

Lutz-Günther Fleischer

Komplexität, Inter- und Transdisziplinarität

„Die größte Macht hat das richtige Wort zur richtigen Zeit.“ Diesen Aphorismus verdanken wir Mark Twain. Der schlagfertige Satiriker würde es kaum verübeln, wenn wir seine prägnante Aussage über Wörter und Zeitpunkte persiflieren: Dumm nur, wenn man Wörter (vor allem aber Worte), nicht hinreichend versteht, weil der Chor, der seine Stimme erhebt, naturgemäß ohne Dirigent agiert und aus verschiedenen Partituren liest, falls er überhaupt Noten zu lesen vermag. Überdies ist vieles noch im Fluss, bedarf also, um im Bild zu bleiben, einfühlsamer Arrangeure und erfahrener Korrepetitoren. Und jedes Ding hat seine (richtige) Zeit, sein Kairos.

Erstrebenswert und obligatorisch sind mithin größere Klarheit und wirksamere Kooperationen, weil Phänomene und Begriffe – in unserem Fall: Komplexität, Inter- und Transdisziplinarität – für das Verständnis essenzieller gegenwärtiger und zukunftsbestimmender, fundamentaler wissenschaftlicher, technischer und gesellschaftlicher Entwicklungen Schlüsselfunktionen haben und des bewussten Engagements verschiedenster Akteure bedürfen. Deshalb auch sind sie exponierte Inhalte zahlreicher Diskurse und Dispute. LIFIS ONLINE hat sich im Themenbereich ‚Wissenschaft im Kontext‘ mit einigen beachtenswerten Beiträgen an den Debatten beteiligt und zu weiteren Versuchen der theoretischen und praktischen Auseinandersetzung mit diesen evolutionären Phänomenen ermutigt. Der vorliegende Beitrag will sich diesen Essays zugesellen. Auf das im Folgenden noch eingehender zu erklärende Ziel gerichtet, kommt ihm vieles entgegen, er lässt sich aber auch nicht von interessanten Verästelungen abhalten. Dem Ziel angemessene, mathematikfreie oder mathematisierte Beispiele mögen dabei als Angebote aus unterschiedlichsten Seins- und Wissenschaftsbereichen verstanden werden.

1. Dominante Symptomatiken im evolutorischen Handlungsfeld von Wissenschaft und Gesellschaft

Die eng verflochtene, häufig mehrdimensional vernetzte und sich objektiv wechselseitig bedingende *Entwicklung der Wissenschaft und der Gesellschaft* – mit all ihren hierarchischen und heterarchischen Teilsystemen, Prozessen und charakteristischen Relationen – werden in der jüngeren Geschichte von drei *dominanten*, zudem *diametralen Tendenzen* gekennzeichnet.

- Die *Komplexität* und *Kooperativität* einer überdies zunehmenden Zahl essenzieller, wissenschaftlich zu analysierender, vornehmlich dialektisch, ganzheitlich zu betrachtender und zu lösender objektiver Probleme beider Seinsbereiche wachsen außerordentlich.
- Die Wissenschaft prägt entwicklungsgesetzlich und unaufhaltsam ihre *disziplinären Strukturen* um nahezu jeden Preis aus, generiert und ‚belohnt‘ neues Spezialistentum ohne bisher

über ein, diese Diversifikation, Partikularisierung, Differenzierung und Fragmentierung hinreichend kompensierendes, synthetisierendes und integrierendes, nachhaltiges Komplement zu verfügen, Generalisten hervorzubringen und wirksamer zu unterstützen. Die Entwicklung der Wissenschaft als superponierte dynamische Interaktion evolutionärer Spezialisierungen und Generalisierungen ist bis dato eine Fiktion.

- Unverkennbar sind erhebliche *Asymmetrien von Problem- und Wissenschaftsentwicklungen*, erkenntnistheoretische Diskrepanzen zwischen ontischen und logischen Sachverhalten, die, infolge der fortschreitenden Diversifikation und Partikularisierung, aber auch wegen gewisser ‚Lagermentalitäten‘, verloren gegangene Einheit der Wissenschaft sowie deren (zumindest partielle) Trennung von alltäglichen Erfahrungen und objektiven gesellschaftlichen Bedürfnissen.

„The world has problems; universities have departments.“ – Heißt es lakonisch. Universitäten sind zu selten Milieus der Kreativität, die „method of colaboration“ ist in ihnen nicht dominant. Die disziplinär strukturierte Wissenschaft beantwortet wesentliche gesellschaftliche Fragen nicht mehr befriedigend. Dazu gehören insbesondere gesellschaftlich essenzielle Probleme, wie die Tendenzen, Triebkräfte und Implikationen wissenschaftlich-technischer und gesellschaftlicher Entwicklungen, die Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Wissenschaft sich als Produktiv- und Humankraft zu entfalten, die Rolle der Technologie, sowie Probleme, die mit Stichworten wie Energie, Rohstoff, Nahrungsmittel, Information, Umweltqualität, Gesundheit, generatives Verhalten der Menschen umrissen werden. Diese Problemstellungen haben wesensgemäß nicht nur wissenschaftliche, sondern auch zahlreiche außerwissenschaftliche Facetten und Komponenten. Sie bedürfen zur Problemanalyse und -lösung komplexer Forschungs- und Wissenschaftsprinzipien, des wissenschaftlichen Wissens und nicht zuletzt ‚lebensweltlichen‘ Wissens von Praktikern – der praktischen und theoretischen Transdisziplinarität (Mittelstraß) –, in Verhaltens- und Handlungsalgorithmen legiert.

Als grundsätzliche, erfahrungsbasierte Meinungsbelege sollen vier repräsentative Zitate angeführt sein, die im beliebigen Maße vervielfacht und gewiss mit eigenen Erfahrungen vom jeweiligen Leser ergänzt werden können.

„Unser Wissenschaftssystem ist auf eine beunruhigende Weise unübersichtlich geworden.“, stellt der Wissenschaftstheoretiker Jürgen Mittelstraß fest. „Das gilt nicht nur hinsichtlich eines sich immer stärker beschleunigenden Wachstums des Wissens, sondern auch in organisatorischer und institutioneller Hinsicht. Eine fachliche und disziplinäre Partikularisierung nimmt zu; die Fähigkeit noch in Disziplinaritäten, d.h. in größeren wissenschaftlichen Einheiten, zu denken, nimmt ab. Grenzen der Fächer und Grenzen der Disziplin, wenn man sie so überhaupt noch wahrnimmt, drohen dabei mehr und mehr nicht nur zu institutionellen Grenzen, sondern auch zu Erkenntnisgrenzen zu werden.“ [1]

„Ich gehe davon aus, dass Transdisziplinarität *ein Ingrediens der Wissenschaft* ist, ihr zugehört und einen ihrer Wesenszüge bildet.“, hebt der Philosoph Reinhard Mocek hervor und betont: „Die Kooperativität ist ... einer ihrer herausragenden Wesenszüge.“... „Da Kooperation auf Zusammenführung von Potenzialen weist, auf Erweiterung von Horizonten, liegt es nahe, sich auf ein altes Forschungsideal zurück zu besinnen, in dem diese Horizontenerweiterung prinzipiell verankert ist – Erkenntnis ist von alters her *auf das Ganze aus!* Natürlich schaffen wir hier keinen Gegensatz zwischen Teil- und Ganzheitserkenntnis; die Relation zwischen beiden ist seit Platon über Hegel bis zu Heisenberg vielfach ausgelotet; die Struktur des Ganzen allerdings ist bis auf den heutigen

Tag eine fundamentale Forschungsfrage. Neben den großen Entwürfen zum physikalischen, biotischen und menschlichen Kosmos von den antiken Denkern bis zur Neuzeit, in der, eingeleitet mit Darwin und Einstein, die Feinstruktur des Ganzen aufs Korn genommen wurde, war die Last der Erkenntnisarbeit vor allem der vielschichtigen teildisziplinären Forschung aufgebürdet. Die Ungleichverteilung der Kärnerarbeit und der Weltbildarbeit formte auch die Epochen der Wissenschaft, die in den seltensten Fällen nach entdeckenden bzw. erfinderischen Einzelleistungen benannt werden, sondern nach Epoche formenden Gedanken. Das Übergreifende, eben das Ganze stand und steht im Brennpunkt.“ [2]

Gert Wangermann konstatiert, mit den Erfahrungen eines Biophysikers, hinsichtlich der gegenwärtig zu beobachtenden Wissenschaftslandschaft: „Mit solcher Vermehrung, Differenzierung und Spezialisierung wissenschaftlicher Institutionen korrespondiert eine schier endlose Vervielfachung, Diversifikation und Verfeinerung des wissenschaftlichen Instrumentariums. Und mit dem mannigfaltigen Instrumentarium wuchs und wächst die Verführung zur ausschließlichen Analyse des Forschungsgegenstandes, mithin der Welt. Die *Gefahr des Verlustes synthetisierender und integrierender Fähigkeiten*, des dialektischen, ganzheitlichen und damit hinreichend vorausschauenden Denkens und Handelns ist längst zum existenziellen Problem unserer Zeit geworden. Die Einheit der Wissenschaft ist in Frage gestellt. Und mit der Diversifikation des Gegenstandes zugleich dessen Beschreibung, die Sprache.“ [3]

Der Gedanke der untrennbar in diese Entwicklungen involvierten Sprache wird im vorliegenden Beitrag an besonders geeigneten Stellen aufscheinen. Wissenschaft bleibt tatsächlich ineffektiv, wenn wir nicht adäquat ausdrücken, ‚sagen‘ können, was wir wissen und wollen. Der Begriff ‚Sprache‘ umschließt in diesem Zusammenhang verbal und symbolisch (ikonisch, indexikalisch, ...) verfasste Informationen, die Erkenntnisse festhalten, uns des Wirklichen versichern, das Mögliche beleuchten und das Notwendige akzentuieren. Kurzum: Natürliche und konstruierte Sprachen sind entscheidende Erkenntnis- und Kommunikationsmittel, „Medien des Denkens und der Weltauffassung.“ Sie verfügen dafür über typische Lexiken, Grammatiken und Syntaxen.

Angesicht der erörterten Situation sprechen nicht wenige vom Dilemma, ja Polylemma der Wissenschaft, von zwei Wissenschaftskulturen, einer Entfremdung von Kunst und Wissenschaft oder gar von einer Krise der Wissenschaft bei der Gewinnung und Umsetzung der rasch wachsenden Vielzahl und Vielfalt – einer wahren ‚Flut‘ – wissenschaftlicher Informationen, die letztlich, über das bloße Kennen hinausgehend, in algorithmisch verdichtete, u.U. komplexitätsreduzierende, synthetisierende, wesentliche Zusammenhänge erfassende Einsichten zu transformieren sind. Solche Erkenntnisse gilt es überdies – mit dem Ziel produktiver, kultureller und humaner Wirkungen – in den verschiedenen Bereichen der Gesellschaft, unter widerstreitenden Interessen zu bewerten und zu nutzen. Unabhängig davon, ob man sich einer exponierten Bewertung als Krise anschließt, sind neue Denkansätze sowie Lösungsstrategien sowie adaptierte Entwicklungsbedingungen objektiv und dringend erforderlich. Und dies sowohl im Interesse der Wissenschaft, als auch der Gesellschaft, die sich über einige Probleme, deren Priorität und die zu präferierenden Lösungswege kaum intern und noch weniger grenzüberschreitend konsensfähig verständigen können. Die Bilder des ‚Grabens‘ und der ‚Kluft‘ stehen dafür.

„*Neue interdisziplinäre Modelle*, ich sage bewusst *nicht philosophische Modelle*, werden benötigt“, betont der Philosoph Karl-Friedrich Wessel und folgert: „Es gibt überhaupt keine Chance, die nach gültigen Modellen gewonnenen Daten in diese (tradierten L.-G. Fl.) Modelle alle einordnen zu wollen. Vielleicht wird in der Wissenschaft ungleich mehr gesät als gepflegt, ungleich mehr geerntet als verbraucht.“ ... „Wir brauchen also *neue Konzepte, neue Ideen und Methoden*,

eine anspruchsvollere, den neuen Konzepten entsprechende Methodologie. Dazu gehört eine sachliche, fundierte und konsequent dem jeweiligen Anliegen gerecht werdende Diskussion aktueller Konzeptionen und Theorien, wie sie etwa mit der ‚Evolutionären Erkenntnistheorie‘ und der Soziologie vorliegen.“ ... „Die neuen umfassenderen Entwürfe werden das Prinzip der Einheit von Komplexität und Zeit als konstituierenden methodologischen Grundbestand nutzen müssen“ [4]

Mit Hilfe eines für Diskussionen offenen, konzeptionellen Modells sei versucht, die wesentlichsten kooperativen Elemente und funktionellen Zusammenhänge der *Komplexität* – des *Schlüsselementes* der Bestimmungs- und Realisierungsprobleme – darzustellen. Der Komplexität kommt in dem erörterten Problemgeflecht das Primat zu.

