biologische Uhr“) als auch technischer (Taktfrequenzen) Systeme und damit im koordinierten Zusammenspiel solcher Systeme.

6.3 Autopoiesis

(Mingers 1989) stellt dar, wie historisch mit dem Begriff *Lebendigkeit* versucht wurde, eine Klasse von Systemen näher einzugrenzen. Diese Beschreibungsversuche gehen von der epistemischen Annahme aus, dass jene Systeme durch ein „geheimnisvolles“ inneres Agens angetrieben werden, das Quelle der relativen Stabilität, der Strukturierung und der Reproduktionsfähigkeit des Systems ist. Mit dem Begriff der *Autopoiesis* wird dieser Gedanke der „Selbsterschaffung und -erhaltung“ von Maturana und Varela auf einen größeren Bereich von Systemen ausgedehnt, die vergleichbare prozessuale Charakteristika aufweisen.

Eine solche Unterscheidung ist problematisch, da auch bereits Bénardzellen ähnliche Charakteristika (Stabilität, Struktur, Reproduktion) aufweisen, aber klar *auch* durch externe Größen beschrieben werden können. Neben einer „autopoietischen“ Beschreibung – der Energiedurchsatz treibt das System an, die Konvektionszellen haben den „inneren Antrieb“ immer größer zu werden, werden daran jedoch durch die „äußere Konkurrenz“ anderer Bénardzellen gehindert, so dass sich „auf magische Weise“ eine „optimale“ Zellengröße einstellt – ist eine einfache physikalische Beschreibung möglich: Die „Optimalität“ hängt mit den räumlichen Charakteristika des Gefäßes auf ähnliche Weise zusammen wie die Pedelfrequenz eines Pendels mit dessen Pendellänge. Das „innere Agens“ wird zur Beschreibung also nicht benötigt.

Gleiches gilt für das Phänomen „Wetter“. Die Herausbildung von Hoch- und Tiefdrucksystemen wird durch den Sonnenwind als Energie- und Partikelstrom angetrieben, Entstehung und Drehrichtung der entsprechenden atmosphärischen Wirbel kann durch die Corioliskraft im Gravitationsfeld der rotierenden Erde beschrieben werden. Wir haben also in erster Näherung eine ähnliche Beschreibung der beobachteten Strukturierungen wie im Fall der Bénardzellen. Allerdings wird dieses System wesentlich durch einen weiteren Materiedurchsatz bestimmt – die Aufnahme und Abgabe von Wasser und die damit verbundenen Energieströme als Verdunstungs- und Kondensationswärme. Noch immer ist kein „inneres Agens“ in Sicht, die Beschreibungsformen führen aber bereits auf Modelle mit sehr komplexem (kompliziertem?) Verhalten. Moderne Wettermodelle sind noch deutlich umfangreicher, deren Geneseprozess als „Fortschreiben bereits vorgefundener Modellvorstellungen“ klar zu erkennen.

Die Beobachtungen von (Elsasser 1981), zitiert in (Ulanowicz 2009)

- Es gibt keine Regeln für die Biologie, die den Kräftegesetzen der Physik ähneln, und
- Ökosysteme sind voller einzigartiger Events, die nicht mit bekannten statistischen Tools behandelt werden können,

erscheinen mit Blick auf das Phänomen „Wetter“ zumindest zweifelhaft, da wir es dabei

- mit einem komplexen Wechselspiel primär physikalischer Gesetze zu tun haben,
- die (aus denselben Gründen der kombinatorischen Variantenexplosion wie bei Elsasser) zu lokal einzigartigen Wetterphänomenen führen, die dennoch mit klaren Komponentenkonzepten wie „Hoch“ und „Tief“ („Organisation“ bei Maturana/Varela) sowie Instanzierungen, Dynamiken und Interdependenzen von Ausprägungen derartiger Komponenten („Strukturen“ bei Maturana/Varela) ohne ein „inneres Agens“ beschrieben werden können.

Im Gegenteil, das Postulat eines solchen „inneren Agens“ weist eher auf Defizite der Modellierung hin, dass wesentliche Zusammenhänge der durch Input/Output-Ströme getriebenen Dynamik (noch) nicht erfasst sind.

6.4 Autokatalyse

Ein weiteres wichtiges Konzept in (Ulanowicz 2009) ist das der Autokatalyse. Dieses Konzept spielt auch in der Theorie Dynamischer Systeme eine wichtige Rolle, etwa als chemische Autokatalyse in der Belousov-Zhabotinski-Reaktion. Derartige autokatalytische Prozesse spielen im Stoffwechsel „lebender“ Materie eine herausragende Rolle – von der noch aus der Schule bekannten Beschreibung des Energiestoffwechsels einer Zelle über hormonelle Austauschprozesse zwischen verschiedenen spezialisierten Zellen in mehrzelligen Organismen bis hin zu autokatalytischen Prozessen zwischen Zellgruppen (Organen), an deren Vermittlung selbst Zellen (Blutzellen, T-Zellen, Lymphzellen) beteiligt sind. Wir erkennen an den wenigen Beispielen bereits eine Verschränkung autokatalytischer Vorgänge auf verschiedenen Zeitskalen, womit sich die argumentative Einführung in Maturana/Varela am Beispiel von Prozessen *innerhalb* einer Zelle in (Mingers 1989) als sehr speziell erweist.

Natürlich steht die Frage, ob die genannten Prozesse auf jeder dieser Ebenen als „autokatalytisch“ durchgehen. Zumindest im Sinne positiver Feedback-Kreisläufe wie in (Ulanowicz 2009) ist dies zu bejahen. Allerdings bleiben dort wesentliche Charakteristika autokatalytischer Prozesse ausgeblendet, die in der Theorie Dynamischer Systeme eine wesentliche Rolle spielen:

1. Autokatalytische Prozesse haben eine *Eigenzeit* und sind damit sowohl Quelle eigener Taktraten als auch Phänomenen der Resonanz und Dissonanz gegenüber getakteten Input/Output-Beziehungen unterworfen.
2. Positive Feedback-Kreisläufe führen – für sich genommen – in der Regel zu exponentiellem Wachstum. Stabilität autokatalytischer Prozesse ist also nur dann zu erklären, wenn auch der begrenzende Faktor identifiziert wird, der sich meist aus den Input/Output-Beziehungen ergibt, in welche das autokatalytische System eingebunden ist.
3. Diese externen Dynamiken, welche das Wachstum autokatalytischer Systeme begrenzen, sind oft selbst Teil eines autokatalytischen Systems.

Zu Punkt 2 ist zu bemerken, dass exponentielles Wachstum insbesondere aus linearen Differentialgleichungen resultiert, in denen der Zuwachs proportional zur bereits vorhandenen Substanz ist. Nichtlineare Differentialgleichungen können auch zu Systemen führen, deren Größe durch innere Parameter bestimmt sind. Dieses Phänomen spielt insbesondere bei *Solitonen* eine wichtige Rolle.

Die im Punkt 3 thematisierte Verschränkung von Mikro- und Makroevolution wird in der Theorie Dynamischer Systeme intensiv untersucht, insbesondere wenn die Zeitskalen der Eigenzeiten von Mikro- und Makrosystem weit auseinander liegen. Dann kann auf kleinen Zeitskalen der durch das Makrosystem induzierte Durchsatz als Input/Output bei der Analyse der Dynamik der Mikrosysteme als konstant betrachtet werden. Umgekehrt kann auf der Makroskala davon ausgegangen werden, dass sich Volatilitäten auf der Ebene der Mikrosysteme „ausmitteln“ und damit keine Bedeutung haben, das Mikrosystem als sich auf einer Attraktorlage bewegend angesehen werden und dessen Verhalten damit „deterministisch“ modelliert werden kann.

7 Resilienz

Literatur: (Holling 2000), (Walker 2004), **Zusatzliteratur:** (Brand 2007)

7.1 Stadt als System

An dieser Fragestellung ist besonders deutlich zu sehen, was „Wirklichkeit für uns als Wirklichkeit im Prozess begrifflicher Erfassung“ bedeutet. Eine *konkrete Stadt* ist zunächst eine Lebenswirklichkeit, die als „Wirklichkeit für uns“ bereits konzeptionell (im Begriff „Stadt“) grob abgegrenzt ist. Diese Lebenswirklichkeit wird als strukturiert wahrgenommen, was in diesem Fall (eines kulturell überformten Systems) nicht nur eine epistemische Annahme ist, sondern auf einer Praxis aufsetzt, die auf der Basis bereits vorhandener strukturierter Beschreibungsformen die Wirklichkeit nach diesem Vorbild zu strukturieren versucht.

Oben wurden für Systembeschreibungen die folgenden *drei Reduktionsdimensionen* als „Reduktion auf das Wesentliche“ thematisiert:

- Abgrenzung des Systems nach außen gegen eine *Umwelt*, Reduktion dieser Beziehungen auf Input/Output-Beziehungen.
- Abgrenzung des Systems nach innen durch Zusammenfassen von Teilbereichen als *Komponenten*, deren Funktionieren auf eine *Verhaltenssteuerung* über Input/Output-Beziehungen reduziert wird.
- Reduktion der Beziehungen im System selbst auf *kausal wesentliche Beziehungen*.

Eine konkrete Stadt wie Leipzig ist ein „System von Systemen“ in dem Sinne, dass es im Heute vielfältige vorgefundene Beschreibungs- und auch Handlungssysteme gibt, die in einem Konzept „Stadt Leipzig als System“ als Komponenten zu betrachten sind, deren Beschreibungen im Sinne von (2) in die Beschreibung des „Systems Stadt Leipzig“ als über ihre Input/Output-Beziehungen einer Verhaltenssteuerung zugänglich eingehen. Ebenso ist die Abgrenzungsdimension (1) von außen verständlich als – in erster Näherung – der nicht weiter beeinflussbare

Input/Output aus landes- und bundespolitischer Ebene, über den das „System Stadt Leipzig“ Objekt externer Verhaltenssteuerung ist. Weniger klar ist die Reduktion der Beziehungen (3) – hier geht zentral die Frage ein, welche Beziehungen als „wesentlich“ zu betrachten sind. Dies ist eng mit dem Zweck der Systembeschreibung zu verbinden. Dies kann (für Leipzig) zum Beispiel der praktische Erstellungs- und Abstimmungsprozess zum Integrierten Stadtentwicklungskonzept INSEK2030¹⁸ als politisch vereinbarter Vision der Stadtentwicklung sein.