2. Das genetische Primat gebührt der Komplexität

2.1 Das Phänomen und seine Wesenszüge

Der Begriff betrifft sowohl ontische als auch logische Sachverhalte und Konstrukte. Er kennzeichnet (frei nach Werner Ebeling) generell die Qualität und eine, gegen das „natürliche Unendlich“ gehende Anzahl von Elementen, wie Moden, Spezies, Subsystemen etc., innere sowie äußere Interaktionen und Relationen, die die Binnenstruktur prägen, aber auch die Quantität und Qualität der systemimmanenten hierarchischen Ebenen oder/und heterarchischen Interaktanden. Pointiert bedeutet *Komplexität* – trotz der differenzierten Funktion und bei aller ambivalenter Bewertung ihrer Spezifika in physikalischen, biotischen, technischen und gesellschaftlichen Theorien oder auch nur gesellschaftlichen Theoretiken – Vielfalt dynamischer Beziehungen (multiplicity) zumeist in (sich gleichfalls in Raum und Zeit ändernden) Netzwerken unterschiedlicher Dimensionen, Wechselwirkungsintensitäten und Genesen, also in geordneten *Ganzheiten/Gesamtheiten* verflochtener (kombinierter, integrierter) und interagierender (interaction) Konstituenten (parts) großer Anzahl, die infolge der strukturellen/funktionellen Verbindungen bestimmter Wertigkeit und Menge (Kompliziertheit) auf den nächst höheren Organisationsniveaus der Hierarchien emergente Eigenschaften (das Neue, neue Qualitäten unter und mit äußeren Wirkungen) hervorbringen. Besonders hervorzuhebende Merkmale der Komplexität sind die *Vernetzungen* und die *Emergenz*. *Netzwerkarchitekturen* gehören wahrscheinlich zu den allgemeinen, skaleninvarianten Struktur- und Funktions-(Organisations-)Prinzipien natürlicher, technischer, ideeller und anderer komplexer multikomponentiger Systeme im Möglichkeitsfeld von Chaos und Kosmos. Deren meist selbst dynamische Elemente sind über permanente oder sich zeitlich ändernde Beziehungen natürlich bzw. synthetisch (technisch-konstruktiv) vernetzt. Natürliche Vernetzungen folgen – in bestimmten physikalischen (und anderen präbiotischen) Systemen bereits gut erkennbar, völlig ausgeprägt jedoch in biotischen und postbiotischen, wie sozialen und gesellschaftlichen Systemen – der *systemimmanenten Strategie der Selbstorganisation und Selbstinformation*. Selbstorganisierende Systeme sind notwendigerweise komplex, zudem *selbstreferentiell* (d.h., das Systemverhalten ist rückkoppelnd und determiniert in operationaler Geschlossenheit seinen Zustand), *autonom* (d.h., das System bestimmt seine charakteristischen internen Relationen und Interaktionen selbst, obwohl es stofflich, energetisch und gegebenenfalls informationell mit der Umgebung interagiert), *redundant* (d.h., die Systemelemente sind ohne Hierarchie und Differenzierung potenziell multifunktionell organisierende, gestaltende, steuernde, regelnde Akteure).

Die *Komplexität* mit all ihren Merkmalen ist grundsätzlich unter mindestens zwei –gekoppelten, mehr noch: sich wechselseitig bedingenden – Aspekten zu erfassen und zu beherrschen: der *inneren Komplexität* der Strukturen der jeweiligen *realen Systeme/Objekte* und der *Theorienmodule*

aber auch gesamter *Theoriengebäude* sowie der *äußeren Komplexität* der physikalischen, chemischen, biotischen, technischen, technologischen und gesellschaftlichen *Rand- bzw. Umgebungsbedingungen*.

Die Komplexität der inneren Strukturen perfekter (idealisierter) Systeme, die mit theoretischen Konzepten erschlossen werden, oder imperfekter (realer) Systeme, die vorwiegend empirisch beschrieben und optimiert werden, sind in einem kontinuierlichen Spektrum der Komplexitätsgrade eingeordnet.

Um diese These pragmatisch zu illustrieren, lassen sich die Natur- und Technikwissenschaften heranziehen. In ihnen reicht das Feld von erkenn- und beschreibbaren (quasi-)idealen Strukturen und deren Funktionen, wie idealen Gasen und fehlordnungsfreien, absolut reinen, perfekten Einkristallen, einkristallinen Schichten, definierten Grenzflächen über ideale Systeme (wie Nano-, Submikro- und Mikrostrukturen, ideale Fluide, ...), bis zu natürlichen und synthetischen Polymeren, polykristallinen Schichten, amorphen Materialien, Netzwerken, Clustern, starren und deformierbaren multikomponentigen, auch mehrphasigen dispersen Systemen (wie Biomaterialien und Lebensmitteln). Diese Vielfalt und Verschiedenartigkeit muß z.B. der abstrahierende naturwissenschaftliche Materialbegriff auf der Suche nach dem Einheitlichen umfassen. Dieser Kompliziertheit und Kooperativität müssen alle theoretischen Komponenten der Wissenschaften gerecht werden. In der inneren Hierarchie der intradisziplinären Theorienmodule und der Theoriengebäude, vor allem aber in der inneren Komplexität der gegenständlich und/oder methodologisch synthetisierender Wissenschaften, sind empirische Regeln, ab-initio-, ad-hoc- und semiempirische Theorien als erkenntnistheoretische Frühstadien und Bindeglieder ebenso unverzichtbar, wie jene mit einem wesentlich höheren Abstraktionsniveau sowie Algorithmen für Beobachtungen, Experimente und deren adäquate Widerspiegelung in Modellen.

Der phänomenologische Reichtum, die riesige Mannigfaltigkeit möglicher und als relevante Auswahl unter bestimmten Bedingungen realisierbarer Strukturen, Zustände und Prozesse unterschiedlichster Organisationsniveaus (Emergenzstufen) bedarf – im Interesse der *Zugänglichkeit, Verständlichkeit, Gestaltbarkeit und Beherrschbarkeit* – differenzierender, inkrementell nutzbarer und generalisierender kanonischer Ensembles wissenschaftlicher Methoden. Letztlich geht es im Interesse des Erkennens und Gestaltens um zweckgerichtete *Vereinfachungen*, d.h. um das *Ziel*, Entitäten, Probleme ... adäquat auf Wesentliches zurückzuführen, das Wesen der unerschöpflichen Erscheinungen (im umfassenden philosophischen Sinn) mit den lediglich endlichen Mitteln zu erfassen und abzubilden. Als *Mittel der Vereinfachung* sind prinzipiell das Reduzieren/Komplexieren, Konkretisieren/Abstrahieren, Differenzieren/Integrieren, Separieren/Kombinieren, Maximieren/Minimieren, das Idealisieren, Linearisieren, Modellieren und Simulieren mit Substitutionen und Transformationen (vor allem in Zeichen, Zeichengeometrien und bestimmte Ebenen) geeignet.

2.2 Komplexität, Struktur, Ordnung, (Selbst-)Organisation

Die zu charakterisierende Komplexität betrifft erfahrungsgemäß Strukturen sowie Prozesse und Funktionen aller Qualitäten, Größenordnungen, unterschiedlichster Entwicklungsniveaus und jeglicher Genesis. Die Daten-, Erkenntnis- und Entscheidungskomplexität sind ausdrücklich eingeschlossen.

Die Komplexitäten reflektierende *Strukturbildung, -bewertung und der Strukturerehalt* gehören zu den grundlegenden und zentralen Problemen der Wissenschaft und ihrer verschiedensten Diszipli-

nen. Gemeint sind damit ontische und logische Ordnungen von Systemelementen und ihre aufeinander bezogenen Wirk-Beziehungen (Relationen), die Funktionen abbilden, tragen, sichern und/oder in bestimmten Prozessen neue hervorbringen, Funktionalitäten repräsentieren. Es mehren sich die theoretischen und praktischen Belege dafür, dass bewusst angewendete komplexe wissenschaftliche Vorgehens- und Betrachtungsweisen, wie die Inter-, Multi- und Transdisziplinarität, neue Zugänge zu Problemstrukturen und Problemlösungen eröffnen.

Für die Komplexität, sind Begriffe, wie Pluralität, Kooperativität, Hybridität, Heterogenität, Nichtlinearität, Emergenz, Information und Exformation (die aus Gründen der Relevanz sowie Praktikabilität gesichtete, selektierte, ausgegliederte und deponierte Information) prägend. Diese Termini sind naturgemäß auch Wesenselemente jeder Evolution und sie generalisierender Reflexionen.

Die Komplexität ist *schwierig analytisch zu erfassen*. Nicht zuletzt weil sie in höher entwickelten Systemen aus qualitativ differenzierten, verwobenen, inneren und äußeren Ebenen komponiert ist. Bereits für physikalische und technische Sachverhalte resultieren daraus im Falle der Prozessbeschreibung in der metasprachlichen Ebene der Mathematik Systeme gekoppelter nicht-linearer partieller Differenzialgleichungen mit einer erheblichen Vielfalt, die Lösungen prägender Anfangs- und Randbedingungen. In verbalen Darstellungen komplexer Sachverhalte fällt auf, dass häufig (und wahrscheinlich nicht zufällig) eine zur Musik analoge Begrifflichkeit genutzt wird. Aus der Welt dieses zeitbasierten, hoch strukturierten Phänomens stehen u.a. Komposition, Variation, Polyphonie, Harmonie, Tenor, Kanon, Chor, Orchester Im Übrigen spielen Metaphern und Allegorien als Gestaltungsmittel der Literatur (z.B. in Fabeln und Parabeln) sowie in der Bildenden Kunst eine ebenso auffallende Rolle. Metaphern fungieren in der Bildenden Kunst als legitime Ausdrucksmittel und konstituieren eine subversive Methode zur Verschlüsselung der ‚natürlichen‘ Sprache. Vorausgesetzt, der Rezipient verfügt über komplementäre Kenntnisse und/oder Erfahrungen, um die gedanklichen Konstrukte in den ‚tieferen‘ Bildebenen decodieren zu können. Zu denken ist dabei z.B. an die Malerei im europäischen Mittelalter, aber auch an die Bildwerke der renommierten ‚Leipziger Schule‘.

Die Komplexität ist offenbar ein *Ingrediens* aller (quasi-)statischen und – in noch höherer Qualität – dynamischen Systeme/Objekte. Sie gehört nicht bloß untrennbar zu ihnen, sondern formiert vielmehr herausragende Wesenszüge. Sie hat, bezogen auf das jeweilige System und dessen Verhalten, objektive und subjektive, reale und virtuelle, interne und externe Komponenten und Wirkungsfelder. Das bedeutet und widerspiegelt vor allem: Verschiedenheit, Vielfältigkeit, Vieltätigkeit, Vielseitigkeit, Vielschichtigkeit – Mannigfaltigkeit, Variabilität, Diversität.

Die Komplexität besitzt eine reich gegliederte natürliche oder artifizielle *Architektur*, ist – ableitbar aus dem Sinn des Begriffselementes ‚*techne*‘ – Entworfenes, Gestaltetes, Gestaltbares, Handlungsfähigkeit und latente Wirkfähigkeit – vereint demgemäß Aktualität und Potenzialität. Der derart verallgemeinerte Begriff Architektur verweist generell auf Organisationsprinzipien, auf funktionsbestimmte, charakteristisch geordnete Ganzheiten, Teilstrukturen und deren Elemente, die (im Falle der Komplexität) unter bestimmten Bedingungen die entscheidende Fähigkeit zur Selbstorganisation ausbilden können – demzufolge Kompetenzen aufweisen.

Die Komplexität erfasst zugleich die *Modalitäten*, die Bedingungen sowie die Art und Weise der quantitativen und qualitativen Änderung des Systemzustandes, in Teilen und/oder als Ganzes, die linearen oder nichtlinearen Zusammenhänge von Ursache(n) und Wirkung(en), die Interaktionen sowie Kooperationsformen verschiedener Skalierungen und Wertigkeiten, die *Bewegungen*, deren

Kinetik und Dynamik, die Evolution (gegebenenfalls die Coevolution) und deren Ontogenien. Da zwischen den Ursachen und Wirkungen der intervenierende, mehr oder minder steuernde und regelnde Einfluss ganzer Gruppen endogener und exogener Variablen, interner und externer Größen mit inhibierenden oder verstärkenden Mechanismen liegt, resultieren die verursachten Wirkungen aus den hoch dimensionalsten Möglichkeitsfeldern in der Regel mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten – mit quantifizierten Möglichkeiten. Herbert Hörz [5] belegt grundsätzlich und exemplarisch, dass und wie ein einschränkender ‚Bedingungskegel‘ die Genese- und/oder Strukturbeziehungen innerhalb der und zwischen den unterschiedlichen Qualitätsniveaus komplexer Systeme formiert und deren Gesetze generiert.

Einige *Aspekte der Komplexität* (möglicherweise treffender: Arten) lassen sich derzeit lediglich *qualitativ charakterisieren*, andere, darunter tatsächlich grundlegende, wie z.B. die Entropien und Informationen, *quantitativ beschreiben*, bislang aber nur relativ wenige, z.B. einige räumliche und zeitliche Strukturen, insbesondere in Natur und Technik, *messen* – worauf praktische Bemühungen prinzipiell zielen. Das bereits sind gute, ja hinreichende Gründe, um zu versuchen, das Wesen der Komplexität als Ganzheit besser verstehen, logisch fixieren und in Ansätzen quantifizieren zu wollen.

Um Komplexitäten aller Art zu beschreiben, insbesondere zum Studium und zum Entwurf komplexer Strukturen, zur exakten Abbildung (Widerspiegelung) und Gestaltung (Konstruktion) komplizierter Strukturverhältnisse, ist analoges, von treffenden Metaphern unterstütztes Denken unverzichtbar, weil die wesensgemäß differenzierenden natürlichen Sprachen dabei über ihre Grenzen hinaus gefordert werden. Strukturelle und funktionelle Mannigfaltigkeiten können ohne Einheit – und sei sie ‚nur‘ metaphorisch – nicht bzw. nicht ausreichend gedacht werden. Treffsichere *Metaphern* sind also weit mehr als Kunstgebilde zur Substitution semantischer Leerstellen im klassischen Wortschatz; sie fungieren pragmatisch als *eigenständige Erkenntnismittel*. Sollen Metaphern kreativ sein, innovative heuristische Funktionen erfüllen können, dann müssen sie vor allem Bekanntes auf neuartige Weise kombinieren, wissenschaftliche Betrachtungsweisen – zumindest im Keim – Vorbilden (konstitutiv und präformierend wirken), das Wahrnehmungs- und Erkenntnisvermögen anregen und steuern, kognitive Fähigkeiten konsolidieren.

Das ideelle System unserer Vorstellungen, Gedanken, Regeln, Gesetze, Werte, Vorschriften ist realiter das weiter ausgestaltete Bild (die be- und verarbeitete Widerspiegelung) des realen Systems der objektiven Wirklichkeit. In der dialektisch- materialistischen Philosophie – als Wissenschaft vom Gesamtzusammenhang – wird das Widerspiegelungstheorem vorausgesetzt. Erkenntnistheoretisch kann diese auch analytische Philosophie zudem als Indikator der Zielkoordinaten und Regulativ der Wegführung fungieren.

„Auf der Ebene höchster Allgemeinheit drückt die Struktur der Spiegelungsverhältnisse die inverse Relation zwischen ontischem und logischen Sachverhalt aus und kann daher zu einem Modell für die Zuordnung von Begriff und Realdialektik (d.h. zu einem Begründungsschema für Dialektik überhaupt) ausgearbeitet werden.“, heißt es orientierend bei Hans Heinz Holz. [6] Auch Definitionsversuche basieren letztendlich auf typischen phänomenologischen Befunden, wie sie für die Realdialektik der Komplexität erörtert wurden. Welche *Definitionsstrategien* sind dafür generell verfügbar? Mit der klassischen *nominalistischen* Variante wird eine Klasse von Phänomenen abgegrenzt und meist reduktionistisch charakterisiert.

Das *essenzialistische* Vorgehen deutet das Wesen der Sache (essentia) substanziell. Ohne deren empirische Extension zu bestimmen, wird mit der *reflektorischen* Strategie – abhängig vom Kon-

text – im Allgemeinen die Bedeutung der Sache beschrieben und präzisiert. Die Universalität und Pluralität der Komplexität stehen der nominalistischen und der reflektorischen Strategie im Wege, weil die erste nicht effektiv eingrenzt, während sich die zweite in der divergierenden, adaptiven aber nicht genügend spezifizierenden Variantenvielfalt verliert. Überdies spricht Vieles für die These, die Komplexität sei ein autologischer Begriff. Bleibt theoretisch ein essenzialistisches Vorgehen: der Versuch über die Dekomposition und damit eine partielle Reduktion, Essenzielles zu erfassen, Einsichten in das Wesen der pluralen Komplexität zu gewinnen, zumindest ein Gefühl für das gesamte Verhalten von sehr vielen (bis zu einer gegen das „natürliche Unendlich“ gehenden Menge) von Elementen (parts) auch sehr unterschiedlicher Art in strukturierten Gesamtheiten zu erlangen und es zu veranschaulichen sowie die Quantität und Qualität der systemimmanenten hierarchischen Ebenen oder/und heterarchischen Interaktanden zu beschreiben. Es ist sinnvoll, so Günter Ropohl [7], sich dazu integrativer Methoden der Wissenssynthese und Wissensorganisation sowie einer exoterischen Bildungssprache, darin der Metaphorik und mehrdimensionaler, multiperspektivischer Verflechtungsmodelle, wie topologischer Räume, als Denkmodelle zu bedienen. Als Qualitätskriterium fungiert bei Ropohl – pragmatisch nachvollziehbar und logisch begründbar – die externe Tauglichkeit für die Praxis- und Weltbildorientierung.

2.3 Ein konzeptionelles Verflechtungsmodell der Komplexität

Topologische Räume stehen bekanntlich für Gesamtmenge, wobei jeder Punkt des Raumes ein Element (hier ein komplexes System oder Objekt O_i) repräsentiert. Topologische Strukturen ermöglichen es, intuitive Lagebeziehungen im Anschauungsraum auf große Mengen sehr allgemeiner Strukturen zu übertragen, ihnen in einem Bedingungsrahmen präzise Bedeutungen zuzuordnen und prinzipiell die Beziehungen zwischen ihnen mathematisch zu formulieren. Die Lage eines Punktes (eines komplexen Systems oder Objektes O_i) in Bezug auf die gewählten Dreiecke wird mit Koeffizienten einer Affinkombination, d.h. der Linearkombination

$$(a_1+a_2+a_3) O_i = a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3$$

dargestellt, wobei für die Summe der baryzentrischen Koordinaten $a_1+a_2+a_3 = 1$ und $0 < a_i < 1$ gilt. Sie sind relative Häufigkeiten und bilden sich als Teilstrecken ab. Dieser Sachverhalt ist von der Anwendung Gibbs'scher Dreieckskoordinaten bekannt. Die Hülle des gewählten inversen Kegels umschließt ein Feld von Bedingungen und Möglichkeiten. Insofern sollte besser vom Umgrenzen als vom einseitig deutbaren Einschränken gesprochen werden. Mit den höheren Komplexitätsgraden und Kooperationsformen entstehen neue Qualitäten und dialektische Widersprüche. Sie dialektisch aufzuheben umfasst die Überwindung und das Bewahren aber eben auch die Entwicklung – das Fortschreiten im qualitativen Niveau: tollere, conservare und elevare als Tendenzen und Gegentendenzen. Unter bestimmten Bedingungen wirkt die Emergenz, die auf dem entsprechenden Qualitätsniveau der Struktur- und/oder Genesebeziehungen als Substruktur (wie im Falle der selbstähnlichen Sierpinski-Dreiecke, Sierpinski-Schwämme und deren Komplementärstrukturen) neue Kegelspitzen und davon ausgehende Kegel (z.B. den biotischen, technischen oder den gesellschaftlichen ‚Gestaltungs-, Bedingungs- und Anschauungsraum‘) generiert.

2.4 Merkmalskomplexe der Komplexität

Die wesentlichsten *Merkmalskomplexe (Multi-Funktionalitäten)* der Komplexität stets interagierender, u.U. kooperierender, autonomer oder vernetzter Systeme/Objekte sind die *Dimensionalität* x_1 , die *Mannigfaltigkeit* x_2 und die *Systemdynamik* x_3 .

Jede dieser *Funktionalitäten* der dreidimensionalen Simplexe weist variable *Intensitäten* (Potenzialitäten und aktuelle Skalierungen: Ausmaße, Ausdehnungen, Ausprägungen, Abstufungen, Graduierungen, Differenzierungs-, Integrationsebenen und -niveaus) auf. Bereits die, an der Größenordnung (L) orientierten, Klassenbegriffe Nano-, Meso- und Makrokomplexität verdeutlichen dies. Analoges, allerdings weit Komplizierteres, gilt im Hinblick auf die adäquaten Struktur-, Funktions- und Entwicklungsgesetze.

2.4.1 Merkmalskomplex *Intensität* z_3

Der Merkmalskomplex *Intensität* steht, sprachlich vereinfachend, für den *Komplexitätsgrad* und die damit verbundene aktuelle bzw. potenzielle *Kompliziertheit* (intricacy, intricatus) des Systems/Objektes sowie die *Kooperationsformen*. Sie ist als Merkmalskomplex der grundlegenden und vielschichtigen Charakteristika der Trichotomie aus *Dimensionalität* (1), *Mannigfaltigkeit* (2) und *Systemdynamik* (3) gleichfalls eine ostinate, qualitätsbestimmende und qualitätserzeugende Multi-Funktionalität (siehe Abbildung 1).

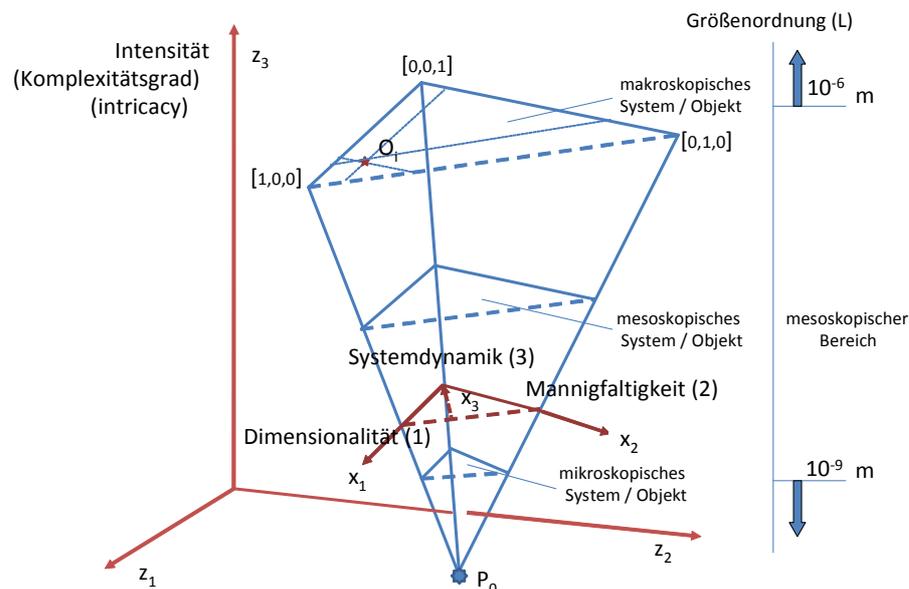


Abb. 1: Topologie der Komplexität mit $N = 4$ und baryzentrischen Koordinaten

Die zuordenbaren, einzelnen komplexen Systeme/Objekte, die in der Topologie der Komplexität im prinzipiell metrisierbaren Bedingungs-, Anschauungs- und Gestaltungsraum repräsentiert werden bestehen, je nach ihrem *Komplexitätsgrad*, ihrer *Kompliziertheit*, aus qualitativ verschiedenartigen konstituierenden Elementen und zugehörigen Relationen unterschiedlicher Mengen und Wertigkeiten. Sie begründen neue *Kooperationsformen*. Aus der Vielfalt der strukturellen Möglichkeiten bzw. Organisationsmodelle seien die Symmetrien, Kombinationen, *Aggregationen*, wie Cluster, Hierarchien und Heterarchien, genannt.

Der Begriff *Cluster* wird inzwischen als Metapher nahezu universell gebraucht. Er beinhaltet räumlich und zeitlich geordnete, dynamisch interagierende physikalische, chemische, biotische (insbesondere genetische), (computer)technische, ökonomische, musikalische und literarische Objekte und Verfahren. Die *Clusterphysik* z.B. beschreibt die spontane oder evolutionäre Herausbildung neuer Eigenschaften bestimmter, im Übergangsbereich zwischen interagierenden und aggregierenden Einzelatomen/-molekülen und einem Festkörper entstehender Systeme – eben der originären Cluster. Wenn die Anzahl der Konstituenten (Atome, Moleküle) über einem Quorum sensus liegt, zeigen die außerdem wachsenden Cluster neue, irreduzible, in den basierenden Strukturelementen nicht hervortretende Qualitäten (Emergenzen).

Cluster steht aber auch für eine besondere Form musikalischer Akkorde mit dicht nebeneinander liegenden Tönen und für ein Brainstorming – ein Verfahren kreativen Schreibens. Das Akronym CLUSTER bezeichnet, ebenso treffend, den Universitätsverband *Consortium Linking Universities of Science and Technology for Education and Research*.

Hierarchien bilden sich nach dem Procedere der Selbstorganisation oder auch fremdbestimmt (konstruiert). Sie sind in der Regel monozentrisch ausgerichtet. Zudem können selbst zueinander disjunkte hierarchische (physikalische, chemische, biotische, technische, soziale und andere) Systeme unter Beibehaltung ihrer (relativen) Autonomie, u.U. auch Rivalität, organisatorisch flexible, am Ganzen dialektisch partizipierende, kooperative ‚Einheiten‘ generieren, Heterarchien formieren. Solche *Heterarchien* funktionieren, bildlich gesprochen, wie ‚Orchester ohne Dirigent‘ und sind vor allem für biotische, technische, technologische und gesellschaftliche Systeme (Qualitätsniveaus) typisch. Diese pluralistische und dennoch einfachere ‚Organisationslogik‘ steht in der aristotelischen Überlieferung ‚ausgehandelter Ordnungen‘. Wozu bei Adaptionen jeder Genesis auch die qualitätssteigernde, ‚majorisierende Equilibrisation‘ mit systeminternen und/oder systemexternen Interaktionspartnern gehört. Es gilt z.B. als sicher, dass sich in bestimmten Insektengesellschaften ohne zentrale Kontrollinstanz neue Organisationsformen – gemeinsam agierende Ensembles interagierender Organismen, sogenannte Superorganismen – ausbilden und deren Evolution beobachtet werden kann, obwohl kein zentrales Genom existiert, auf das die natürliche Selektion wirken könnte. Das hoch komplexe System ‚menschliche Zivilisation‘ wird ganz analog als menschlicher Superorganismus aufgefasst. In den verschiedensten Seinsbereichen erhärten sich die Befunde für die verallgemeinernde These Peter Hejls: „Damit ein System sich selbst regeln kann, muss es heterarchisch organisiert sein *und* temporäre Hierarchien zulassen.“ [8]

So ergeben sich einerseits allgemeine, im gesamten Spektrum der Kooperationsformen und Komplexitätsgrad z_3 existente Sachverhalte und deren universelle Gesetzmäßigkeiten, wie die Gesetze der Physik, die in den jeweiligen Beziehungsrahmen der Qualitätsniveaus z_3 eingespannt sind. Andererseits sind für jeden Komplexitätsgrad, jedes Intensitätsniveau der dreidimensionalen komplexen Simplexe, besondere oder einzelne Fakten, empirische und theoretische Erkenntnisse zu beachten. Jede Lage im umgrenzten Raum wird demgemäß mit einem Quadrupel von Merkmalskomplexen aus $a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3$ und z_3 angegeben. Die *Skalendignität* der Variablen kann dabei, abhängig vom Erkenntnisstand, einem ordinalen Rang oder dem Messniveau einer Kardinalskala entsprechen. Die interne Verschachtelung (nesting) der Teile im Ganzen, der Charakteristika verschiedener *Komplexitätsgrade*, lässt sich anhand der Projektion in die z_1, z_2 -Ebene diskutieren. So wie es im Grundsatz von Niveau-Linien oder ‚Zwiebelmodellen‘ bekannt ist.

Die weiteren wesentlichsten, ostinat vielschichtig und vielfältig bleibenden *Merkmalskomplexe* der Komplexität – offenbar einer ontischen und logischen Struktur sui generis – werden anschließend charakterisiert.

2.4.2 Merkmalskomplex *Dimensionalität* x_1

Dimensionalität steht für eine Multi-Funktionalität, die verallgemeinerte Quantität und Qualität der Zustands-Koordinaten sowie den Freiheitsgrade der Bewegung – der Veränderung überhaupt, d.h. einschließlich der Entwicklung – im reellen (wirklichen, tatsächlichen) oder virtuellen (scheinbaren, gedanklich konstruierten, simulierten) Zustandsraum der Systeme/Objekte. Er enthält konkret/abstrakt alle strukturellen/funktionellen Größen (Variablen, Parameter, Operatoren) sowie deren reale und konstruierte Beziehungen (die *relatio in natura* und *relatio rationis*), die aus messbaren *räumlichen, zeitlichen bzw. dinglichen Eigenschaften* resultieren oder die zumindest erfahrbar, beschreibbar, bestimmbar sind.

Begriffsinhärent sind deshalb die Kategorien der Zeitlichkeit, der Räumlichkeit und der Dinglichkeit, zu Nomen suffigierte Adjektive, die prägende Eigenschaften und deren Beziehungen kennzeichnen. Sie werden nachfolgend kurz beschrieben. *Nomen est (atque) Omen*.