Liegt eine größere Zahl solcher Beschreibungen konkreter „Städte als System“ vergleichbarer Strukturierung vor, so kann zur Modellierung eines *Templates* „Stadt als System“ übergegangen werden, um die Erfahrungen der bisherigen konkreten Systemmodellierungen zu systematisieren und damit zukünftige Stadtmodellierungen zu erleichtern. Technisch gesehen ist eine solche *Templatisierung* mit einer *Standardisierung* und damit einer *Institutionalisierung* der konkreten Modellierungsprozesse verbunden. Damit sind zugleich die divergenten und die konvergenten Phasen der Modellierungsaktivitäten in Fortschreibung bereits existierender Beschreibungsformen thematisiert. Eine solche vergleichende Betrachtung der Modellierungen verschiedener Stadtsysteme wird erst möglich, wenn zu einem *Obersystem* übergegangen wird. Erst in einem solchen vergleichenden Kontext verschiedener Praxen können die dafür erforderlichen sprachlichen Mittel entwickelt werden.

Dies korrespondiert mit einem der zentralen TRIZ-Gesetze der Entwicklung Technischer Systeme (Lyubomirskiy 2018), der „Tendenz des Übergangs zum Obersystem“.

7.2 System von Systemen

In den bisherigen Debatten war der Fokus auf ein genaueres Verständnis des Begriffs *System* gerichtet, der als Reduktion von Komplexität in den drei oben angeführten Richtungen betrachtet werden kann. Da in diesem Verständnis Komponenten eines Systems selbst wieder Systeme sind, liegt die Betrachtung eines Systems als „System von Systemen“ nahe, wie es in (Holling 2001) thematisiert wird. Wesentliches Reduktionskriterium für Beziehungen (3) sind in solchen Systemen spezifische Eigenzeiten und Eigenräume wie in den Abbildungen 1–3 in (Holling 2001) dargestellt.

Der ebenda für einen solchen epistemischen Prozess geprägte Begriff der *Panarchie* bedarf aber einer weiteren Präzisierung durch Offenlegung und Diskussion der epistemischen Annahmen, die Hollings Argumentation zu Grunde liegen.

a) Die *erste epistemische Annahme* betrifft die Auswahl vorgefundener Systeme (Systemkomponenten), die zu einem neuen System zusammengefasst werden. Dazu heißt es in (Holling 2001:392) „semi-autonomous levels are formed from the interactions among a set of variables that share similar speed (and, we would add, geometric/spatial attributes)“. Hinzuzufügen aus einer früheren Diskussion in unserem Seminar ist der Umstand, dass diese Komponenten darüber hinaus in einem „autokatalytischen“, positiven Feedbackverhältnis stehen müssen, das allein Quelle von Wachstum und damit Entwicklung sein kann. Derartige Verhältnisse werden in anderen Kontexten als *synergetisch* bezeichnet. Die Beschreibung der zentralen Dynamik eines solchen synergetischen Verhältnisses (in welchem das Ganze mehr als die Summe seiner Teile ist) ergibt sich aus dem dynamischen Prozess der Wechselwir-

¹⁸Siehe dazu

<https://www.leipzig.de/bauen-und-wohnen/stadtentwicklung/stadtentwicklungskonzept-insek/>.

kung der Systemkomponenten, wie er in den Abbildungen 4 und 5 in (Holling 2001) dargestellt ist, während die Systemkomponenten selbst in diese Beschreibung allein durch ihre Input/Output-Charakteristika eingehen, die innere Dynamik der Komponenten aber, welche die Input/Output-Leistungen garantieren, außer Betracht bleibt. Die Systembeschreibung ist damit eine *Fiktion* im Sinne des Gebrauchs dieses Begriffs in der Vorlesung¹⁹.

Die Erklärung der Leistung eines Systems ergibt sich unter diesen epistemischen Voraussetzungen vor allem aus dem *Zusammenspiel* der Komponenten. Dieses Zusammenspiel bestimmt dann auch wesentlich Eigenzeiten und Eigenräume des Systems.

Setzt man dieses epistemische Konzept rekursiv zusammen, dann spielen Resonanzen und Dissonanzen der Dynamiken der Systemkomponenten eine wesentlich zentralere Rolle als rein quantitative Durchsatzraten. Insbesondere steht die Frage, in welchem Umfang sich in synergetischen Bindungen die Eigenzeiten von Komponenten ändern können, um resonante Kopplungen herzustellen. Im Handexperiment zum Doppelpendel habe ich einen solchen Anpassungseffekt bereits vorgeführt. Ich möchte hier ein weiteres Beispiel aus der Ökonomie anführen, das sich am Konzept der Kapitalumschlagzeiten als Eigenzeit einer systemischen ökonomischen Aktivität im heutigen Wirtschaftskontext orientiert. Die Kapitalumschlagzeit eines Straßenhändlers, der morgens auf dem Großmarkt einkauft und abends die Reste unverkäuflichere Ware entsorgt, beträgt einen Tag. Gleichwohl ist er von Obersystemen gezwungen, monatliche Bilanzen (für den Steuerberater) und Jahresbilanzen (für das Finanzamt) anzufertigen, was dem Händler weitere Aktivitäten aufzwingt, deren Eigenzeiten Vielfache der Kapitalumschlagzeit sind. Die Sache ist also einfach, wenn die Eigenzeiten auf Systemebene ein (gemeinsames) Vielfaches von Eigenzeiten der Komponenten sind. Ist dies nicht der Fall (etwa bei Kapitalumschlagzeiten von mehreren Jahren bei Investitionen), muss das System seinen Komponenten spezielle Synchronisationsleistungen zur Verfügung stellen, wie dies im konkreten Fall von Investitionen mit Abschreibungsmodalitäten geschieht, mit denen langfristig investiv gebundene Kapitale in die kurzfristigeren jährlichen Umschlagzeiten integriert werden, die das Finanzamt triggert. Das Risiko von Störungen (zu frühe faktische Außerdienststellung der Investition) bleibt dabei in der Systemkomponente (dem Unternehmen) gekapselt, das dafür ein angemessenes positives Feedback (den Profit) erhält, um das System insgesamt im Bereich synergetischer Kopplung zu halten.

Der Ansatz ist insoweit epistemisch geschlossen, als eine solche Betrachtung Eigenzeiten und Eigenräume von bereits vorgefundenen Systemen und Systembeschreibungen voraussetzt und die Modellierungsregel postuliert, dass nur Komponenten mit vergleichbaren (in dem oben prototypisch skizzierten weiten Verständnis) Eigenzeiten zu einem neuen System zusammengefasst werden, das Ausgrenzungskriterium (1) also *diesen* Punkt der Modellierung dominant beachtet.

In einem solchen Ansatz ist zugleich klar, dass die Eigenzeit des Systems deutlich größer ist als die seiner Systemkomponenten, da die Systemkomponenten gerade *nicht* mit ihrer eigenen internen Dynamik, sondern nur mit den durch diese Dynamik reproduzierten Input/Output-Charakteristika, ihrem „Verhalten“, in die Modellierung des Systems eingehen.

¹⁹Dort wird nach einigen einführenden Beispielen der Begriff *Fiktion* als „gesellschaftlich gestützter, garantierter und aufrecht erhaltener *Konsens* einer *verkürzenden Sprechweise* über eine *gesellschaftliche Normalität*“ gefasst.

Geht man weiter davon aus, dass diese epistemische Annahme der Komplexitätsreduktion auch den meisten Formen kooperativer Selbstreflexion wenigstens höher entwickelter Tierarten zu Grunde liegt und diese damit versuchen, ihre kooperativen Praxen im Takt solcher Eigenzeiten aktiv zu synchronisieren, so schlägt die epistemische Annahme in eine Bedingtheit der Möglichkeiten kooperativen Handelns „autonomer Agenten“ um. Die Dynamik der Wirklichkeit entfaltet sich als „sich selbst erfüllende Prophezeiung“ des Handelns autonomer Agenten, das als Spannungsfeld zwischen begründeten Erwartungen und erfahrenen Ergebnissen ein Zukunftsfeld vorstrukturiert und damit Handlungsräume aktiv gestaltet.

b) Die *zweite epistemische Annahme* betrifft die Beschreibungsformen der Systemdynamik selbst. (Holling 2001) geht von längeren Phasen stabiler Entwicklung bis hin zu „konservativem Verhalten“ (Phasen r und K) und kürzeren Phasen kompletten Systemumbaus (Phasen Ω und α) aus als „normale Systementwicklung“, die dort als *adaptiver Zyklus* bezeichnet wird. Die genaue beschreibungstechnische Basis bleibt im Dunkeln, die Ausführungen in (Walker 2004) weisen darauf hin, dass hier eher auf eine Beschreibung der unmittelbaren Bewegung im Phasenraum orientiert wird, die aus irgendwelchen Gründen mit *Störungen* (disturbances) aufgeladen ist. Bilder wie die Abbildungen 1a und 1b in (Walker 2004) werden allerdings dem Umstand nicht gerecht, dass wir grundsätzlich dissipative Prozesse weitab von Gleichgewichtslagen beschreiben wollen. Diese Differenz zwischen „zwei Bedeutungen des Resilienz-begriffs“ wird in (Brand 2007) klar herausgearbeitet. In einem solchen „Kontext zweiter Art“ kann ebenfalls mit Begriffen wie „Potenzialbassins“ gearbeitet werden, allerdings nur, wenn die systemischen Rückstellkräfte in der Nähe von „Fließgleichgewichten“ – also systemischen Attraktoren – modelliert werden.