2.4.2.1 Zeitlichkeit (temporality, tempus)

Die Zeitlichkeit charakterisiert die zeitliche Struktur des reellen oder virtuellen Zustandsraums. Die Brechung der Zeitsymmetrie, führt zur grundsätzlichen Differenzierung zwischen der Reversibilität und dem außerordentlich bedeutsamen Phänomen der Irreversibilität. Die *externe, reversible* (ungerichtete, symmetrische, homogene) *Zeit* – das Maß der Dauer, das Kriterium der Aufeinanderfolge von Zuständen, die Kommunikationszeit, die Raum-Zeit – fungiert als äußere Koordinate, ist Parameter. Die *interne, irreversible* (gerichtete, asymmetrische) *Zeit* – die Eigenzeit, die ‚innere Uhr‘, als Metapher: der ‚Zeitpfeil‘ – entscheidet als Operator über das dynamische Systemverhalten, über Modalitäten der Bewegung im weitesten Sinn, das Timing. Erfahrungsbe-gründet wird die Zeit bewusst in Gegenwart, Vergangenheit und Zukunft gegliedert, während sie mathematisch als Zeitkontinuum eingeführt und gebräuchlich ist. Besondere Aufmerksamkeit verdienen Zyklen und andere Periodizitäten der Zustände oder Prozesse wegen ihrer speziellen zeitlichen Struktur sowie ihrer ontologischen und epistemologischen Bedeutung in allen zeitlichen Intergrationsebenen (Mikro-, Meso-, Makroperiodizitäten).

2.4.2.2 Räumlichkeit (spatiality, spatium)

Die Räumlichkeit charakterisiert primär die n-dimensionale geometrische und/oder topologische Struktur des reellen oder virtuellen Zustandsraums. Die Tatsache, dass der Raum, ebenso wie die mit ihm korrelierte Zeit, objektiv-real mit der Kategorie Materie verbunden ist, verleiht dieser dialektischen Triade nicht nur ihre besondere philosophische Relevanz, sondern begründet zugleich deren fundamentalen Stellenwert für die Komplexität und wirkt auf den Raum zurück.

2.4.2.3 Dinglichkeit (materiality, res)

Die Dinglichkeit charakterisiert die ontische Struktur, die möglichen Beschaffenheiten, Bestimmtheiten (Eigenschaften) der Dinge (Gegenstände, Sachen), also der Objekte, auf die ein Subjekt seine beobachtende, sinnliche, empirische und praktisch verändernde Aktivität richtet.

Generell sei angemerkt: Der konsequent verwendete Terminus ‚Struktur‘ impliziert, dass in dem zeitlich und räumlich gegliederten Muster eine bestimmte Menge charakteristischer Relationen zwischen den jeweiligen Begriffs-/Systemelementen wirkt, wiederum spezifische Aspekte der Komplexität zu beachten sind. Die in Klammern ergänzend eingefügten englischen und lateinischen Entsprechungen sind – vor allem im Falle der Dinglichkeit sowie der Kompliziertheit –

treffender, weil umfassender, als die korrespondierenden deutschen Begriffe. Hier erweist sich eine zu unserem Anliegen diametrale Eigenschaft der deutschen Sprache als Nachteil: ihre, in vielen anderen Zusammenhängen wirkungsvolle und geschätzte, außerordentliche Differenziertheit und Variabilität.

Für die *dialektische Zusammenfassung* der drei, hier lediglich skizzierten Kategorien des essentialistisch charakterisierten, komplexen ontologischen Begriffs *Dimensionalität* lassen sich sowohl allgemeine, im gesamten Gestaltungs-, Bedingungs- und Anschauungsraum der Komplexität existente Sachverhalte, als auch für jeden Komplexitätsgrad, jede Kooperationsebene, jedes Niveau der Intensität z_3 der dreidimensionalen Simplexe $[x_1, x_2, x_3]$ geltende, besondere oder einzelne Fakten und Erkenntnisse anführen. Zum Fundamentalen gehört, dass es ohne Zeit keinen Raum gäbe – mit der Raum-Zeit-Union als unifizierter, in diesem Sinn höchster kooperativer Stufe – und dass die Zeitlichkeit die wesentlichste Ursache sowie die generelle Daseinsweise alles Seienden, des gesamten faktischen Daseins, darstellt: „Die Extasen der Zeitlichkeit sind Zukunft, Gewesenheit, Gegenwart.“ und „Das primäre Phänomen der ursprünglichen und eigentlichen Zeitlichkeit ist die Zukunft.“, heißt es z.B. in der Diktion von Martin Heidegger. [9] Mehr noch: Die Zeit erhält ihre Struktur aus der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft, unabhängig davon, dass sie in praxi als reeller Parameter verwendet wird.

In dem sich wissenschaftlich abzeichnenden, zweikomponentigen, *dialektischen Zeitkonzept* mit der externen und der internen Zeit sind – wie bereits skizziert – Raum, Zeit und Materie verbunden. Das herausragende Phänomen der *Irreversibilität*, der Invarianz realer Prozesse gegenüber der Zeitumkehr, ist eine fundamentale Eigenschaft der realen Prozesse selbst oder – noch tiefer gehend analysiert – der ihnen zugrunde liegenden Zeitlichkeit und damit ein universeller Wesenszug jeder, zu einem Zeitpunkt ‚freiwillig‘ verlaufenden (natürlichen) Veränderung *in der Zeit* (als Parameter) und *mit der Zeit* (als Operator). Die Ansprüche der forminvarianten Naturgesetze erfüllt die externe Zeitkomponente. Als anschauliche Beispiele für die interne Zeit sind die über einige Zehnerpotenzen skalierten biotischen Rhythmen bei der zeitlichen Organisation von Lebewesen über ihre endogenen biotischen Zeitgeber, z.B. in der infra-, ultra- und circadianen Rhythmik, hervorzuheben. Die Gesetzmäßigkeiten der Gerichtetheit realer Prozesse und deren Universalität bilden den Gegenstand der deshalb wissenschaftlich exponierten, über ihr Ursprungsfeld weit expandierten „extended irreversible thermodynamics“. Am Anfang dieses beeindruckenden Erkenntnisweges stand in der Augusteischen Zeit die intuitive These des Dichters Horaz (65-8 v. d. Zw.): „Die Zeit entwertet die Welt.“

2.4.3 Merkmalskomplex *Mannigfaltigkeit* x_2

Mannigfaltigkeit steht für eine Multi-Funktionalität, die verallgemeinerte qualitative und quantitative Bestimmtheit der *Vielfalt*, d.h. eine große, umfangreiche, zähl- oder/und messbare Menge bzw. eine spektrale Verteilung (multiplicity) von Zuständen/Ereignissen und die Bestimmtheit der *Vielfältigkeit*, d.h. Verschiedenartigkeit, Formen-, Gestalts- und Beziehungsreichtum, Uneinheitlichkeit, Differenziertheit (variety, diversity). Beide Teilaspekte der Mannigfaltigkeit beziehen sich auf reelle oder virtuelle (gedanklich konstruierter: abstrahierte, modellierte, simulierte) strukturelle/funktionelle Eigenschaften (bzw. Größen) der beschriebenen und bewerteten Systeme/Objekte.

Als quantifizierendes Indiz der Mannigfaltigkeit, was zugleich Unbestimmtheit/ Ungewissheit und Zufälligkeit impliziert, eignet sich prinzipiell die Renyi-Entropie:

$$H_R(X, \alpha) := \frac{1}{(1 - \alpha) \ln 2} \ln \sum_{i=1}^n p_i^\alpha$$

Sie erfasst generell die potenzielle (hier: diskrete) Information/die faktische Unbestimmtheit, quantifiziert so den *Informationsgehalt*, der das *Nichtwissen* eines ‚Akteurs‘ mit *Binärentscheidungen beseitigen*, seine Kenntnisse erweitern könnte. Der *Ordnungsparameter* $0 \leq \alpha < \infty$ in der monoton fallenden Funktion $H_R(X, \alpha)$ gewichtet die Einzelwahrscheinlichkeiten p_i von x_i .

Für $\alpha \rightarrow 1$ resultiert die aus der Informationstheorie bekannte, pragmatisch favorisierte, in Diskursen bevorzugt herangezogene Shannon-Entropie, der mittlere Informationsgehalt. In diesem Sonderfall sind sowohl alle niedrigen als auch die hohen Wahrscheinlichkeiten mit Eins gewichtet, behalten also ihren ursprünglichen Wert. Bis auf die – in der Literatur mit k angeführte, hier mit $1/\ln(2)$ fixierte Konstante – ist dieses Funktional eindeutig. Hervorzuheben ist überdies der ausgezeichnete Fall der *Gleichverteilung* $\alpha = 0$, das Maximum der faktischen Unbestimmtheit, bei dem alle Wahrscheinlichkeiten p_i von x_i für das Eintreten der n Ereignisse/das Auftreten der n Zustände der Zufallsgröße X identisch werden. Das bedeutet die Maximierung der, auch als Hartley-Entropie bezeichneten Funktion $H_R(\alpha = 0) = H_0(X)$. Sie wird numerisch vom dualen Logarithmus der Mächtigkeit von X bestimmt.

$$H_0(X) := \frac{\ln|X|}{\ln 2} = \frac{\ln n}{\ln 2} = \text{ld } n$$

Im anderen Extremum, dem maximierten Ordnungsparameters $\alpha \rightarrow \infty$, resultiert mathematisch das Supremum der Menge, das mit ihrem Maximum verwandt ist.

$$H_\infty(X) := \frac{-1}{\ln 2} \ln \left(\max_i p_i \right)$$

Aus der Vielfältigkeit folgt demgemäß die Einheitlichkeit, aus der Unbestimmtheit wird nahezu Bestimmtheit des bewerteten Zustandes.

2.4.4 Merkmalskomplex *Systemdynamik* x_3

Systemdynamik steht für eine Multi-Funktionalität, eine verallgemeinerte Prozessspezifik, die qualitative und quantitative Bestimmtheit der Bewegung – der Veränderung überhaupt, einschließlich der gerichteten Entwicklung sowie der Kräfte, die die Bewegung steuern. Sie erfasst konkret/abstrakt alle zeitlichen Änderungen der strukturellen/funktionellen Größen der Systeme/Objekte, deren realer und logisch konstruierter Beziehungen (der bereits erwähnten *relatio in natura* und *relatio rationis*) sowie die wirkenden Ursachen. Die quantifizierte Änderung des Zustandes wird auf den aktuellen Parameter Zeit(punkt), d.h. ein gegen Null strebendes Zeitelement $\Delta t \rightarrow 0$, bezogen.

Die Systemdynamik ist immer und ursächlich mit intrinsisch und/oder extrinsisch induzierenden und induzierten, internen und externen stofflichen, energetischen und informationellen Wechselwirkungen, dementsprechend mit der systemischen Komplexität als Ganzheit bidirektional kausal verbunden. Dynamik generiert oder degeneriert Komplexität und Information, sie strukturiert oder destrukturiert, führt zu zeitindifferenten oder zeitabhängigen: periodischen, instabilen oder chaotischen Systemzuständen. Entscheidende und in aller Regel kombinierte *Ursachen* der *Eigendy-*

namik liegen in den quantitativen und qualitativen Änderungen der – meist nichtlinearen – Interaktionen zwischen den Konstituenten/Agenten, im Strukturwandel der Systemelemente selbst und in der Evolution des Systems als Gesamtheit.

Hinsichtlich der agierenden und reagierenden Struktur *Information* ist theoretisch und praktisch zwischen Aktualität und Potenzialität, zwischen dem faktischen, dem wirklichen Wissen und dem komplementären, möglichen *Wissen*, der faktischen Unbestimmtheit, zu differenzieren.

Das eigentümliche raumzeitliche Arrangement ‚Komplexität‘ vereint in seiner Pluralität und Hybridität dichotomisch Persistenz und Transistenz sowie Kosmos und Chaos. Das zum griechischen Begriff Kosmos – ursprünglich einem Ordnungsprinzip – dialektisch diametrale Wesen des Chaos erschließt sich etwas allgemein verständlicher, wenn man zunächst an das nachvollziehbare Verhalten realer Gase denkt, deren Bezeichnung aus diesem Wortstamm entlehnt wurde.

Jede Unordnung verhüllt Ordnungen und sei es in Form fehlerbehafteter statistischer Mittelwerte des dementsprechend deterministischen Chaos. *Ordnung* bezieht sich *informationstheoretisch* – im Gegensatz zur Komplexität – auf den *faktischen Zustand* des Systems/Objektes. Systeme sind umso geordneter, je größer die Anzahl der ihnen zuzuschreibenden räumlichen und zeitlichen Strukturen ist. Ordnungen dezimieren demzufolge in komplexen Systemen die Vielzahl der unabhängigen verallgemeinerten Koordinaten, der Freiheitsgrade der statistischen Größen, bis – im Zustand maximaler Ordnung – keine räumlichen und zeitlichen Freiheitsgrade mehr existieren. Maximale Ordnung heißt: das System ist exakt determiniert, die Fehler sind minimiert, die *aktuelle Information* entspricht einem Maximum. Dieser Tatbestand erklärt auch die Aussage Werner Ebelings: „Die Gesetze der Dynamik komplexer Systeme bilden eine Kegel von Einschränkungen, den Gesetzeskegel.“ [10]

Herbert Hörz [5] ist zuzustimmen, dass es sich eigentlich um einen einschränkenden *Bedingungskegel* handelt. Wenn Werner Ebeling fortsetzt: „Mit steigender Komplexität wächst die Menge der gesetzmäßigen Einschränkungen.“, ist anzumerken, dass im Kontext mit den kausalen Veränderungszusammenhängen informationstheoretisch nicht generell die Komplexität, aber immer die Ordnung angesprochen wird. Nur fernab vom Gleichgewicht ist es kein Widerspruch, wenn sowohl die Komplexität, als auch die Ordnung der komplexen Systeme zunimmt.