Eine solche Modellierung geht epistemisch davon aus, dass die realweltliche systemische Dynamik beschreibungstechnisch in einen dominanten „verstandenen“ Basisteil und einen marginalen „unverstandenen“ Rest zerlegt werden kann. Für den Basisteil lässt sich eine genauere Dynamik beschreiben, die das System in der Nähe eines Attraktors hält (durch entsprechende Rückstellkräfte, die „Störungen“ dämpfen, allerdings nur in der Nähe des Attraktors beschreibbar rückstellend wirken). Damit kann in der Systembeschreibung erläutert werden, warum sich im System kleine Störungen nicht aufschaukeln, sondern „absorbiert“ werden. Beim Absorbieren von Störungen bewegt sich der Referenzpunkt des Systems auf dem Attraktor, das System „entwickelt sich“ (Phase r), wenn dies die lokalen Bedingungen für den Referenzpunkt auf dem Attraktor zulassen. Ein „konservierender Zustand“ (Phase K) tritt ein, wenn die Rückstellkräfte (conservation forces) das System stets auf denselben Referenzpunkt auf dem Attraktor zurückführen, etwa, weil auf dem Attraktor eine gewisse *Extremlage* erreicht ist. Da das System auf dem Attraktor nur noch eingeschränkte Entwicklungsmöglichkeiten in der lokalen Umgebung des Referenzpunkts hat, können sich Störungen so weit aufschaukeln, dass der Bereich der Wirkung der Rückstellkräfte verlassen wird und das System in einen Zustand höherer Dynamik (Phase Ω) übergeht. Im Rahmen eines *adaptiven Zyklus* wird allerdings angenommen, dass das System relativ rasch zu einem anderen Ort auf dem Attraktor findet und so – ggf. auf Kosten innerer Umbauprozesse in den Systembeziehungen oder in den Systemkomponenten – sich selbst und damit seine nach außen ins Obersystem exportierte *Funktion* stabilisiert. Die „Katastrophe“ bleibt lokal begrenzt.

Ähnliche 4-Phasen-Dynamiken (Frühling, Sommer, Herbst, Winter) sind aus der Theorie der K-Wellen bekannt und spielen auch in Schumpeters Ansatz einer „creative destruction“ sowie bei den von T.S. Kuhn untersuchten Paradigmenwechseln in der Wissenschaft eine Rolle. Das Verhalten kann auch kurz als „evolutionäre Entwicklung des Systems durch revolutionären Umbau seiner Beziehungen und Komponenten“ charakterisiert werden und ist ein wesentlicher Mechanismus, wie die systemisch lokale Begrenztheit von Umbauprozessen beschrieben werden kann.

c) Die *dritte epistemische Annahme* betrifft das Zusammenspiel der Dynamiken von System und Systemkomponenten (bzw. Obersystem und System), also die Beschreibungsform der Verschränkung von Mikro- und Makroevolution auf den jeweiligen kurzwelligen (Systemkomponenten) und langwelligen (System) Skalen.

In diesem Punkt können die Modellvorstellungen in (Holling 2001) nicht überzeugen, da ein weitgehendes Nebeneinander der Dynamiken (Abbildungen 1–3, 6) bzw. nur ein loser Einfluss (Abbildung 7) postuliert wird. Der Ansatz der Theorie Dynamischer Systeme geht von einer deutlich intensiveren Verschränkung sowohl auf der Ebene der stofflichen Flüsse als auch der Taktraten aus. Beide (sowohl die quantitativen Charakteristika des Materiedurchsatzes als auch dessen Taktung) sind wesentliche Charakteristika der *Schnittstelle* zwischen dem System und dessen Komponenten – in die Modellierung des Systems geht sie in die Beschreibung der Systemdynamik ein, in die Modellierung der Systemkomponenten als die Input/Output-Charakteristika, welche die innere Dynamik der Komponente antreiben. Wir haben damit eine *vierte Reduktionsdimension* identifiziert, die für eine beschreibungstechnische Entkopplung der Dynamiken von System und Komponenten von Bedeutung ist. Erst *nach* einer solchen Reduktion lassen sich Ebenen von Systemen wie bei (Holling 2011) sinnvoll voneinander scheiden, in denen das System auf der nächst höheren Ebene angesiedelt ist im Vergleich zu seinen Komponenten.

Holling verweist auf Simons Argumentation, „that each of the levels of a dynamic hierarchy serves two functions. One is to conserve and stabilize conditions for the faster and smaller levels; the other is to generate and test innovations by experiments occurring within a level“ (Holling 2001:393), und betont, dass die zweite Funktion die entscheidende für das Funktionieren „adaptiver Zyklen“ sei. Die eher anthropomorphe Beschreibung („Experimentieren“) dieser zweiten Funktion habe ich oben auf ein klares Verständnis in der Sprache der Beschreibungen des Systemverhaltens relativ zu seinem Attraktor zurückgeführt. Mit der ersten Funktion wird behauptet, dass jedes System die Kapazität hat, stabilisierend auf die Dynamiken der kurzwelligeren Systemkomponenten zu wirken – dieser Effekt wird in der Theorie Dynamischer Systeme auch als *Versklavungseffekt* bezeichnet. Dies wird allerdings durch die „panarchical connections“ (Holling 2001:Abbildung 7) konterkatiert, in der nicht nur eine Wirkung *remember* im Sinne dieser „ersten Funktion“ postuliert wird, sondern auch eine weitere Funktion *revolt*, mit welcher die Komponenten Einfluss auf die Adaptivität des Systems nehmen.

Die epistemische Kausalität der Beschreibungslogik des Ansatzes „System von Systemen“ geht von längerwelligen großräumigeren Dynamiken zu kurzwelligeren kleinräumigeren Dynamiken und ist deshalb wenig sensitiv für den zuletzt beschriebenen Stabilisierungseffekt in der umgekehrten Richtung. Im Kontext meines Handexperiments zum Doppelpendel hatte ich aber darauf hingewiesen, dass etwa die Bemühungen eines Kindes, eine Schaukel durch

rhythmische Schwerpunktverlagerungen in Schwingung zu versetzen, genau einen solchen Einfluss demonstriert. Auch das Konzept „Abschreibungen“ weist in die umgekehrte Richtung einer Integration langwelliger Phänomene in Systeme mit kürzeren Eigenzeiten. Wir haben überhaupt *nur* über derartige Mechanismen heute die Möglichkeit, die großräumigen Probleme, die unsere Wirtschaftsweise planetar verursacht, in den Griff zu bekommen.

7.3 Resilienz und Panarchie

(Brand 2007) betont, dass der Begriff *Resilienz* in den Debatten vielfach überladen ist. Im Kontext der Betrachtung dissipativer Systeme („the second kind of resilience to which we refer in this text“ – Brand 2007) werden allein zehn Ansätze aus der Literatur aufgelistet, mit denen Resilienz „with respect to the degree of normativity“ gefasst wird. Resilienz ist damit ein sehr problematischer Begriff, insoweit vorn bereits „Normativität“ hineingesteckt wird, die hinten als Option politischen Handelns wieder herauskommen soll. Ein solcher Beschreibungsansatz muss nicht verkehrt sein, wenn er mit dem Henne-Ei-Problem, das er in sich trägt, sauber – also dialektisch im Sinne der Weiterentwicklung vorgefundener Verhältnisse – umgeht.

Resilienz ist dabei im Sinne von „Widerständigkeit“ zu verstehen, die einerseits die Fähigkeit zu relativer Stabilität, aber andererseits die Fähigkeit auch zu radikalem Umbau umfasst, ohne die Qualität der Input/Output-Beziehungen in der eigenen Umwelt sowohl quantitativ als auch qualitativ in Frage zu stellen. So heißt es in (Walker 2004) „resilience is the capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure, identity, and feedbacks.“ Resilienz ist in diesem Sinne also die (zunächst qualitative) Fähigkeit eines Systems, seine Input/Output-Charakteristika als funktionale Rolle in Obersystemen auch unter Bedingungen eines möglichen systeminternen Umbaus beizubehalten. Eine halbe Seite vorher wurde noch eine „major distinction between resilience and adaptability, on the one hand, and transformability on the other“ thematisiert, so dass möglicherweise auch noch zwischen einer „transformability“ im Kontext von Resilienz und einer solchen jenseits dieses Kontexts zu unterscheiden ist. Letztere wäre dann Teil eines umfassenderen Umbauprozesses auch in höheren „levels“, wie sie Holling etwa mit seinem „Sternchenbeispiel“ (Holling 2001:Abbildung 9) thematisiert.

Zunächst steht allerdings die Frage, ob Resilienz eine allein qualitativ fassbare *Fähigkeit* oder doch eine, dann auch quantifizierbare *Kapazität* ist. Für Holling sind es zunächst die drei zu quantisierenden Eigenschaften adaptiver Zyklen (also von Systemen in unserem Verständnis)

- inhärentes Änderungspotenzial (wealth),
- interne Kontrollfähigkeit (controllability) und
- adaptive Kapazität oder Resilienz (adaptive capacity),

mit denen ein Maß für eine *potenzielle* Widerständigkeit (Resilienz?) definiert werden soll, welches einem einzelnen System als globale Zahl (?) zugeordnet werden kann.

Wir hatten bereits oben gesehen, dass derart generalisierende „emergente“ Parameter aus Sicht der Theorie Dynamischer Systeme wenig aussagefähig sind, wenn nicht das Potenzial der lokalen Dynamik um den Referenzpunkt des aktuellen Systemzustands auf dem Attraktor mit in die Betrachtung einbezogen wird. Das geschieht in (Holling 2001) mit einem 4-Phasen-Modell, womit „Widerständigkeit“ aber schon abhängig vom aktuellen Systemzustand wird.

Eine Quantifizierung von Widerständigkeit in einem solchen Verständnis ist insbesondere nach einer Reorganisation des Systems in einer α -Phase vollkommen neu zu bestimmen, da sich der Referenzpunkt des Systems auf dem Attraktor dann weit entfernt vom ursprünglichen Referenzpunkt befindet.