Generell bezeichnet der Terminus *Ordnung* einen strukturierten Systemzustand, der mit stofflichen, energetischen und informationellen Aufwand erreicht und ‚im freien Spiel der Kräfte‘ nur damit stabilisiert werden kann. Die Metapher des ‚Pumpens‘ charakterisiert diesen Umstand zutreffend. Gemeint ist damit der Import arbeitsfähiger Energie (Exergie) bzw. der Export von Entropie (Anergie). *Ordnungen* sind entweder Ergebnisse der entwicklungsgesetzlichen, selbstorganisierenden Strukturbildung und/oder der menschlichen Arbeit (des zweckgerichteten Systemaufbaus, der folgerichtigen Organisation zur Realisierung bestimmter Funktionen und Interessen) Die inneren Ordnungen (inneren Strukturen) beruhen auf charakteristischen dynamischen Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen und zumeist intrinsisch motivierten Interaktionen mit der Umgebung – auf relativ beständigen Relationen. Alle natürlich entstandenen oder vom Menschen geschaffenen (artifizialen) Strukturen sind konservative bzw. dissipative Ordnungen. Statik und Kontinuität überwiegen bei niederen, Dynamik und Diskontinuitäten bei höheren, fortgeschrittenen und fortschreitenden Entwicklungsstufen. Das Platonische Ideal einer, auf universellen Prinzipien basierenden, rational koordinierten, systematischen Ordnung weicht mit zunehmender Komplexität *pluralistischen Organisationsmustern*. Insofern stimmt selbst die lakonische Sentenz: „Ordnung ist das Durcheinander, an das ich mich gewöhnt habe.“, wem sie auch zuzuschreiben ist.

Der als *Chaos* bezeichnete besondere dynamische Systemzustand ist Gegenstand der Theorie nicht-linearer Systeme – eines Teilgebietes der nicht-linearen Dynamik. Ilja Prigogine [11] unterscheidet prinzipiell und gut begründet zwei Arten von Chaos: das *dynamische Chaos* der *mikroskopischen* Ebene und das *dissipative Chaos* der *makroskopischen* Ebene (siehe z_3 – Intensität (intricacy) – in Abbildung 1).

Die beim Begriff Zeitlichkeit bereits angeführte *Brechung der zeitlichen Symmetrie* ist eine Folge des dynamischen Chaos, die Basis für das dissipative Chaos, Ursache für alle dem 2. Hauptsatz der Thermodynamik unterliegenden irreversiblen Procedures und Phänomene, wie die ‚Richtung‘ natürlicher Prozesse, die adaptive deterministische Annäherung an Gleichgewichte bei ‚majorisierenden Equibrilisationen‘, die Existenz und das Wesen dissipativer Strukturen, die Entropieproduktion, den Verlust an arbeitsfähiger, unbeschränkt wandelbarer, Energie (Exergie) in jedem natürlichen und technischen Prozess (siehe [14] und Abschnitt 3.3 dieses Beitrags). Die Bezeichnung „dissipative Struktur“ wählte Prigogine, bewusst, um die paradoxe Rolle der, unter anderen Bedingungen strukturdegradierenden, dissipativen Prozesse bei ihrer Herausbildung hervorzuheben. Ausdrücklich sei zudem auf die Schlüsselrolle des dissipativen Chaos, eines Hybrids zwischen dem ‚reinen Zufall‘ sowie der ‚redundanten Ordnung‘, seinen Stellenwert bei der physikalischen, chemischen und biotischen Strukturbildung sowie als Bedingung zur Entstehung von Informationen in neuronalen Netzen und anderen biotischen Systemen hingewiesen.

Die zahllosen, im Makroskopischen wahrnehmbaren Phänomene unterliegen im sinnlich nicht unmittelbar zugänglichen Mikroskopischen – mit seinen partiell erschlossenen Größenordnungen (L) bis 10^{-18} m – spezifischen Struktur- und Bewegungsgesetzen. Sie bilden die Wurzeln, formieren in der Mikrowelt die Möglichkeiten der *makroskopischen Komplexitäten* im systemtheoretischen Verständnis, wobei die persistente Physik obwaltet: Insbesondere liegen den physikalischen Phänomen der Natur und Technik vier Grundkräfte: die Gravitation, die schwache, die starke sowie die elektromagnetische Wechselwirkung mit der Besonderheit des Welle-Teilchen-Dualismus zugrunde.

Die Kausalrelationen als komplexe Beziehung zwischen Anfangsursache und Endwirkung enthalten als Elemente prinzipiell den *Zufall*, die Unbestimmtheit, charakteristische reale Verteilungen, relative Häufigkeiten, sie erfassen die wirkenden Ursachen und verursachten Wirkungen für eine sehr große Anzahl mikroskopischer Objekte als statistische Mittelwerte der Schar bzw. des Zeitintervalls. „Die Information als reflektierende und steuernde Struktur könnte“, so Herbert Hörz, „eine Rolle bei der Strukturbildung in der Selbstorganisation spielen und so als potenzielle Ursache künftiger Wirkungen existieren.“ [5]

Um Ereignisse und Abläufe im atomaren und subatomaren Bereich zu beschreiben, bedarf es der *Quantenmechanik*. Sie unterscheidet sich grundsätzlich von der klassisch Mechanik, mit einigen fundamentalen, abhängig vom philosophischen Standpunkt ihrer Sachwalter zum Objektiv-Realen *als gefunden oder erfunden* apostrophierten *Prinzipien*, widerspricht sie ihr scheinbar. Die Quantenmechanik ermöglicht die *Berechnung physikalischer Eigenschaften* der Atome, Moleküle, Elementarteilchen, also extrem kleiner, dennoch unendlich weiter teilbarer Strukturelemente physikalischer, chemischer und einfacher biotischer Systeme. In diesem Sinn fungiert sie als allgemeine Theorie der Veränderung beliebiger Objekte. Im Extremfall der kleinsten, in der Quantenmechanik überhaupt denkbaren ‚Einheit‘ mit einem zweidimensionalen Zustandsraum lässt sich (nach C. F. v. Weizsäcker) gar kein momentaner Ort angeben, sie ist überdies nur im hoch abstrakten Sinn überhaupt Objekt. Dem fiktiven Punkt P_0 in der Topologie der Komplexität muss folgerichtig der Hinweis auf Grenzwerte, ‚strebt gegen‘, beigeordnet werden. Die Quantenmecha-

nik hat naturgemäß eine andere mathematische Struktur als die klassische Physik, und sie bedarf in praxi sehr hoher Computerleistungen. Fundamental sind die Tatbestände, dass sich nur angegeben lässt, was prinzipiell gemessen werden kann und wie groß die Wahrscheinlichkeit des Messergebnisses ist.

Für jeden Zustand eines quantenmechanischen Systems sind für jede Observable – Messgrößen, wie Orte, Bewegungsgrößen (Impulse, Drehimpulse) – die resultierenden Eigenwerte (Messergebnisse) nur mit Wahrscheinlichkeiten bestimmbar. Weizsäcker gibt in einer unveröffentlichten Vorlesung von 1965 dazu prägnant an: „Wahrscheinlichkeit ist der Erwartungswert der relativen Häufigkeit.“ [12] Mit dieser wirkungsvollen Vereinfachung ist ein empirischer Zugang zu komplexen Sachverhalten geebnet. Theoretisch werden die Wahrscheinlichkeiten von (kumulierten) Verteilungsfunktionen der reellen Zustandsvariablen beschrieben.

Auf dem erkenntnistheoretischen Wege vom Sein zum Werden stellen sich immer wieder die Fragen, wie und nach welchen Prinzipien sich in der Zeit und mit der Zeit aus einer Vielzahl bereits mehr oder minder differenziert strukturierter (geordneter, organisierter), *interagierender Elemente* (Teilchen, Nano-, Meso- und Makrosysteme, Agenten) neue Eigenschaften herausbilden, Evolutionen stattfinden. Vieles spricht für die These, dass die Komplexität (mit all ihren Merkmalen und Aspekten) der Weg und das Ziel – präziser: die Trajektorie und der Attraktor – jeder *Evolution* ist, d.h. zugleich, sowohl deren fundamentale Modalität und Tendenz als auch deren dominantes, theoretisches und praktisches Problem.

Jedes System (noch treffender: jeder Organismus) repräsentiert auf seiner physikalischen, chemischen, biotischen, sozialen oder gesellschaftlichen Emergenzstufe, ein komplexes dynamisches, hierarchisch gegliedertes, kausal agierendes, ganzheitliches System, dessen Teile gleichzeitig Mittel und Zweck der Veränderung in Raum und Zeit sind. „Komplexe Systeme und die Gesetzmäßigkeiten denen sie unterliegen, sind im Evolutionsprozess entstanden.“ [10] Während die *Geschichte* jedes komplexen Systems als einzigartige (historisch-partikularistische) Abfolge von Ereignissen – von faktisch Geschehenem – beschrieben und erklärt wird, umfasst die futurische Evolution eine Umgestaltung des prinzipiell Möglichen zwischen den Polen des nahezu Gewissen und des nahezu Unmöglichen. So ist z.B. die Phylogenie die Beschreibung und Interpretation einer (historisch-generalisierenden) zeitlichen Abfolge von Form- und Gestaltsveränderungen im Rahmen einer Grundqualität.

Jede Evolution ist fundamental mit internen und externen stofflichen, energetischen und informationellen Transport- sowie internen Konversionsprozessen verbunden, sie unterliegt charakteristischen adaptiven ‚Mechanismen‘, beruht auf inneren Selektionen und Adaptionen an das gesamte Bedingungsgefüge. Zentrale Voraussetzung für das irreduzible, evolutionär Neue, die *Emergenz*, ist, eine hinreichend große Anzahl von Systemelementen, die Offenheit für zukünftige Funktionalitäten sowie das Generieren und Kooperieren selbstreferentieller Zyklen.

Das originär physikalische Ordnungsprinzip der Emergenz – nach Aristoteles die Übersummativität bei der das Ganze mehr als die Summe der Teile repräsentiert – ist eine die Selbstorganisation reflektierende, verallgemeinerte Erscheinung der Herausbildung neuer Qualitäten. R. Pfeiffer und Chr. Schreier heben erklärend hervor: „The term ‚emergence‘ is used primarily in three different ways:

1. something surprising and not fully understood,
2. a property of a system not contained in anyone of its parts,
3. behaviour that is not preprogrammed that arises from agent-environment interaction.“ [13]

Trotz aller ‚Unschärfe‘ kennzeichnet der Begriff das spontane Entstehen neuer, komplexerer Strukturen und Phänomene auf einer höheren Organisationsebene der Systeme/Objekte. Sie sind Grundlage für die neue (emergente, irreduzible) Eigenschaft, die keins seiner konstituierenden Elemente besaß oder für ein neues, in den Relationen mit der Umgebung nicht zwingend vorprogrammiertes Verhalten, für die majorisierende Equilibration. Unter der Systemebene der emergenten Eigenschaft liegendes Gesetzmäßiges ist in einem neuen Bedingungsgefüge dialektisch ‚aufgehoben‘ und dabei irreduzibel überformt. Die Selbstorganisation wirkt in ihrer jeweiligen kosmogonischen, biogenetischen, tradigenetischen, ratiogenetischen ... Ausprägung als evolutives Potenzial.

3. Exemplarische Komplexitäten in Natur, Technik, Wissenschaft und Gesellschaft

Einige, bewusst breit gefächerte *Beispiele*, vom Strömungsphänomen der Turbulenz bis zur Inter- und Transdisziplinarität in der Wissenschaft, sollen das im Grundsatz Vorgestellte und die unerschöpfliche Vielfalt der *kumulativen* bzw. *irreduziblen Komplexität* in verschiedenen Strukturniveaus bzw. Organisationsebenen und Erkenntnishorizonte verdeutlichen.

3.1 Turbulenz – ein ganzheitlicher, komplexer Strömungszustand

Das naturgesetzlich und technologisch überaus bedeutsame physikalische Phänomen der *Turbulenz* gehört zu den herausragenden komplexen, nicht-linearen, dynamischen Phänomenen. Diese *passive*, weil energetisch/exergetisch fremd versorgte, *dissipative Struktur* repräsentiert eine fluktuierende Ordnung, einen räumlich stets dreidimensionalen, *ganzheitlichen Zustand* von *Strömungen*, d.h. unter dem ursächlichen Einfluss von Kräfteensembles stehender, deformierbarer, ortsveränderlicher, massenkonstanter Systeme. Die Forderung $m = \text{const.}$ ist eine wichtige, die Modellierung von Strömungen erheblich vereinfachende Bedingung.

Jenseits kritischer Parameter (z.B. widergegeben als kritische Reynoldszahl Re_{kr} – dem Verhältnis der, in der charakteristischen Strömungsgeometrie obwaltenden Trägheits- und Reibungskräfte) – stellen sie sich weitab vom Gleichgewicht spontan ein. Es handelt sich um einen, im Wesen und Ursprung nur in Ansätzen erkannten, wenig beherrschten, empfindlich von seinen Anfangs- und Randbedingungen abhängigen, Exergie (siehe Abschnitt 3.3) dissipierenden *Strömungszustand mit Substrukturen* in einer großen Erstreckung ihrer Längen- und Zeitskalen. In diesem Regime ‚diktieren‘, um im Bild des Regimes zu bleiben, tiefer liegende räumliche und zeitliche Strukturen das außerordentlich schwer zu erfassende und vorherzusagende *Gesamtverhalten* der makroskopisch stationären oder instationären Strömung. Die Hierarchien aus einer Vielzahl fluktuierender, dreidimensionaler Fluidwirbel, die – top-down betrachtet ähnlich ineinander verschachtelter Matroschkas – vom Makroskopischen bis an molekulare Größenordnungen (siehe z_3) reichen. Sie haben innerhalb der Hauptrichtung der Strömung eine komplizierte Drall- oder Spinstruktur, also translatorische und rotatorische Bewegungskomponenten, sie unterliegen überdies anhaltenden, zufälligen Oszillationen/Fluktuationen. Die Turbulenzen bestimmen damit zugleich die molekularen Transportprozesse, prägen die Energie-, Konzentrations- und Phasenstrukturen der so strukturierten Medien, wobei die dafür verbreitete Verwendung sogenannter turbulenter Transportkoeffizienten, wie a_t, D_t, ν_t , für den Wärme-, Stoffkomponenten- und Impulstransport, dem Wesen der Turbulenz widerspricht. Die Turbulenz ist keine Stoffeigenschaft, wie sie die Temperaturleitungs- und Diffusionskoeffizienten bzw. die dynamischen Viskositätskoeffizienten als kinetische Stoffgrößen (a, D, ν) abbilden, sondern offenkundig ein Charakteristikum ihres

physikalischen Deformationsverhaltens. Die Bewegungsvorgänge sind konsequent im räumlichen Mittel ihrer translatorischen und rotatorischen Bewegungskomponenten zu beschreiben. Überdies sind Energiemaße notwendig, die die, auf die energetischen Mittelwerte bezogenen, teilweise beträchtlichen Amplituden der Oszillationen für die Energien der Translations- und Rotationsbewegung separat erfassen.