Fasst man Resilienz als substantiviertes Adjektiv, so steht mit aller Schärfe die einfache Frage, *wovon* es denn eine Eigenschaft sei. Um sich dieser Frage zu nähern, führt Holling den Begriff der *Panarchie* als „representation of a hierarchy as a nested set of adaptive cycles“ ein, wobei „the functioning of those cycles and the communication between them determines the sustainability of a system“. Wir sind also mit einem noch einmal anderen Systembegriff konfrontiert, der diesmal bereits die gesamte Panarchie umfasst sowie der Frage, in welchem Verhältnis die hier möglicherweise synonym gebrauchten Begriffe *resilience* und *sustainability* stehen. Zur Klarheit der Begriffe bezeichne ich im Weiteren diese Abstraktionsebene der Betrachtungen, die etwa in den Abbildungen 7 und 9 in (Holling 2001) eine Rolle spielt, als *Panarchie* – in (Brand 2007) auch als *Metasystem* bezeichnet – und reserviere die Bezeichnung *System* für die bisher eingenommene Abstraktionsebene, in der *adaptiver Zyklus* für die Beschreibung der Dynamik dieses Systems auf einer hohen Abstraktionsebene steht.

Wie bereits oben ausgeführt ist eine solche *Panarchie* als Beschreibungsform ein Zusammenspiel von Systembeschreibungen auf verschiedenen „Ebenen“ (levels), die im Sinne der oben beschriebenen *vierten Reduktionsdimension* durch entsprechende API-Strukturen „kommunikativ“ verbunden sind, deren epistemische Charakteristik sich in der Dichotomie von Spezifikation und Implementierung klassischer API-Strukturen der Informatik wiederfindet. Damit ist aber eine Panarchie keineswegs ein „nested set of adaptive cycles“, sondern – wie bereits oben genauer erläutert – eine Beschreibungsstruktur ineinander greifender adaptiver Zyklen, die nach demselben epistemischen Reduktionsschema rekursiv ausgeführt sind und auch zu einer realweltlichen Strukturierung führen, wenn kooperative Subjekte diese Beschreibungsformen als Basis ihrer Handlungsvollzüge nehmen.

Entsprechend werden in (Walker 2004) vier „crucial aspects of resilience“ genannt:

- Latitude: Wie weit sind kritische Punkte (threshold) voneinander entfernt?
- Resistance: Wie „widerständig“ ist ein System gegen Veränderung, wie „schnell“ bewegt es sich im Phasenraum?
- Precariousness: Wie nahe ist der Systemzustand am nächsten kritischen Punkt?
- Panarchy: Welche „cross-scale interactions“ haben Einfluss auf das System?

Diese Begriffe lassen sich in der Theorie Dynamischer Systeme deutlicher in der Sprache systemischer Eigenzeiten und Eigenräume fassen.

Mit den beiden Pfeilen „revolt“ und „remember“ in (Holling 2001:Abbildung 7) wird suggeriert und ebenda auf S. 402 explizit postuliert, dass der Begriff Resilienz überhaupt nur unter Betrachtung von drei konsekutiven „Ebenen“ einer Panarchie gefasst werden kann (was im Übrigen sehr genau mit dem 9-Felder-Ansatz von TRIZ zusammenpasst). Das ist allerdings unzutreffend, da „revolt“ und „remember“ auch als nichtfunktionale Eigenschaften der Schnittstellen zwischen den Ebenen als Teil einer sinnvoll ausgeführten Reduktion entlang der oben thematisierten vierten Reduktionsdimension und damit als Teil der Systembeschreibung

selbst gefasst werden können (zu der ja die Spezifikation der Schnittstellen des Gesamtsystems sowie der Schnittstellen der Systemkomponenten gehört).

Die weiteren Fragen in den drei Aufsätzen, in welchem Umfang Resilienz durch konkrete menschliche Akteure praktisch steuernd beeinflusst werden kann, lässt sich erst auf der Basis eines ausreichend entfalteten Technikbegriffs sinnvoll diskutieren. In (Holling 2001) werden drei zusätzliche „features“ Vorausschau, Kommunikation und Technologie aufgeführt, mit denen „human systems“ (was das auch immer ist, ich bevorzuge den Begriff „kooperative Subjekte“, denn nur solche sind handlungsfähig) ihren Einfluss auf die Frage der Resilienz von Systemen erhöhen können, insbesondere auf „Charakter und Lage der Variabilität innerhalb der Panarchie“, um damit „das Potenzial der Panarchie selbst drastisch zu erhöhen“ (ebenda, S. 401). Damit wandert der Resilienz-Begriff (falls es sich noch immer um diesen handelt) von der Ebene der Systeme zum „Metasystem Panarchie“. Die drei neuen „features“ liegen allerdings irgendwie quer zu den drei Dimensionen „gesellschaftliches Verfahrenswissen“, „institutionalisierte Verfahrensweisen“ und „privates Verfahrenskönnen“ des Technikbegriffs der Vorlesung. Auf jeden Fall sind sie Teil eines weiteren einer Beschreibung zugänglichen Systems – des Systems der Reproduktion des Wissens der Menschheit. Diese Fragen werden in drei weiteren Aufsätzen (Stollorz 2011), (Helfrich 2011), (Dobusch 2011) aufgegriffen.

8 Organisation in komplexen adaptiven Systemen

Literatur: (Ashby 1958), (Boisot 2011), **Zusatzliteratur:** (Holland 2006), (Jacobasch 2019)

In der VDI-Richtlinie 3780 wird der Technikbegriff unter folgenden drei Dimensionen gefasst:

- die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme),
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.

Im Begriff *technisches System* (ist dies identisch mit dem hier verwendeten Begriff des „Sachsystems“?) kommt eine weitere Dimension des Systembegriffs zum Tragen – seine praktische Bedeutsamkeit für strukturiertes Handeln in der bürgerlichen Gesellschaft. Mit dem Ansatz *agentenbasierte Systeme* wird diese Dimension in (Holland 2006) angerissen, auch wenn dort unter dem Begriff *classifier system* eine extrem signaltheoretisch geprägte Theorie entwickelt wird, in der derartigen „Agenten“ nur eine sehr eingeschränkte Fähigkeit zur Handlungsstrukturierung zugebilligt wird.

Der in der Vorlesung entwickelte Begriff der *Fiktion* als „gesellschaftlich gestützter, garantierter und aufrecht erhaltener Konsens einer verkürzenden Sprechweise über eine gesellschaftliche Normalität“ rückt die Herstellung und Aufrechterhaltung dieser *Normalität* und damit die gesellschaftlichen Bedingungen des *Funktionierens* technischer Systeme in den Fokus. Technische Systeme sind damit nicht nur zu *beschreiben*, sondern auch zu *betreiben*.

Der Betrieb eines solchen Systems spielt sich nicht (nur) auf der Beschreibungsebene ab, sondern greift unmittelbar in Prozesse der realen Wirklichkeit ein. Er ist damit eingespannt in das allgemeine praktische Verhältnis zwischen den aus den Beschreibungsformen abgeleiteten *begründeten Erwartungen* und den in der praktischen Umsetzung *erfahrenen Ergebnissen*.

Der Ansatz agentenbasierter Systeme geht davon aus, dass die *Strukturierung praktischen Handelns* der bisher indentifizierten Beschreibungstechnik einer reduktionistisch konstituierten Strukturierung in Systeme folgt. Ein solcher Ansatz geht damit davon aus, dass Systeme die *Form* sind, in welcher institutionalisierte Verfahrensweisen als wichtiges Element einer sozio-technisch strukturierten Wirklichkeit in Erscheinung treten. Technische Systeme haben damit *Zwecke* und *Betreiber*, die als kooperative Subjekte innerhalb bürgerlicher Verhältnisse verantwortungsbeladen die oben thematisierte *Normalität* herstellen und damit für die Geschlossenheit „adaptiver Zyklen“ einschließlich gelegentlich auftretender „Umbauphasen“ im jeweiligen System *verantwortlich* sind.

Über die API eines solchen Systems lassen sich also nicht nur mögliche Differenzen und Probleme der *Modellierung* des Betriebs eines solchen Systems gegen einen Attraktor und damit die *theoretische* Reaktion auf *imaginierte* Störungen kommunizieren, sondern ebensolche *Erfahrungen* aus der direkten Konfrontation der Systembeschreibung als begründete Erwartungen mit den real erfahrenen Ergebnissen. Damit rückt der Systembegriff aber näher an menschliche kooperative Praxen.

Damit werden zugleich die impliziten Voraussetzungen von (Ashby 1958) deutlich, der Systeme voraussetzt, die zu bewusst ausgewählten Reaktionen fähig sind und darüber entsprechende Kanalkapazitätsberechnungen anstellt, die hier nicht weiter von Interesse sind, da sie von sehr groben Annahmen über die innere Struktur jener Beschreibungsformen ausgehen, in der die Reaktionsfähigkeit systemintern (unter Einbeziehung eines Systemgedächtnisses, das bei Ashby überhaupt keine Rolle spielt, in der Theorie agentenbasierter Systeme aber schon) prozessiert wird.

In (Boizot 2011) werden weitere Ansätze entwickelt, wie die Fähigkeit eines solchen Systems in Bezug auf die Bewältigung externer Störungen durch interne Systemreaktionen beschrieben werden kann. Als grundlegender Ansatz werden zwei weitgehend unstrukturierte Phasenräume externer Störungen (variety of stimuli) sowie interner Reaktionen (variety of responses) betrachtet und mit den Begriffen „Ashby line“ und „adaptive frontier“ zwei grundlegende Mechanismen postuliert, die zur Überforderung des Regulationspotenzials eines Systems führen – die Masse der Störungen übersteigt die Masse der Reaktionen des Systems (ebenda, Abbildung 16.1) und die Frequenz der Störungen übersteigt die Frequenz der Reaktionsfähigkeit des Systems (ebenda, Abbildung 16.2).

Diese stark spekulativen Ansätze werden in (Mann 2019) weiter vertieft und in den Kontext moderner TRIZ-Entwicklungen gestellt.