Alle Momentanwerte der systembeschreibenden thermodynamischen und fluiddynamischen Zustandsgrößen Z , wie Temperaturen, Drücke, Konzentrationen und Geschwindigkeitskomponenten, lassen sich daher als Summen aus dem jeweiligen statistischen Mittelwert (eines hinreichend großen Zeitintervalls oder einer Schar zufallsbedingter Fluktuationen) $\langle Z \rangle$ und der aktuellen Schwankung \hat{Z} darstellen.

$$Z := \langle Z \rangle + \hat{Z}$$

Die grundsätzliche Schwierigkeit der Modellierung und Simulation turbulenter Strömungen besteht darin, für die Schwankungsgrößen prozessadäquate *und* gleichermaßen beherrschbare physikalisch-mathematische Ansätze zu finden.

3.2 Komplexe Fluide – eine außerordentlich signifikante Stoffklasse

Der im Kegel (siehe Abbildung 1) markierte Punkt O_1 könnte für ein Beispiel aus der großen *Stoffklasse* der *komplexen Fluide* stehen. Sie erstrecken sich über Größenordnungen von 10^{-9} m bis 10^{-6} m. Zu ihnen gehören alle deformierbaren (l-flüssigen, v-gasförmigen und hybriden-l,v), komplexen, physikalischen, physiko-chemischen und biotischen Systeme. Also vor allem *Kolloide – Gesamtheiten* aus Teilchen, supramolekularen Aggregaten oder Tröpfchen, die in einem fluiden (deformierbaren) Dispersionsmittel mono oder polydispers verteilt sind und dabei beweglich bleiben, wie kolloide Suspensionen, Emulsionen, interagierende Makromoleküle, Aero- und Hydrossole, physikalisch oder chemisch vernetzte Gele, das Cytoplasma, Blut und Zellmembranen.

Gedanklich leicht nachvollziehbar steigt der Komplexitätsgrad, entwickeln sich die dynamischen Kooperationsformen und leistungsfähigeren Funktionalitäten von den komplexen physikalischen Fluiden in Richtung der biotischen Repräsentanten der Klasse, wie dem Blut und den Zellmembranen.

3.3 Exergie – die komplexe Zustandsgröße eines fundamentalen, ganzheitlichen wissenschaftlichen Konzepts

Das *Exergiekonzept* ermöglicht, begünstigt und qualifiziert die energetisch besonders aussagefähigen Analysen und Bewertungen komplexer, mindestens pseudodualer, heterarchischer *Ganzheiten* $E = \{\Sigma, \Sigma_U\}$ aus disjunkten Systempaaren.

Sie konstituieren sich aus dem zu evaluierenden, offenen *Kernsystem* Σ (das selbst aus wechselwirkenden hierarchischen Teilsystemen unterschiedlichster physikalischer und chemischer Substruktur bestehen kann) und dem autonomen, mit dem Kernsystem allerdings reversibel (bzw. quasistatisch) stofflich, energetisch sowie informationell interagierenden *Referenzsystem* Σ_U im inneren thermodynamischen, u.U. im gehemmten Gleichgewicht. So sind die maßgeblichen, zuvor externen Interaktionen des Kernsystems mit der Umgebung in der heterarchischen *Ganzheit* interiorisiert. Als *Referenzsysteme* fungieren Reservoirs quasi unendlicher Extension bzw. Umgebungssysteme mit festliegenden (natürliche Umgebung) oder zweckmäßig festgelegten (Modellumgebung) intensiven Parametern $\Gamma_{j,u} = \text{const}$. Die Einschränkung j konstante Gleichgewichtspa-

parameter $\Gamma_{j,u}$ (z.B. T_U , p_U , $\mu_{k,U}$, der Temperatur, dem Druck und den chemischen Potenzialen der k Stoffkomponenten in der Umgebung) ist zu fordern, damit die thermodynamisch benötigten Zustandsgrößen (wegen der zusätzlichen Forderung $\Gamma_{j,u} = \text{const.}$ solche zweiter Art) resultieren. Alle Zustandsgrößen bilden totale Differenziale.

Mit der Erhöhung der Zahl strukturell/funktionell in der *Ganzheit* ‚*Exergiekonzept*‘ kombinierter, integrierter theoretischer und praktischer Systemelemente sowie deren Relationen wächst die Komplexität, werden Emergenzen generiert. Die Emergenzen resultieren sowohl aus der *Synthese des Energie- und Entropieprinzips* als auch aus der *strukturellen und prozessualen Integration der Umgebung*. Auch in diesem Zusammenhang repräsentieren emergente Eigenschaften einerseits Neues, bringen andererseits – wie bereits hinsichtlich der Referenzsysteme erwähnt – weitere gesetzmäßige Einschränkungen hervor. Das interdisziplinäre, komplexe und emergente Exergiekonzept nutzt die Allgemeine Thermodynamik, die Mischphasenthermodynamik, die Thermodynamik irreversibler Prozesse, die statistische Mechanik, die Elektrochemie, die Informationstheorie, die Synergetik, Ökonomie, ... , formiert die herausragende *Zustandsgröße Exergie*. [14] Gegenwärtig expandiert das Exergiekonzept mit der *exergy of matter*, *exergy of (physical., chem., biot.) energy*, *exergy and information* zu einer ‚*theory of physical resources*‘ (vgl. Göran Wall [15]).

Worin zeigt sich die neue Qualität der Exergie? Die *Exergie*, der arbeitsfähige (freie, unbeschränkt wandelbare) Teil jeder Energieart – der Energieanteile und der Energieformen – sowie der Gesamtenergie (siehe Gl. (1) und (2)) bildet ein *einheitliches* und *qualitätsentscheidendes Energiemaß*. 1953 schlug Zoran Rant dafür das Kunstwort ‚Exergie‘ (εξ έργον) vor. Dieses Arbeitspotenzial ist als qualitative Einheit der energetischen Vielfalt wesensgemäß eine fundamentale natur- und technikwissenschaftliche, überdies mit ökonomischen Kategorien kombinierbare Größe. Sie repräsentiert die unter reversiblen Bedingungen beim *Potenzialausgleich* jeder der j intensiven Zustandsgrößen Γ_j (bis zum vollständigen Gleichgewicht mit der Umgebung: $\Gamma_j - \Gamma_{j,u} = 0$), daher *maximal gewinnbare*, beim *Potenzialaufbau* jedoch *minimal aufzuwendende Arbeit*. V. M. Brodjanski definiert: „Exergy is the quantity of work which can be extracted by an external energy consumer during a reversible interaction between a system and its surroundings until complete equilibrium is reached.“ [16] Diese Aussage korrespondiert mathematisch mit dem Term $dW_{\text{rev},E}$ der Gleichung (3) – der infinitesimalen ‚quantity of work ...‘ in einem differenziellen Zeitelement dt .

Logisch konsequent wird der *nicht arbeitsfähige* – der gebundene und deshalb keineswegs unwichtige – *Teil* der jeweiligen Energie *Anergie* genannt. Aus der Summe von Exergie und Anergie ergibt sich daher die Energie und in jedem natürlichen (irreversiblen) Prozess muss gesetzmäßig Exergie in eine energetisch äquivalente Menge Anergie umgewandelt werden. Die Bedeutung der Anergie im ‚Energiebild‘ entspricht der der Exformation im ‚Informationsbild‘.

Neben der Anschaulichkeit der Exergie (*exergy*, *availability*, *utility*, *l'energie utilisable*, *travail maximum*, *работоспособность*) als maximaler Arbeitsfähigkeit in Bezug auf eine natürlich vorhandene oder pragmatisch definierte Umgebung und des Exergieverlustes (der mengengleichen Anergiezunahme infolge der Irreversibilitäten) als Verlust an (technischer) Arbeitsfähigkeit, gelten für die exergetischen Betrachtungsweisen und Berechnungen einfache und übersichtliche Regeln. Sie gestatten die einheitliche Bewertung und Beurteilung unterschiedlichster energetischer Prozesse. Stellvertretend für alle Potenziale werden die Sachverhalte mit den Fundamentalgleichungen für die innere *Energie* U und die *Exergie der inneren Energie* (U^* , M_o - motivity) skizziert. Diese charakteristischen Funktionen enthalten als *Synthese des Energie- und Entropiesatzes* im Gewand der Formalwissenschaft Mathematik alle Aussagen der Thermodynamik zu Gleichge-

wichtssystemen. Notwendige und hinreichende Bedingung für das Gleichgewicht ist die homogene Verteilung aller j charakteristischen intensiven Größen Γ_j bzw. Γ_j^* . Es gilt:

$$dU = TdS + \sum L_i dl_i + \sum \mu_k dm_k = \sum \Gamma_j dP_j \quad (1) \text{ (Energieformen)}$$

$$dU_{\text{ges.}} = dU + dE_{\text{kin}} = m(du + \vec{w}d\vec{w}) + u_{\text{ges.}}dm = 0 \quad (2) \text{ (Energieanteile)}$$

$$dU^* = dM_o = (T - T_U)dS - (p - p_U)dV + \sum (\mu_k - \mu_{k,U})dm_k = \sum \Gamma_j^* dP_j = dW_{\text{rev,E}} \quad (3) \text{ (Exergieformen)}$$

Die für differenzielle Zeitbereiche dt geltenden Energie- und Exergiegleichungen (1), (2) und (3) führen nach der Integration dieser Differenzialgleichungen (mit dem Eulerschen Theorem) zu den Euler-Gleichungen (4) und (5). Die j additiven Glieder –Produkte aus generalisierten intensiven Größen Γ_j bzw. Γ_j^* und generalisierten Quantitätsgrößen P_j – repräsentieren in den Euler-Gleichungen wiederum Energie- und Exergieformen von Potenzialen mit i verallgemeinerten Arbeitskoeffizienten L_i , i verallgemeinerten Arbeitskoordinaten l_i und k Stoffkomponenten. Ihre Existenz folgt in beiden Fällen auf rein mathematischem Weg.

$$U = \sum \Gamma_j P_j = TS + \sum L_i l_i + \sum \mu_k m_k \quad (4) \text{ (Energiepotenzial)}$$

und

$$M_o = \sum \Gamma_j^* P_j = (T - T_U)S + \sum (L_i - L_{i,U}) l_i + \sum (\mu_k - \mu_{k,U}) m_k \quad (5) \text{ (Exergiepotenzial)}$$

Beim Bezug aller Terme der Gleichungen (1), (2) und (3) auf ein gegen Null gehendes Zeitelement $\Delta t \rightarrow 0$ – einen *Zeitpunkt* – resultieren die noch wichtigeren Strombilanzen der Energie bzw. Exergie mit den *vektoriellen Strömen* der j Quantitätsgrößen

$$\vec{J}_j := - \left(\vec{v} \frac{d}{dt} P_j \right)$$

Das ist der 1. Schritt zur Dynamik. Werden die Quantitätsgrößen P_j überdies auf ein Volumenelement bezogen, dessen Extension gegen Null geht, $\Delta V \rightarrow 0$, so entsteht als höchstmögliche Idealisierung realer Körper ein *Massepunkt* (oder eine Punktmasse) Der thermodynamische Zustand des Massepunktes lässt sich mit diesen ‚Dichten‘ $P_{j,V}$ charakterisieren

$$P_{j,V} := \lim_{\Delta V \rightarrow 0} (\Delta P_j / \Delta V)$$

Das ist der Weg, der über Bilanzgleichungen zur Berechnung von Geschwindigkeits-, Temperatur- und Konzentrationsfeldern sowie deren Änderungsgeschwindigkeiten führt.

3.4 *Eliten* – ‚ganz besondere‘ soziale Gruppierungen

Eine typische *komplexe adaptive gesellschaftliche Struktur* repräsentieren *Eliten*. Von besonderem Interesse sind deren Basierung und Separation (bis zum quasi geschlossenen, also elitären System), die Motivationen und Maximen ihrer Agenten, ihr Selbstverständnis – das Zusammenspiel von Kognition und Volition, die lokalen Interaktionen innerhalb der Gruppierungen mit

mehr oder minder stark fluktuierenden Zusammensetzungen sowie deren rückkoppelnde Auswirkungen auf das hoch komplexe gesellschaftliche Gesamtsystem der Gegenwart. Das Spektrum der gesellschaftlich relevanten, hier nur im Grundsatz mit Fragen zu kennzeichnenden, Probleme lässt sich noch erheblich erweitern, mit vielen historischen Erfahrungen beider mathematischer Vorzeichen sowie aktuellen Tatbeständen und Krisen illustrieren. Das gilt für die politischen, wirtschaftlichen, intellektuellen, strategischen, künstlerischen, sportlichen, administrativen und anderen Eliten gleichermaßen, wenn auch mit gravierend unterschiedenen ‚Gewichten‘ für die Funktionssicherheit, die Existenz, die Perspektiven und Entwicklungsmodalitäten des Gesellschaftssystems. Dabei drängen sich Kaskaden von Fragen auf: Entspricht es den Realitäten, dass sich bestimmte Eliten in ihrer *biopsychosozialen Einzigartigkeit* selbst definieren, ernennen und selbst reproduzieren, hauptsächlich von Ruhmesbegierde stimuliert werden, häufig egomanisch agieren, überwiegend eigeninteressenorientiert, mit von Humanität separierter Schärfe denken und handeln, ein Großteil der Finanz- und Wirtschaftseliten die funktionale Raffgier als unverzichtbares Elixier des Wachstums fetischisiert, politische Eliten vor allem nach kurzfristigen, taktischen Erfolgen streben, die Kooperationsbereitschaft der rigiden Löwen und/oder der liberaleren Füchse mit potenziellen Partnern insbesondere von deren disponiblen ‚bürokratischen Ressourcen‘ als attraktiven Kräften der Interaktionen bestimmt wird, administrative Eliten im Interesse eines wenigstens mäßigen Fortschritts des spürbaren äußeren Drucks bedürfen, derartige Faktoren – trotz vorhandener Potenziale selbst in Krisen – die Modernisierung der Wirkungssphären erheblich behindern und mancherorts den status quo regelrecht zementieren?