9 Institutionelle Analyse sozio-ökologischer Systeme

Literatur: (Ostrom 2007), (Anderies 2004)

Während in der ersten Seminarterminen vor allem Systemdynamiken ohne menschliches Zutun betrachtet wurden (wobei dieses menschliche Zutun auch als Ergebnis einer „Reduktion auf das Wesentliche“ ausgeblendet worden sein kann), rückten im letzten Seminar mit dem

Ansatz *agentenbasierter Systeme* erstmals Systeme in den Fokus, deren innere Dynamik eng mit menschlichem Handeln verbunden ist. Wir haben dabei festgestellt, dass derartige Systeme zusätzlich mindestens noch mit einer *Zweck-Mittel-Perspektive* aufgeladen sind.

9.1 Noch einmal zum Systembegriff

Derartige Systeme spielen im TRIZ-Kontext als *Technische Systeme* (klassische TRIZ-Terminologie), *Engineering Systems* oder *man-made systems* (Souchkov 2014) eine zentrale Rolle, wobei Menschen hier sowohl als Subjekte des Handelns als auch als Objekte der Systemdynamik in Erscheinung treten. Diese drei begrifflichen Ansätze nehmen dabei ihrerseits Reduktionen der Rolle menschlichen Handelns auf unterschiedliche Weise vor.

Der Ansatz *Technische Systeme* – zusammen mit dem grundlegenden TRIZ-Prinzip der Idealität, dass eine gewünschte Funktion im Idealfall „von selbst“, gänzlich ohne System zur Verfügung steht – betont den äußeren Standpunkt des Menschen im Design des entsprechenden Systems, während es für Menschen als Objekte der („Von-Selbst“-)Wirkung keinerlei Entrinnen aus der Systemdynamik gibt, wie schwierig diese sich für sie auch darstellen mögen.

Die Modifikation zum *Engineering System*, wie sie mit dem Ansatz von „Trends of Engineering System Evolution“ (TESE) etwa in (Lyubomirskiy 2018) mit der unterstützenden Autorität der MATRIZ präsentiert wird, rückt den Systembegriff näher an den Technikbegriff der VDI-Richtlinien heran, in denen die folgenden drei Dimensionen betont werden:

- die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme),
- die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und
- die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden.

Damit wird eine deutlichere Verbindung des Systembegriffs mit menschlichen Praxen thematisiert, in denen ein Netzwerk von Zweck-Mittel-Verhältnissen einem Netzwerk von Systembeziehungen gegenübersteht, was genauer beschreibungstechnisch zu fassen bleibt. Die VDI-Definition rückt dabei die Zweck-Mittel-Beziehungen in den Vordergrund und bleibt mit dem Ansatz „Menge von Systemen“ (oder sogar „Gebilden“) vage in der Frage der Beziehungen der Systeme zueinander, während der TESE-Ansatz die traditionell starke Strukturierung des Systembegriffs der klassischen TRIZ in „Gesetzen und Trends der Entwicklung technischer Systeme“, insbesondere in der Betrachtung des Verhältnisses von System und Obersystem(en), übernimmt, in der Betrachtung systemübergreifender ingenieurtechnischer Praxen aber noch Entfaltungsmöglichkeiten hat.

Der Ansatz *man-made systems* schießt begrifflich über das Ziel hinaus, da er – wenigstens in der unmittelbaren Bedeutung der Worte – die naturgesetzliche Kontextualisierung der Bedingungen menschlichen Handelns bei einer „Reduktion auf das Wesentliche“ ausblendet. In dieser Beschränkung steht ein solcher Ansatz aber in eigentümlicher Nähe sowohl zu den Bemühungen und die Formierung eines Konzepts von *Resilienz* als auch zu den Konzepten, die in (Ashby 1958) und (Boisot 2011) für eine Systembewertung auf der Basis rein quantitativer Verhältnisse von Störungsdruck und Reaktionsvermögen diskutiert wurden. Auf diesem Hintergrund sind auch die beiden Aufsätze (Ostrom 2007) und (Anderies 2004) zu bewerten.

In beiden Aufsätzen geht es darum, recht einfach gehaltenen Ansätze agenten-basierter Systeme, wie etwa in (Holland 2006) zu finden, mit der realen Komplexität institutionalisierter menschlicher Handlungsvollzüge zu konfrontieren. In (Ostrom 2007) wird dazu ein komplexes *System von Parametern* zur Bewertung sozial-ökologischer Systeme vorgeschlagen.

In (Anderies 2004) wird ein *grobes Modell* vorgeschlagen, auf das sich das Verhältnis von Ressourcen und Ressourcennutzern im Kontext einer Infrastruktur und deren Bewirtschaftung in solchen kulturell-institutionell überformten konkreten sozial-ökologischen Systemen abbilden und damit vergleichbar machen lässt.

Streitpunkt unserer Diskussion blieb insbesondere die Frage, ob sich in einem solchen Ansatz der Übergang von Institutionalisierungsprozessen zu institutionalisierten Strukturen ausreichend leistungsfähig darstellen lässt oder hierfür nicht bereits schon zum Obersystem einer umfassenderen Betrachtung kultureller Entwicklungen übergegangen werden muss.

In der Diskussion spielte auch der Begriff *Ideologie* eine Rolle, was hier in den Kontext der bisherigen Debatte gestellt und näher erläutert werden soll.

Wir hatten den Systembegriff als eine beschreibungstechnische „Reduktion auf das Wesentliche“ in vier (genauer beschriebenen) epistemischen Dimensionen identifiziert, der in Strukturen, die zu ausgeprägtem Zweck-Mittel-Denken fähig sind und damit einen Prozess des Abgleichs zwischen Planungs- und Handlungsstrukturen kennen, auch für praktisches Handeln leitend ist und damit zu einer entsprechenden Strukturierung auch der Wirklichkeit führt. Im Gegensatz zu den verschiedenen systemischen Beschreibungsstrukturen, die weitgehend unabhängig voneinander sind – die Beschreibung der Beziehungen *zwischen* diesen Systemen, insbesondere zwischen einem System und seinen Komponenten, ist auf die Beschreibung von Input/Output-Verhalten reduziert – gibt es in den realweltlichen Strukturierungen massiv „versteckte“ (also der Reduktion zum Opfer gefallene) Abhängigkeiten auch über Systemgrenzen hinweg. Diese Abhängigkeiten sind umso gravierender, je ungenauer und inadäquater die Systemmodellierung ist.

Dies ist bei der Bewertung sozial-ökologischer und sozial-technischer Systeme zu beachten, deren Mittel- und Ausgangspunkt oft Zweck-Mittel-Verhältnisse sind, also (meist aus einem Obersystem inferierte) Vorstellungen und Beschreibungsformen, was erreicht werden *soll*. Eines der Hauptprobleme der ökologischen Krise besteht darin, dass in den letzten 200 Jahren im Zuge der industriellen Revolution ein System von sozio-technischen Systemen (vor allem als *Institutionen*) entstanden ist, das weitgehend dem Paradigma der „Ausbeutung der Natur“ folgt, in dem also die Zweck-Mittel-Verhältnisse als Beschreibungsformen eine hohe Dominanz in der Systemmodellierung haben. Das gilt insbesondere auch für die Beschreibung der Input/Output-Beziehungen derartiger Systeme, die einmal zur Steuerung der inneren Stabilität und zum anderen zur Stabilisierung des äußeren Kontexts, des eigenen „Handlungsraums“ dienen.

Hierbei hat sich ein ganzes Netz von Systemen und Beziehungen zwischen Systemen aufgebaut, das stärker auf die Konservierung bestehender Zweck-Mittel-Vorstellungen ausgerichtet ist als auf eine angemessene Integration realweltlicher Entwicklungen, und auch in der eigenen Handlungsdimension diesen Konservatismus perpetuiert. Dies gilt nicht nur für das politische System der DDR in ihrer Endphase, sondern auch für das Bienensterben, das in (Jacobasch 2019) genauer analysiert wird. Obwohl hier massive Gefahren für umfassendere Ökosystemstrukturen, die auf Bestäubung durch Insekten aufbauen, auch beschreibungstechnisch klar auf dem Tisch liegen, entwickelt ein System selbstbezüglicher Systembeschreibungen

gen um das Thema „Glyphosat“ herum, das auch wesentlich für die Legitimierung politischer Entscheidungsprozesse ist, als Netzwerk von Systemen ein starkes Beharrungsvermögen, da genau jene Informationen über die netzwerkinternen Input-/Output-Spezifikationen nicht angemessen kommuniziert werden können und damit für die konkrete Dynamik des Netzwerks von Systemen ohne Folgen bleibt.

Das „Netzwerk von Systemen“ als eigenes System hat auch unzureichende Reflexionsstrukturen auf Systemebene und kann diese enmergente Entwicklung nicht systemintern darstellen. Derartige Phänomene sind bei der Betrachtung der Robustheit im Sinne von (Anderies 2004) zu berücksichtigen.

9.2 Zu Dynamiken sozio-ökologischer Systeme

Auf der Basis eines groben konzeptionellen Modells sozio-ökologischer Systeme (SES) mit den vier Komponenten *Ressourcen*, *Ressourcennutzer*, *Öffentliche Infrastruktur* und *Infrastrukturbetreiber* werden in (Anderies 2004) Beispiele von Entwicklungspfaden zusammengetragen, die nun noch etwas genauer besprochen werden sollen.

Am Beispiel *Straßenbau* wird zunächst argumentiert, dass ein wesentlicher Eingriff in die bestehende Struktur in der Regel zu wesentlichen Veränderungen auch bestehender soziokultureller Gleichgewichte führt (Vereinfachen von Wegzügen, regionaler wirtschaftlicher Abschwung, Umwandlung einer Region in einen Satelliten in umfassenderen regionalen Ausdifferenzierungsprozessen).

Am Beispiel der *Bewässerungssysteme in Bali* wird weiter gezeigt, in welchem Umfang austarierte und historisch gewachsene informelle vorkapitalistische Systeme der Infrastrukturbewirtschaftung durch eine Kapitalisierung – und sei es in einer „grünen Revolution“ – und Bürokratisierung unter Druck geraten, ohne dass „wissenschaftlich fundierte“ Regulierungsformen auf der Basis formalisierter Modelle auch nur annähernd so erfolgreich in den Vollzugsformen sind wie die alten soziokulturellen Ansätze.