Wie auch immer die Antworten im Einzelnen ausfallen – die personelle, intellektuelle und moralische Struktur der Eliten sowie der Modus und der Grad ihrer unausweichlichen, ständigen Erneuerung sind gewiss bedeutungsvolle Indikatoren und Maßstäbe für das Niveau der sozialen Integration und Evolution. Werner Ebeling verdanken wir – im Kontext mit der *Konkurrenz* und dem *Wert* als bestimmenden Faktoren der *Selbstorganisation* und Evolution komplexer Systeme – die Hinweise, dass erstens komplexe Systeme in der Regel nur wenige Ordnungsparameter haben, an denen eine Steuerung ansetzen kann. Zu den wichtigsten zählen Werte und zweitens zum „Versuch einer *Steuerung gesellschaftlicher Prozesse* sollten möglichst einfache Mechanismen verwendet werden, um nicht riskante Instabilitäten auszulösen.“ [10] Bezogen auf das Denken und Handeln bestimmter Eliten heißt das, humanistische Werte als exogene, unabhängige Variable, als Regressoren, aufzurufen, die entweder axiomatisch verpflichtend vorgegeben oder von einer umfassenderen als der gruppenspezifischen (endogenen) Ethik determiniert sind.

3.5 Technologien – hoch komplexe gesellschaftliche und wissenschaftliche Phänomene

Der *duale* Begriff *Technologie* umfasst einerseits komplexe *produktionspraktische Prozess-Systeme* und andererseits die damit korrelierten, empirischen sowie *theoretischen Wissens-Systeme*, d.h. die theoretischen Maßstäben zum Erkunden, Erklären und Beherrschen spezifischer Seiten des objektiv Realen. Objekt des Prozess-Systems ist die produkt- und/oder prozessbezogene Art und Weise, mit der Menschen die Gegenstände ihrer Arbeit (Stoffe, Energien, Informationen) mit Hilfe bestimmter Wirkprinzipien und eigens dafür geschaffener Arbeitsmittel (technischer Artefakte, wie Werkzeuge, Maschinen, Apparate, Anlagen und operationeller Stoffe, Energien und Informationen) unter Nutzung bestimmter Kooperations- und Organisationsformen zielgerichtet, effizient und effektiv verändern. Umfangreiche und spezifizierbare Gruppen *technologischer Operationen* dienen der *Ortsveränderung*, der, lediglich die Quantitäten innerhalb einer Qualität der Arbeitsgegenstände betreffenden, *Parameteränderung* und/oder der qualitativen Wandlung innerer Strukturen – der *Konversion* von Stoffen, Energien und Informationen.

Als *Wissens-Systeme*, als interagierender Teile der Klasse der Technikwissenschaften, haben die speziellen (produkt- oder prozessorientierten) Technologien die Gesetze, Gesetzmäßigkeiten und Theorien der materiell-technischen Seite der oben charakterisierten Produktionsprozesse zum Gegenstand, während die ‚Allgemeine Technologie‘ methodisch auf einen Kanon weiter abstrahierter und generalisierter, allgemein notwendiger und wesentlicher struktureller und funktioneller Zusammenhänge in technologischen Systemen orientiert ist. [17] Es trifft tatsächlich einige ihrer Wesensmerkmale, wenn man sie als ‚Technologie der Technologien‘ charakterisiert und in dieser Beziehung Technologie, stark vereinfachend, als effizientes Beherrschen von Handlungen begreift.

Mit der *evolutorischen Technologie* ist ein herausragendes, hoch komplexes gesellschaftliches Phänomen gegeben, das als Ziel und Mittel den fundamentalen wissenschaftlich-technischen Fortschritt charakterisiert und zugleich maßgeblich trägt. Dass und wie multifaktorielle gesellschaftliche und technologische Entwicklungen im theoretisch aufzuspannenden N-dimensionalen Raum verwoben und zeitlich korreliert sind, zeigt sich besonders beeindruckend in den Implikationen der *technologischen und gesellschaftlichen Produktionsweise*.

Die *Innovationen*, die heute weit überwiegend aus einer Vielzahl von Resultaten verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen hervorgehen, äußern sich primär in der Art, Menge, Qualität und den Kosten der Erzeugnisse, in der manifesten Produktionstechnik, der integrierenden Produktionstechnologie und den ökologischen Konditionen.

In der Regel steigen die angestrebte ökonomische Ergiebigkeit und Nachhaltigkeit der voneinander abhängenden Neuerungen in gewichteter Folge vom Produkt über die technischen Mittel bis zur Hochtechnologie. In erster Linie sind es heute Schlüsseltechnologien, wie die Informations- und Kommunikationstechnologie, die Mikro- und Nanotechnologien, (die Mikroelektronik, Optoelektronik sowie neue Werkstofftechnologien eingeschlossen) und die Biotechnologie, die die gegenständlichen Existenz- und Entwicklungsbedingungen der Gesellschaft tief greifend und nachhaltig wandeln, die es gestatten, bisher limitierende Produktivitäts-, Effektivitäts- und Kreativitätsschranken zu durchbrechen, das Leistungsvermögen der Menschen zu potenzieren, die Funktionsteilung zwischen der hoch entwickelten Technik und den Menschen (und damit zugleich deren Arbeitsbedingungen) zu verändern, die Arbeitsteilung im gesamten Reproduktionsprozess grundlegend – positiv und negativ – zu beeinflussen. Technologische Innovationen unterliegen der wissenschaftlichen und einer systemtypischen wirtschaftlichen Logik; sie sind dominant interessengeleitet aber auch institutionell überformt und daher nur als sozial strukturierter Prozesse zu verstehen. Das gilt für die Veränderungen der technologischen Produktionsweise selbst und die Modalitäten unter denen sie sich vollziehen.

In der Konsequenz bedürfen Technologien (im Sinne optimierter produktionspraktischer Prozess-Systeme sowie leistungsfähiger Wissens-Systeme aus kalkulatorisch-algorithmischen Kenntnissen und axiomatisch-deduktiven Erkenntnissen, aus *technè* und *epistemè*), integrativer sozio-ökonomisch-technischer Analysen, der komplexen Bewertung, der antizipativen Technikfolgenabschätzung, die auch außerwissenschaftliche Expertise integriert. Sie sind zudem Herausforderungen für unser Selbstverständnis.

„Bleibt man bei den Konstruktions-, Material- und Verfahrensregeln stehen“, betont der Philosoph Herbert Hörz in seinen Überlegungen zur Technologie zwischen Effektivität und Humanität, „dann wird die wachsende Komplexität von Aufgaben und Entscheidungssituationen nicht

beachtet, die natürliche, technische, gesellschaftliche, kulturelle und mentale Faktoren verknüpft. Technologieentscheidungen sind nicht nur politische und ökonomische, sondern auch kulturelle und soziale Entscheidungen, die die Entwicklung und die Existenz soziokultureller Identitäten prinzipiell beeinflussen. Eine Allgemeine Technologie muss sich auch dem Verhältnis von Humanität und Effektivität widmen.“ [18]

3.6 *Inter- und Transdisziplinarität* – komplexe wissenschaftliche Prinzipien und Integrationsstrategien

Von besonderem Stellenwert sind die Herausbildung inter- und transdisziplinärer (synthetischer) Methodologien oder sogar neuer Wissenschaften. Seit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wird versucht, mit *innovativen, erkenntnis- und handlungsorientierten wissenschaftlichen ‚Verflechtungs- und Integrationsstrategien‘* die Komplexität und die dazu komplementäre Kooperativität materieller sowie ideeller Systeme, die konjugierten Prozesse (genauer: das pro-cedere, also das Voranschreiten, das Wandeln und Evolvieren), damit verbundene, mannigfaltige Probleme und Entscheidungen auf eine neue Weise – zwar im unterschiedlichen Integrationsgrad, aber immer ganzheitlich und konsequent am Ziel orientiert – zu sehen, zu verstehen sowie individuell und kollektiv zu meistern. Werden mit diesen Zielen und Prinzipien (Konzeptionen, Paradigmata) mehrere Wissenschaftsdisziplinen – nach Maßgabe ihrer spezifischen theoretischen und experimentellen Methoden, Erklärungsmuster, Handlungsfähigkeiten und Handlungskapazitäten – (u.U. auch organisatorisch, institutionell) zusammengeführt, um einen komplexen Forschungsgegenstand oder -bereich zu begründen, zu bearbeiten bis polyperspektivisch zu interpretieren, zu vereinheitlichen, dann wird von *Interdisziplinarität* bzw. (bei größerer Anzahl der Konstituenten) von *Multidisziplinarität* gesprochen. Charakteristisch für diese Formen geregelter Kooperationen verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen (Einzelwissenschaften) sind wissenschaftliche Methodenmenüs. Die besondere Bedeutung der *wissenschaftlichen Methoden*, des Hauptgegenstandes im Kompositum, resultiert aus ihrer Funktionalität: Sie tragen, so Ludwig Boltzmann, als „Skelett den Fortschritt der gesamten Wissenschaft“, dienen der Zugänglichkeit, Verständlichkeit, Gestaltbarkeit und Beherrschbarkeit- des phänomenologischen Reichtum, der riesigen Mannigfaltigkeit möglicher und als Auswahl unter bestimmten Bedingungen realisierter Zustände, Strukturen und Prozesse.

Als bildspendender Teil jener, die Interdisziplinarität charakterisierenden *Metapher Methodenmenü* fungiert der, aus anderen Kontexten gut bekannte Begriff Menü. Damit werden – wie generell in der Metaphorik praktiziert – allerdings nur bestimmte, selektierte, dennoch der Fantasie Raum gewährende Inhalte des ‚Bildspenders‘, des *Vehikels*, auf die zweite Bildhälfte, den ‚Bildempfänger‘, den *Hauptgegenstand* – hier den Begriff Methode – transformiert. Menütypisch sind bekanntlich festgelegte (sequenzielle, lineare), mehrgängige, ausgewogene Folgen, erlesener bis exotischer, autonomer, aber harmonisierender Elemente, wobei durchaus, wie bei festlichen Menüs, das Ambiente – die Komplexität der Randbedingungen – einbezogen werden darf oder muss. Die hier im Grundsatz verwendete Terminologie geht auf Harald Weinrichs „Semantik der kühnen Metapher“ zurück. [19] Unter den konstitutiv und präformierend wirkenden Anregungen der Metaphorik sei eine *Arbeitshypothese*, sozusagen als *Bekanntnis auf dem Weg zur Erkenntnis* formuliert. Demgemäß bezeichnet *Interdisziplinarität* ein *koordinierendes Prinzip* (u.U. ein Paradigma) der wissenschaftlichen Bearbeitung eines Objektbereichs, eines Problems in Forschung, Entwicklung und Bildung, die Analyse, Lösung und Interpretation komplexer (wissenschaftlicher und lebenspraktischer) Probleme aus den unterschiedlichen Perspektiven, mit den jeweiligen Methoden und Theorien verschiedener Wissenschaftsdisziplinen sowie die logische Zusammenfassung der

(Teil-)Lösungen in weiter superponierbaren Clustern mit dem Ziel des ganzheitlichen (gesamtheitlichen) Verständnisses.

Aus den interferierenden Teilen entstehen – wo die *Interdisziplinarität im systematischen* oder sogar *im institutionellen Sinn* wirkt – tatsächlich umfassendere Sichten. Die Interdisziplinarität kann so zwar als geschätztes Korrektiv der Partikularisierung aber kaum als Kausaltherapie der erörterten Entwicklungsprobleme fungieren. Wegen der ersichtlichen Begrenztheit der Interdisziplinarität hat Jürgen Mittelstraß – nach eigenem Bekunden schon 1986 – das dazu komplementäre, fachübergreifende Konzept der *Transdisziplinarität* vorgeschlagen, um vor allem institutionell verursachte, allerdings auch aus wissenschaftlichen Notwendigkeiten resultierende „fachliche und disziplinäre Engführungen“ aufzuheben und adäquat jenen komplexen und komplizierten Problemstellungen innovativer Forschungen zu entsprechen, für die die tradierten Wissenschaftsstrukturen und Wissenschaftsprinzipien allein nicht mehr ausreichen, oder wo sich die Probleme dem Zugriff einzelner Wissenschaftsdisziplinen zu weitgehend entziehen. Mittelstraß hebt – im Unterschied zu anderen Protagonisten dieser Idee – hervor, dass es sich „*keineswegs um ein neues theoretisches oder methodologisches Paradigma*“ sondern um eine schon lange praktizierte, allerdings bedeutsamer gewordene Forschungsperspektive, ein forschungsleitendes Prinzip und eine wissenschaftliche Organisationsform handelt. Das ist zwar unbestritten, damit sind allerdings die gegenüber der Interdisziplinarität geforderten neuen Qualitäten der problembezogenen, idealtypisch *systemisch in ganzheitlichen Rationalitäten* integrierten, wissenschaftlichen und u.U. außerwissenschaftlichen *Methoden*, des relevanten praktischen Wissens und der theoretischen Erkenntnisse sowie die damit einhergehenden, reflexiven kognitiven Prozesse m.E. nicht ausgewiesen. Zumindest für bestimmte Problemstrukturen bzw. eine Gruppen von Disziplinen, (re)organisiert, (re)formiert die Transdisziplinarität die Einheit der Wissenschaften in einer *integrierten wissenschaftlichen Rationalität*, in einem Axiomengefüge. In der Sprache der Metaphorik wäre wohl das Bild der *Methodenkomposition* angebracht. Der ‚Bildspender‘, das *Vehikel* Komposition (compono – gestalten) repräsentiert und transfundiert alle Merkmale einer ‚Tondichtung‘, ihre mehrdimensionalen und vielschichtigen, formalen und künstlerischen Spezifika, Facetten und Ansprüche. Auch für die Transdisziplinarität sind Begriffe, wie Komplexität (mit all ihren erläuterten Merkmalskomplexen, bei Betonung der Kooperativität), Hybridität, Heterogenität, Emergenz, Information und Exformation prägend.