Insgesamt hat der Wechsel in den ökonomischen Formen großen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit von SES; diese Systemstrukturen müssen mit transformiert werden. Damit bestätigt sich auch hier die *Marxsche These vom Primat der Ökonomie*.

Der Übergang von direkter informeller Regelung in vorkapitalistischen Zeiten zu indirekten Regulierungen über Geldformen führt schnell zur Intransparenz von Wirkzusammenhängen und hebt komplexe Interdependenzlogiken aus. Damit wird es zunehmend einfach, auch *Betreiberrenten* zu etablieren. Praktisch wird versucht, dem durch staatliche Infrastrukturüberwachung („Netzagenturen“) zu begegnen. Marx spricht in dem Zusammenhang vom *Widerspruch zwischen den Interessen des Gesamtkapitals und der Einzelkapitale*.

Probleme nach dem Übergang zu kapitalistischen Bewirtschaftungsformen von Infrastrukturen entstehen vor allem dann, wenn sich das Kosten-Nutzen-Verhältnis durch Private defizitär entwickelt. Dieses Phänomen ist inzwischen auch gut bekannt aus ÖPP-Projekten und der Frage, ob Staaten pleite gehen können²⁰. Nach kapitalistischer Logik ist in einem solchen Fall die ökonomische Aktivität abzuwickeln, was die privaten Gewährsträger dann auch tun, ggf. durch *Insolvenz*. Die Aktivität kann aber nicht abgewickelt werden, da die öffentliche Infrastruktur benötigt wird. In der Regel wird dann nach der „öffentlichen Hand“ gerufen

²⁰Siehe dazu <https://de.wikipedia.org/wiki/Staatsbankrott>.

– die Zeche bezahlt der Steuerzahler, Verluste werden „sozialisiert“ – oder die Leistungen fallen an einen „Grundversorger“ mit deutlich anderen Preisstrukturen zurück. Typisches Begleitphänomen ist der *Verfall der Infrastruktur* durch Deinvestment, bevor es zum Krach kommt.

Widersprüche treten auch auf zwischen der (technischen) Betriebslogik und der (betriebswirtschaftlichen) Betreiberlogik, da hierbei unterschiedliche Zeit-, Raum- und Kausalhorizonte eine Rolle spielen. Insbesondere kann das wissenschaftlich-technische *Beschreibungsmodell* als Basis der Handlungsvollzüge mehr den ökonomischen Wunschvorstellungen folgen als den realweltlichen kausalen Zusammenhängen und damit zum Zusammenbruch der realweltlichen Reproduktionsstrukturen führen (Ω -Phase des adaptiven Zyklus). Da die Wirkung jenseits einer Triggerschranke sehr schnell an Fahrt gewinnt, spielt vorher oft der Aufbau einer ideologischen *Scheinwelt* eine Rolle, die trotz entsprechender realweltlicher Signale eigene interne Stabilisierungsmechanismen in der Unterscheidung von Wesentlichem und Unwesentlichem entwickelt.

Am Beispiel des Aral-Sees wird weiter thematisiert, dass Nutzen einer spezifischen Infrastrukturentwicklung für die eine Gruppe deutlich negative Auswirkungen für andere Gruppen haben kann. Dies ist eine andere Widerspruchsebene zwischen verschiedenen Interessenlagen und Zielen, die wiederum durch entsprechende Hebelwirkungen zu wesentlichen Deformationen (bzw. – positiv gesprochen – Transformationen) bestehender großflächiger ökonomischer Strukturen führen kann. In diesem Sinne ist *jede* spezifische Bewirtschaftungsform einer öffentlichen Infrastruktur zugleich eine spezifische Form des Prozessierens widersprüchlicher Interessenlagen und Ziele.

In (Anderies 2004) werden nach (Ostrom 1990) acht wesentliche Strukturmerkmale für die langfristig stabile Bewirtschaftung von Infrastrukturressourcen postuliert:

1. Klar definierte Grenzen sowohl räumlich als auch bzgl. der Zugangsbedingungen.
2. Proportionale Äquivalenz zwischen Nutzen und Kosten. Für jeden Einzelnen müssen Nutzung und Kosten in angemessenem Verhältnis stehen.
3. Beteiligung aller Infrastrukturnutzer an der Weiterentwicklung der Nutzungsregeln.
4. Die Nutzung und Entwicklung der Ressource muss gemeinschaftlich überwacht werden.
5. Graduelle Sanktionen. Verstöße gegen die Regeln müssen mit wachsender Schärfe sanktioniert werden.
6. Es muss Konfliktbewältigungs-Mechanismen geben („local“ und „low cost“).
7. Das Recht der Nutzer auf Bildung eigener Organisationsformen muss gewahrt sein.
8. Ein Mehrebenenprinzip der Organisation von Aneignung, Bereitstellung, Überwachung, Durchsetzung, Konfliktlösung, Governance.

In der Konsequenz wird argumentiert, dass sich nicht nur die SES in adaptiven Zyklen (mit Umbauphasen) bewegen müssen, sondern auch die Bewirtschaftungsformen der Infrastruktur. Gerade der *Umbau* letzterer kann ein wichtiges Moment der *Robustheit* ersterer sein. Also auch hier: Evolution des Systems schließt die Option des revolutionären Umbau seiner Komponenten ein.

10 Sozio-technische Systeme und Transformationsprozesse

Literatur: (Geels 2007), (Foxon 2009), **Zusatzliteratur:** (Ropohl 2009)

10.1 Typologie von Transformationsprozessen

Das Seminar beschäftigte sich mit Transformationsprozessen von und in sozio-technischen Systemen. Dabei wurde mit der *Multilevel Perspektive* von (Geels 2007) begonnen und ihrer Typologie von Transformationsprozessen. Zuerst wurde sich das Modell angeschaut und die Verwobenheit der einzelnen Ebenen diskutiert, welche in Nischeninnovation, sozio-technisches Regime und sozio-technische Landschaft unterteilt sind. Entscheidend für die Bestimmung der Falltypologie sind die Einflussverhältnisse von Ebene zu Ebene. Dementsprechend ergeben sich die vier Transformationsarten

1. Transformation,
2. De-Alignment und Re-Alignment,
3. Technische Substitution und
4. Rekonfiguration

nicht als einzige Möglichkeit, sondern müssen ihnen die Sonderfälle

0. Produktionsprozess und
5. Disruptiver Wandel

an die Seite gestellt werden.

Im nächsten Schritt ging es um die kritische Verbesserung in (Foxon 2009), welche adaptives Management und Transitionsmanagement verknüpfen. Dort ergibt sich aus dieser Kombination ein Kreislauf adaptiver Managementansätze, welche über *established context, goals strategies, evaluation indicators* und endgültig zu *collect data monitor* läuft und Akteursansätze aus der Transitionsarena des Transitionsmanagements einbezieht. Es ergeben sich so ganz spezifische Verhältnisse, welche in Fragen der adaptiven Kapazität, der Risikobewertung, der Stakeholdereinbeziehung, der räumlichen Skalierung, der Führung und der Anregung systematischen Wandels unterschiedliche Bewertungen und entsprechend unterschiedliche Methoden provozieren.

Die Diskussion drehte sich um die Belastbarkeit und Verwertung der kombinierten Frameworks und sechs Probleme wurden eingekreist.

1. Bei Geels und Schott ist nicht klar, wie die *y*-Achse funktioniert, insbesondere da sie als *increasing structure* ausgewiesen ist und somit das innere Verhältnis im Regime nicht klar ist, besonders das Verhältnis von culture, policy and science.
2. Folglich ist nicht klar, was *Struktur* überhaupt sein soll, da zum einen eine Handlungs-Managementperspektive bemüht wird, und zum anderen dennoch klassische Strukturzuweisungen erfolgen, die nicht wirklich erklärt werden.

3. Das Verhältnis von Nischeninnovation und Regime ist nicht klar. Gibt es auch eine gesteuerte Regime-Nischeninnovation?
4. Darauf beziehend ist nicht deutlich, was eine Nischeninnovation überhaupt ist; ein Prototyp, eine Verfahrensweise, eine Idee?
5. Im 4. Fall ist nicht klar, warum die y -Achse fehlt und von Symbiose geredet wird.
6. Die begriffliche Verwendung von Transition und Transformation in ihrer Synonymisierung ist nicht klar. In anderen Wissenschaftsdisziplinen wird Transition für eine Veränderung mit Erhaltung von Systemkomponenten verwendet und Transformation für eine echte vollständige Änderung aller Formen des Systems und somit für alle Komponenten.

Positiv konnte dennoch die Zielrichtung gewertet werden, welche Handlungen und diesen entsprechende politische Verfahrensweisen und Abläufe in den Fokus nimmt. Generell ließen sich erneut auch hier die klassischen Probleme der Systemtheorie finden:

- Erstens das *Ebenenproblem*; es ist entscheidend, auf welcher Ebene die Modellierung beginnt und was in den Fokus genommen wird, denn Fragen von Außen und Innen, von Input und Output und der Leistungsfähigkeit des Systems sind davon abhängig.
- Zweitens das *Durchsatzproblem*; für die Performanz als auch für die Übertragung ist entscheidend, an was sich das System, auch als Multilevel Modell, orientiert.
- Drittens das *Strukturproblem*; immer wieder werden Strukturvorstellungen untergeschohen, welche sich nicht aus der induktiven Modellierung ergeben, wie Wirtschaft, Politik, Kultur oder ähnliche schwammige Begriffskonzepte.

10.2 Transitionspfade

In (Geels 2007) werden eine Reihe von Transitionspfaden beschrieben, die in Umbauphasen von Systemen beschritten werden. Damit wird versucht – ohne dies allerdings zu explizieren – etwas Struktur in die in (Holling 2001) weitgehend unverstandene Ω - α -Umbauphase zu bringen. Auch (Geels 2007) bleibt dabei weitgehend auf einer phänomenologischen Ebene stehen und entwickelt wenig Konzeptionelles, gesellschaftliche, ökonomische und technische Entwicklungen zusammen zu denken. Der Aufsatz geht auch nicht so weit wie die TRIZ Evolutionsforschung, hier Gesetze oder wenigstens Muster *explizit* zu formulieren.

Im bisher im Seminar entwickelten Verständnis ist die Notwendigkeit zum Systemumbau dadurch gegeben, dass die *lokalen* Entwicklungsmöglichkeiten auf dem Systemattraktor ausgeschöpft sind, weil sich das System durch ständig fortschreitende „Idealisierung“ in ein lokales Extremum des Attraktors manövriert hat (Hollings K -Phase), in dem sich externe Störungen aufschaukeln und das System in einen instabilen Zustand treiben (Hollings Ω -Phase), aus dem durch Umorganisation (Hollings α -Phase) ein neuer, vom ursprünglichen weit entfernter Referenzpunkt auf dem Systemattraktor eingenommen wird.

Ein solcher Systemumbau übt einen größeren Stress auf die mit dem System verbundenen weiteren Systeme (Komponenten im System, Geschwisterkomponenten im Obersystem, allgemeine „unsystematische“ Beziehungen zu anderen Systemen) aus. In diesem Sinne migrieren

systemische Umbauprozesse längs der Systembeziehungen mehr oder weniger weit durch das Netzwerk der Systeme.

Umgekehrt resultiert der Störungsstress aus anderen, mit dem System kausal verbundenen Systemen, wobei in den klassischen Ansätzen die Bindungen System – Obersystem (bzw. System – „Umwelt“) sowie System – Komponente in der Regel separat von allgemeinen Bindungen (etwa zwischen den Komponenten innerhalb eines Systems bzw. – dasselbe Bild auf einer anderen Betrachtungsebene - zwischen Teilsystemen eines Obersystems) betrachtet werden. Wir hatten bereits festgestellt, dass eine solche „Spezialbetrachtung“ einer Mikro- und Makroevolution nur bei Beziehungen zwischen Systemen sinnvoll ist, die sich auf deutlich verschiedenen Eigenzeitskalen bewegen: Für das „schnellere“ System kann das langsamere in erster Näherung als statisch betrachtet werden, für das „langsamere“ das schnellere als weitgehend störungsfrei und damit deterministisch oder wenigstens stochastisch, da sich die Störungen des schnellen Systems auf der Zeitskala des langsameren weitgehend ausmitteln.

Betrachten wir aus einer solchen Perspektive die Argumente aus (Geels 2007) und (Holling 2001), so fällt zunächst der stark agentenbasierte Ansatz der ersteren Arbeit auf. Agenten gibt es auch bei Holling, siehe etwa (Holling 2001: Tab. 2), doch setzt (Geels 2007) mit *agency*, *regime*, *organisation* und *institution* den Fokus deutlich anders. Mit allen vier Begriffen, die weitgehend synonym verwendet werden, wird auf die Ablauforganisation und nicht die Aufbauorganisation von Systemen verwiesen, ohne allerdings die betrachteten Systeme in jedem Fall genau zu umreißen. Eher ergeben sich das System und seine Grenzen in den von uns identifizierten drei (oder vier) Reduktionsdimensionen von Beschreibungskomplexität „von selbst“ aus der Bewegung heraus.

In einem solchen „panta rhei“ Ansatz werden (ebenda:S. 401) Störungsquelle und Ort des Umbaus differenziert, was mit den oben noch einmal entwickelten eigenen Modellansätzen gut harmoniert. Die auf dieser Basis zunächst entwickelte Typologie (ebenda:Fig. 2) entspringt allerdings einer Empirie, die sich nur schwer auf unseren Modellansatz abbilden lässt, was dann auch später (ebenda:S. 402) eingeräumt wird: „empirical levels are not the same as analytical levels in MLP“.

Die weiter ins Feld geführten „organisational levels“ – individual, organizational subsystem, organisation, organisational population, organisational field, society, world system – konzentrieren sich, wenn dies mit dem Systembegriff relatiert wird, vor allem auf die institutionalisierten Strukturen der *Aufbauorganisation* der jeweiligen Systeme (etwa das „System Gesellschaft“) samt ihrer Luhmannschen „Codes“, in denen jene Systeme überhaupt sprachlich *in der Lage sind*, über Störungen zu kommunizieren und wenigstens grob zu entscheiden, ob man es mit einem „incremental, radical, system or techno-economic“ Typ von Störung aka „Innovation“ zu tun hat und darauf typangemessen zu reagieren.

Wenn eine „conjuncture of multiple development“ (ebenda:3.2.) bedeutsam ist, so wird die These von der Quelle der Störung in einem Einzelsystem schon fragil, wenn sich jene Störung im Netzwerk der Systeme wellenförmig fortpflanzt und so kaum noch zu unterscheiden ist, ob jene „Welle“ von einer punktförmigen Quelle ausgelöst wurde oder ein emergentes Phänomen des Netzwerks ist (das ja selbst auch wieder als System betrachtet werden kann) als resonante Antwort auf eine externe Störung. Dass gerade in Zeiten tiefgreifender technologischer Umbrüche derartige emergenten Phänomene in komplexen hierarchisch aufgebauten organisationalen Netzwerken nicht außer Betracht bleiben können, ist ebenso klar wie theoretisch schwierig zu fassen.

Erschwerend kommt hinzu, dass in derartigen Transitionen drei Sphären wesentlich interagieren:

1. Die Sphäre der Beschreibungsformen (das gesellschaftlich verfügbare Verfahrenswissen),
2. Die Sphäre der real existierenden, in Systemen strukturierten Wirklichkeit (die institutionalisierten Verfahrensweisen) und
3. Die kooperativen Subjekte (mit ihrem „privaten“ Verfahrenskönnen).

Zwischen den Sphären 1 und 2 bestehen *kausale m : n*-Beziehungen, durch Sphäre 3 werden diese Beziehungen *praktisch* vermittelt.

Die drei „kinds of rules“ (ebenda:3.3. – der Begriff „Institution“ wird hier bewusst abgewählt – S. 403, Fußnote 1), über welche eine solche Vermittlung in einem „model of agency“ läuft, werden als Basis einer gemeinsamen „interpretation of the world“ konkreter kooperativer Subjekte identifiziert, die sich im *Handeln* jener Strukturen („use rules“, „rules are not only constraining but also enabling“) bewähren müssen und befestigt werden. Dies sind die Formen, in denen die *Pragmatik* zwischen den Sphären 1 und 2 vermittelt und damit *realweltliche Begriffsbildungsprozesse* induziert werden bis hin zur „conceptualisation of sociotechnical landscape that ... forms an external context that actors cannot influence in the short run“.

Damit werden die Argumentationen in (ebenda:Fig. 4 und Table 1) in ihrem absoluten Anspruch eines „environmental change“ fragwürdig, da Einträge wie „low“ und „high“ (Table 1) nur gegen klare Etalongrößen Sinn ergeben, hier also implizit Eigenzeiten und Eigenräume eines Obersystems als Referenz dienen (bzw., wenn man sich wie ebenda allein an der Ablauforganisation interagierender Systeme orientiert, ein solches Referenzsystem erst noch identifiziert werden muss). Dass jenes „environmental system“ seit wenigstens 10 000 Jahren als kulturell überformt betrachtet werden muss, sei nur in Parenthese angemerkt. Eine solche Einhegung wird dann mit den Begriffen *Frame* und *Closure* (ebenda:S. 405) auch versucht, jedoch auf einem recht simplen Niveau unmittelbar transformierender Wirkung differierender Wachstumsraten. In anderen Beispielen wird jedoch gezeigt, dass Ungleichheiten in der Ressourcenverfügung von Akteuren auch oft eingesetzt werden, um anstehende Transitionen *zu verhindern*. Der emergente Effekt ist dann mglw. eine sinkende Performanz des Gesamtsystems. Selbst der beschriebene Wettbewerb auf der Basis differierender Wachstumsraten kann auf der Emergenzebene des Gesamtsystems gegenteilig wirken, wie etwa Marx mit seinem Gesetz der fallenden Profitrate argumentiert (egal, ob dieses Gesetz nun wirklich wirkt oder in einem dissipativen Systemkontext die Argumente anders zu bedenken sind).

Damit lassen sich die sechs Transitionsmuster P0 bis P5 wie folgt auf Hollings Modell adaptiver Zyklen abbilden:

P0: Das System ist in der *r*-Phase und kann den Veränderungsdruck aus einer seiner Komponenten („no external landscape pressure“) – als „disturbances“ – absorbieren. Dasselbe bleibt richtig, wenn der Druck „von außen“ (also von anderen Systemen) kommt und nicht zu groß wird.

P1: Druck von „außen“, kein Druck aus den Komponenten, System beim Verlassen oder jenseits der *K*-Phase. Das System kann nur durch Reorganisation der Beziehungen reagieren. Die Autoren sind weitgehend ratlos, vermischen allerdings auch zwei Modi:

1. Das System ist in der α -Phase eigener Umbauprozesse.
2. Das System ist im Übergang in die Ω -Phase.

Das Beispiel (Dänische Hygiene-Transition) ist klar eines für die Dynamik in der Ω -Phase, dem auf der TRIZ-Seite ein Übergang von einer S-Kurve auf eine andere entspricht. Wie das geht, versteht man dort allerdings auch nicht. Das Beispiel folgt **Modell Ω_1** : Das System wird reorganisiert, die Funktion nach außen bleibt erhalten bzw. wird verbessert.

P2: Das System wird zerlegt, seine Komponenten anders reorganisiert. Als typisches Phänomen wird „Vakuum“ diagnostiziert, wie es auch als Machtvakuum beim Zerfall des Ostblocks zu beobachten war. Das im Text angegebene Beispiel berücksichtigt nicht, dass sich die neuen Bedingungen (Automobil ersetzt Transport durch Pferde) bereits länger auch strukturell in den Subsystemen – „im Schoße der alten Gesellschaft“ – herausgebildet haben. Im weiteren Beispiel bleibt die K-Wellen-Dynamik²¹ um 1890 unberücksichtigt.

P3: Der Druck kommt nicht aus der Umgebung, sondern von einzelnen Komponenten. Das System kann sich selbst so reorganisieren, dass die für die reorganisierten Komponenten erforderlichen neuen äußeren Bedingungen sichergestellt werden, ohne die Funktionalität des Systems nach außen aufzugeben. Das Erklärungspotenzial ist dünn, „avalanche change“ und „disruptive change“ als „landscape pressure“ existieren erstens dauernd als „disturbances“ und sind zweitens hier nicht kausal, wenn auch möglicherweise triggernd. Im Beispiel bleibt die Wirkung der K-Welle um 1890 ebenfalls unberücksichtigt. Ebenso werden für solche Transitionen typische „Marktbereinigungen“ nicht besprochen, da das produktive Ausrollen der neuen Technologien in größerem Umfang auch größere Mengen vorgeschossenes Kapital erfordert.

P4: Komponenten in Ω -Phase treffen auf ein System in α -Phase. Eigentlich wird die Transition aber aus einer kausal tiefer liegenden Technologieebene getriggert, die Auswirkungen auf *viele* Komponenten hat und diese in Ω -Phase bringt, was jedoch vom System in α -Phase (und damit in besonders flexibler r -Phase) aufgefangen werden kann. So auch das Beispiel.

P5: Im Gegensatz zu P4 lassen sich die Änderungen *nicht* im System auffangen und werden weitergeleitet. Damit werden auch die Beziehungen des Systems nach außen instabil. Die Autoren sind ziemlich ratlos („sequence of transition pathways“) und haben auch kein Beispiel zur Hand.

Generell wird angemerkt, dass derart komplexe Prozesse nicht nur nicht monokausal erklärt werden können, sondern auch die Variablen in mathematischen Beschreibungsmodellen nicht in abhängige und unabhängige unterteilt werden können. Deshalb könne man nur von *Entwicklungsmustern* sprechen. Die weiter referenzierten Prozess-Theorien blenden mit einer Fokussierung auf Ereignisketten in zeitlicher und kausaler Verkettung allerdings *strukturelle Momente* weitgehend aus, die sich mit fortgeschrittenen mathematischen Methoden durchaus auch in komplexer strukturierten Phasenräumen noch gewinnen lassen.

²¹<https://www.kondratieff.net/kondratieffzyklen>

Giddens' Ansatz der „rules as structures, which are recursively reproduced (used, changed) by actors“ weist in eine Richtung, in der solche strukturellen Erkenntnisse mit Beschreibungen von Handlungsvollzugsformen konkreter kooperativer Subjekte auf verschiedenen Abstraktionsebenen zu kombinieren wären.

11 Literatur

- Anderies, John M., Marco A. Janssen, Elinor Ostrom (2004). Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective. In: *Ecology and Society* 9 (1), 18.
<https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18/>
- Ashby, William Ross (1958). Requisite variety and its implications for the control of complex systems. In: *Cybernetica* 1:2, 83–99.
<http://pcp.vub.ac.be/Books/AshbyReqVar.pdf>
- Bertalanffy, Ludwig von (1950). An outline of General System Theory, *The British Journal for the Philosophy of Science*, Volume I, Issue 2, 1 August 1950, 134–165.
<https://doi.org/10.1093/bjps/I.2.134> (Verlagsintern)
- Binder, C.R., J. Hinkel, P.W. Bots, C. Pahl-Wostl (2013). Comparison of Frameworks for Analyzing Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, 18 (4), 26.
<https://www.ecologyandsociety.org/vol18/iss4/art26/>
- Boisot, Max and Bill McKelvey (2011). Complexity and Organization-Environment Relations: Revisiting Ashby's Law of Requisite Variety. In: Allen, Peter, Steve Maguire and Bill McKelvey (eds.). *The Sage Handbook of Complexity and Management*, 279–298. (Available at
- Capurro, Rafael, Peter Fleissner, Wolfgang Hofkirchner (1996). Is a unified theory of information feasible? <http://www.capurro.de/trialog.htm>
- Capurro, Rafael (1998). Das Capurrosche Trilemma. <http://www.capurro.de/janich.htm>.
- Capurro, Rafael (2002). Menschengerechte Information oder informationsgerechter Mensch? <http://www.capurro.de/gotha.htm>.
- Davis, Mike (2008). Wer wird die Arche bauen? Das Gebot zur Utopie im Zeitalter der Katastrophen. *Telepolis*, 11.12.2008.
- Dobusch, Leonhard, Volker, Sigrid Quack (2011). Auf dem Weg zu einer Wissensallmende? *Argumente Politik und Zeitgeschichte* 28–30, S. 41–46.
- Foxon, T.J., M.S. Reed, L.C. Stringer (2009). Governing long-term social-ecological change: what can the adaptive management and transition management approaches learn from each other? *Environmental Policy and Governance*, 19 (1), 3–20.
<https://doi.org/10.1002/eet.496> (Verlagsintern)

- Fuchs-Kittowski, Klaus (2002). Wissens-Ko-Produktion. Verarbeitung, Verteilung und Entstehung von Informationen in kreativ-lernenden Organisationen. Festschrift zum 65. Geburtstag von Klaus Fuchs-Kittowski.
- Geels, Frank W., Johan Schot (2007). Typology of Sociotechnical Transition Pathways. In: Research Policy 36 (2007), 399–417. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.003> (Verlagsintern)
- Gräbe, Hans-Gert (2012). Wie geht Fortschritt? LIFIS ONLINE [12.11.12].
- Goldovsky, B.I. (1983). System der Gesetzmäßigkeiten des Aufbaus und der Entwicklung technischer Systeme. <https://wumm-project.github.io/Texts.html>
- Gräbe, Hans-Gert (2019). Zur Entwicklung Technischer Systeme. Manuskript. <https://wumm-project.github.io/Texts.html>
- Holland, John H. (2006). Studying complex adaptive systems. In: Journal of systems science and complexity, 19 (1), 1–8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11424-006-0001-z> (Verlagsintern)
- Holling, C.S. (2000). Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. In: Ecosystems (2001) 4, 390–405. https://www.esf.edu/cue/documents/Holling_Complexity-EconEcol-SocialSys_2001.pdf
- Jacobasch, Gisela (2019). Bienensterben – Ursachen und Folgen. Leibniz Online 37 (2019). <https://leibnizsozietaet.de/bienensterben-ursachen-und-folgen/>
- Janich, Peter (2006). Was ist Information? Frankfurt/Main.
- Jantsch, E. (1992). Die Selbstorganisation des Universums. Vom Urknall zum menschlichen Geist. Hanser, München.
- Jooß, Christian (2017). Selbstorganisation der Materie. Verlag Neuer Weg, Essen.
- Klemm, Helmut (2003). Ein großes Elend. Informatik Spektrum, S. 267–273.
- Klix, Friedhart, Karl Lanius (1999). Wege und Irrwege der Menschenartigen. Kohlhammer, Stuttgart.
- Knobloch, Eberhard (1987). Theoria cum praxi. Leibniz und die Folgen für Wissenschaft und Technik. Studia Leibnitiana, Bd. 19, H. 2 (1987), pp. 129–147. <https://www.jstor.org/stable/40694079>
- Koltze, Karl, Valeri Souchkov (2017). Systematische Innovation. 2. Auflage, Hanser, München.
- Kozhemyako, Anton (2019). Features of TRIZ applications for solving organizational and management problems: schematization of an inventive situation and working with models of contradictions. (In Russisch, englische Übersetzung in Vorbereitung). <https://matriz.org/kozhemyako/>
- Lyubomirskiy, A., S. Litvin, S. Ikovenko, C. M. Thurnes, R. Adunka (2018). Trends of Engineering System Evolution (TESE).

- Mann, Darrell (2019). Systematic innovation in complex environments. Proceedings of the TRIZ Summit 2019 Minsk.
<https://triz-summit.ru/file.php/id/f304797-file-original.pdf>
- Mele, C., J. Pels, F. Polese (2010). A brief review of systems theories and their managerial applications. *Service Science*, 2(1-2), 126–135.
https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126 (Open Access)
- Mingers, John (1989). An Introduction to Autopoiesis – Implications and Applications. In: *Systems Practice*, Vol. 2, No. 2, 1989.
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF01059497> (Verlagsintern)
- Ostrom, Elinor (2007). A diagnostic approach for going beyond panaceas. *Proceedings of the national Academy of sciences*, 104(39), 15181–15187.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104> (Open Access)
- Prigogine, Ilya, Isabelle Stengers (1993). *Das Padox der Zeit*. Piper, München, Kap. 3–5.
- Ropohl, Günter (2009). *Allgemeine Technologie: eine Systemtheorie der Technik*. KIT Scientific Publishing. <https://books.openedition.org/ksp/3007> (Open Access)
- Rubin, Michail (2019). Zum Zusammenhang der Entwicklungsgesetze allgemeiner Systeme und der Entwicklungsgesetze technischer Systeme.
<https://wumm-project.github.io/Texts.html>
- Souchkov, Valeri (2014). Breakthrough Thinking with TRIZ for Business and Management: An Overview. <https://www.semanticscholar.org>
- Steinbuch, Karl (1969). *Die informierte Gesellschaft*. Stuttgart, 2. Auflage.
- Stollorz, Volker (2011). Elinor Ostrom und die Wiederentdeckung der Allmende. *Argumente Politik und Zeitgeschichte* 28–30, S. 3–15.
- Ulanowicz, Robert E. (2009). The dual nature of ecosystem dynamics. In: *Ecological Modelling* 220 (2009), 1886–1892.
<https://people.clas.ufl.edu/ulan/files/Dual.pdf> (Green Paper des Autors)
- VDW – Verein Deutscher Wissenschaftler (2005). „We have to learn to think in a new way“. *Potsdamer Denkschrift*.
- Vernadsky, V.I. (1997, Original 1936–38). *Scientific Thought as a Planetary Phenomenon*. <https://wumm-project.github.io/Texts.html>
- Walker, Brian, C. S. Holling, Stephen R. Carpenter, Ann Kinzig (2004). Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. In: *Ecology and Society* 9 (2). <https://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>