Günter Ropohl [7] begründet konsequent seine Position, dass es sich bei der Transdisziplinarität – m.E. in dialektischer Opposition zur Disziplinarität und Interdisziplinarität – um ein eigenständiges Paradigma handelt, das die Problem-, Gestaltungs- und Verstehenszusammenhänge pragmatisch-synthetisch erfasst, bearbeitet und bei dem die externe Tauglichkeit für die Praxis- und Weltbildorientierung als Qualitätskriterium fungiert. In seiner jüngsten, dieses Thema betreffenden Publikation vom März 2010 bekräftigt Ropohl in dieser Zeitschrift [20] schon mit der Überschrift, überdies ausführlich argumentierend und methodisch beratend, seine dezidierte Auffassung von der Transdisziplinarität als neuem Paradigma und verweist besonders auf die sehr problematische Ontologie der disziplinären Einteilung des Wissens.

Wiederum als *Arbeitshypothese* gedacht, sei – zahlreiche solcher Literaturaussagen auswertend – vorgeschlagen: *Transdisziplinarität* bezeichnet ein *integratives Prinzip* (vermutlich ein Paradigma) der Forschung und Entwicklung, das primär die Methodologie aber auch die Organisation der Bearbeitung spezieller komplexer Probleme und die adäquate Wiedergabe der Resultate betrifft, wobei wissenschaftliche Methoden und Theorien verschiedener Wissenschaftsdisziplinen, bewusst externalistisch und reflexiv mit komplementären praktischen Erfahrungen und relevantem

außerwissenschaftlichem Wissen, in praktikablen Rationalitäten (Ganzheiten) vernetzt werden und diese Ergebnisse wissenschaftlichen und bewertenden pragmatischen Kriterien genügen. Die Strategie der Transdisziplinarität resultiert im Interesse des methodisch geordneten Handelns zwingend aus der Problementwicklung und den Problemstrukturen unter Aufnahme bewahrenswerter disziplinärer Erkenntnisse.

Die Probleme Tendenzen und der Herausbildung inter- und transdisziplinärer (synthetischer) Methodologien oder sogar neuer Wissenschaften, die als Hybride, aber relativ eigenständige Subsysteme (neue Konzepte oder Einzelwissenschaften) in das Wissenschaftsgebäude bereits eingegliedert sind oder gerade implementiert werden, lassen sich in der jüngeren Wissenschaftsgeschichte und aktuell an zahlreichen wissenschaftlichen, technischen und technologischen Entwicklungslinien skizzieren. Diskussionswürdig ist in diesen Zusammenhängen, in wieweit und warum bestimmte Einzelwissenschaften, wie die Physikochemie, Biophysik, Biochemie sowie die noch weitergehende, weil technische Aspekte dialektisch ‚aufhebende‘, Informatik, Energetik, Optoelektronik, Photovoltaik, Mikroelektronik, Bionik, die Allgemeine Technologie – die ‚Technologie der Technologie‘, eine Wissenschaft in statu nascendi – u.a. als eigenständige Wissenschaften mit einem, historisch entstandenen, eigenen Gegenstand und einem unverwechselbaren Methodenkanon bereits interdisziplinäre (oder gar transdisziplinäre), hoch aggregierte strukturelle und funktionelle Einheiten, repräsentieren. Wissenschaftsdisziplinen sind augenscheinlich nichts Naturgegebenes, sondern wissenschaftsgeschichtlich Gewordenes und demzufolge Wandelbares.

Die Objekt- und Methodenensembles ‚synthetischer‘ Wissenschaften, ihre charakteristischen Fragestellungen und Arbeitsweisen enthalten erhebliche Überlappungen mit anderen Fachgebieten. Ihre Verflechtungs- und Integrationsgrade erstrecken sich über große Skalenbreiten. In der Medizin wird noch heute bereits dann von *Interdisziplinarität* gesprochen, wenn Fachärzte für Chirurgie und Radiologie oder die eng verwandten Gynäkologen und Urologen kommunizieren – also tatsächlich *Intradisziplinarität* praktiziert wird.

Sind wissenschaftliche Disziplinen, wie aphoristisch kolportiert, also tatsächlich ‚Zünfte des Denkens‘ oder gar waffenfähige Vehikel konkurrierenden Handelns? Gewiss, Inter- und Transdisziplinarität bedürfen der unverzichtbaren wissenschaftlichen Disziplinarität – der gleichgerichteten Konzentration auf fach(gebiets)spezifische Probleme, Ansätze, Methoden und Denkweisen. Das ist objektiv notwendig, aber seltener hinreichend. Ebenso sind die bloße appellative Rhetorik und der leider auch praktizierte Automatismus der plakativen Demonstration von Interdisziplinarität unsolide, ja schädlich für das anspruchsvolle und rationale Anliegen.

Als für den transdisziplinären Wissenschaftsansatz typisch steht – allen voran – die mit den verschiedenartigsten, dynamischen, selbstorganisierenden und selbstregulierenden Systemen befasste *Kybernetik* und in noch ausgeprägterer Weise die Kybernetik der Kybernetik, die Second-Order-Cybernetics oder New Cybernetics. „*Cybernetics is a way of thinking, not a collection of facts*“, heißt es, dieses Kalkül generell charakterisierend, in der Deklaration der American Society for Cybernetics. Im Verständnis einiger Wissenschaftler ist die Second-Order-Cybernetics sogar eine arrivierte Form der Konzeptionalisierung und Formalisierung der gesamten Selbstorganisationsproblematik.

Während die systemtheoretisch bewährte ‚klassische Kybernetik‘ die Regelung der Systeme hinsichtlich der Stabilität, der Adaption, des Wachstums, der Selbstorganisationen unter hierarchischen Bedingungen verfolgt, nutzt und meistert die Kybernetik der Kybernetik für ihre Untersuchungen und Projekte zur ‚Architektur‘, Organisation und Prozessualität komplexer Systeme die Bedingungen der Heterarchie.

Der Begriff ‚komplexes System‘ charakterisiert in dem Zusammenhang den logischen Komplexitätsgrad ihrer wissenschaftlichen Beschreibung.

In solchen Systemen kooperieren über- und nebengeordnete Strukturen, bedingen sich Hierarchie und Heterarchie. Es sei daran erinnert: Heterarchie bedeutet, dass verschiedene, zueinander disjunkte, hierarchische Systeme – unter Beibehaltung ihrer Autonomie – zu kooperativen Einheiten fusioniert (verflochten oder sogar integriert) werden können, die zudem selbstreferentiell sind. Eine derartige Synthese von permanenter, relativer Autonomie und zumindest temporärer Integration generiert (nach P. Hejl) die neue Qualität zur Selbstregelung komplexer Systeme. Sie ist ein faktischer Schritt auf dem Weg zum Erkunden, Erkennen und Beschreiben von Ganzheiten. Dabei wirken Notwendigkeiten, und gewiss auch Zufälle „als mögliche Ereignisse, die sich mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit realisieren können, wenn die entsprechenden Bedingungen existieren, sich entwickeln oder durch Menschen geschaffen werden. Zufälle sind die Grundlage für Risiken, d.h. von Ereignissen, die mit einer Wahrscheinlichkeit eintreten können.“ [21]

Rufen wir uns zudem Martin Heidegger’s Feststellung ins Gedächtnis: „Das primäre Phänomen der ursprünglichen und eigentlichen Zeitlichkeit ist die Zukunft.“, dann sind wir auf den offerierten Reichtum an Möglichkeiten, aber auch die Ungewissheiten, auf Chancen und Risiken der Zukunftsgestaltung gleichermaßen, hingewiesen.

4. Fazit: „Überall geht ein frühes Ahnen dem späten Wissen voraus“

In Korrespondenz mit dieser These Alexander von Humboldts wird die Transdisziplinarität gegenwärtig als ‚erahnt‘ wirkungsvoller, chancenreicher Schritt zu ganzheitlichen Sichten zunehmend in Betracht gezogen und als Handlungsmaxime erprobt. Eine derartige Problembewältigungs-Strategie resultiert wesensgemäß aus der Realdialektik bestimmter Problemwicklungen und Problemstrukturen selbst: „Causa aequat effectum.“ Auf der Basis autonomer disziplinärer Kompetenzen strebt die *Transdisziplinarität – als ein Ingrediens der Wissenschaft* – die gegenseitige Verständigung, den Erkenntnisgewinn und Handlungsempfehlungen in effektiver wissenschaftlicher Kooperation verschiedenster Wissenschaftsdisziplinen – darunter dem produktiven Diskurs – für solche fachübergreifenden Probleme an, die die gegenwärtige und die prognostizierte gesellschaftliche Entwicklung mit all ihren Sphären generiert, die der Wissenschaft bedürfen und auf sie zurückwirken. Das unbestritten vernünftige und effektive Gebot der Interdisziplinarität offenbart in diesen Kontexten engere Grenzen. Dass das vor allem die Prozesse und Resultate des komplexen, tief greifenden und folgenreichen wissenschaftlich-technischen und sozialen Wandels betrifft, liegt im Wesen der Sache. *Partikularität und Universalität* bedingen sich dabei in *dialektisch widersprüchlicher Einheit*.

Wissenschaftstheoretisch wird zu Recht hervorgehoben, dass die Transdisziplinarität einer Erfolg versprechenden, ihre spezifischen Methoden und Modelle prägenden, ‚allgemeinen Rationalität‘ mit allen Bestimmungsstücken, Maßstäben und Kriterien logischer Systeme folgt. Trotz (oder gerade wegen) des dabei praktizierten reduktionistischen Vorgehens, einzelwissenschaftliche Methoden zweckbewusst, planvoll und begrifflich fassbar – also rational – zu selektieren, kombiniert sie methodische Teile sowie Leitgedanken transdisziplinär unter der skizzierten finalen Orientierung auf inner- und außerwissenschaftliche Probleme in einer nachhaltig kooperierenden wissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweise. Das ist der hoffnungstragende Modus für das ‚späte Wissen‘, die Erweiterung der Erkenntnishorizonte in ihrer Einheit von Exploitation und Exploration, für die *Praxis- und Weltbildorientierung und sachgerechte Lösungen* jener in diesem Beitrag

diskutierten *Bestimmungsprobleme* (in Form von Beschreibungs-, Erklärungs-, Bewertungs-, Explikations- und Definitionsproblemen), als auch für die verschiedenen, nur gesamtheitlich/gemeinschaftlich zu meisternden *Entwurfs-* und *Realisierungsproblemen* von hohem gesamtgesellschaftlichem Stellenwert. Dafür gilt es verstärkt problemorientiert und flexibel, leistungsfähige Kooperationsmethoden zu synthetisieren und zu konsolidieren, die disziplinär ‚verteilte Intelligenz‘ in autonomen und zugleich integrativen, dynamischen Strukturen – nach dem Grundmuster der innovationsfördernden heterarchischen Organisationsform und der Transdisziplinarität – zu koordinieren, das Erkunden des Neuen mit dem Nutzen des Bekannten zu amalgamieren.

Literatur

- [1] J. Mittelstraß: „Methodische Transdisziplinarität“. In: Technikfolgenabschätzung Theorie und Praxis Nr. 2; Karlsruhe 2005, S.18-23
- [2] R. Mocek: „Inter- und Transdisziplinarität als wissenschaftliche Problemlösungsstrategien?“ In: LIFIS-ONLINE [16.09.09], www.leibniz-institut.de/archiv/mocek_16_09_09
- [3] G. Wangermann: „Theoria cum praxi – Quo vadis societas scientiarum?“ In: G. Wangermann (Hrsg.): Theoria cum praxi; Berlin 2007, S. 5-19
- [4] K. F. Wessel: „Humanethologie und Philosophie – Das Werden des Menschen“. In: K. F. Wessel, F. Naumann (Hrsg.): Verhalten, Informationswechsel und organismische Evolution; Bielefeld 1994, S. 19
- [5] H. Hörz: „Materialistische Dialektik. Aktuelles Denkinstrument zur Zukunftsgestaltung“; Berlin 2009, S.106-111
- [6] H. H. Holz: „Gegensatz und Reflexion. Zum Grundmuster einer materialistischen Dialektik“. In: Dialektik 1/ 1992
- [7] G. Ropohl: „Allgemeine Systemtheorie als transdisziplinäre Integrationmethode“. In: Technikfolgenabschätzung Theorie und Praxis, Nr. 2; Karlsruhe 2005, S. 24-31
- [8] P. Hejl: „Politik, Pluralismus und gesellschaftliche Selbstregulierung“. In: H. v. Busshoff (Hrsg.): Politische Steuerung: Steuerbarkeit und Steuerungsfähigkeit; Baden-Baden 1992, S. 129
- [9] M. Heidegger: „Sein und Zeit“; Tübingen 1967, § 65, S. 329
- [10] W. Ebeling: „Konkurrenz und Wert als bestimmende Faktoren der Selbstorganisation und Evolution komplexer Systeme“. In: P. Plath, E. Chr. Haß (Hrsg.): Vernetzte Wissenschaften – Crosslinks in Natural and Social Science; Berlin 2008, S. 3-14
- [11] I. Prigogine, I. Stenger: „Das Paradox der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten“; München/Zürich 1993, S. 99-119
- [12] M. Drieschner: „Carl Friedrich von Weizsäcker – eine Einführung“; Wiesbaden 2005, S. 45
- [13] R. Pfeifer, Chr. Schreier: „Understanding Intelligence“; Cambridge 1999, S. 124
- [14] L.-G. Fleischer: „Reflexionen zur Triade Energie-Entropie-Exergie – einer universellen Qualität der Energie“. In: LIFIS-ONLINE [21.10.08], www.leibniz-institut.de/archiv/fleischer_21_10_08
- [15] G. Wall: „Exergy – A Useful Concept“; Göteborg 1986
- [16] V. M. Brodjanski, M. V. Sorin, P. LeGoff: „The Efficiency of Industrial Processes: Exergy Analysis and Optimisation“; Amsterdam 1994

- [17] L.-G. Fleischer: „Evolutorische Lebensmitteltechnologie und ihre Implikationen mit der Allgemeinen Technologie“. In: G. Banse, E.-O. Reher (Hrsg.): Fortschritte bei der Herausbildung der Allgemeinen Technologie; Berlin 2004, S. 49-67
- [18] H. Hörz: „Technologie zwischen Effektivität und Humanität“. In: G. Banse, E.-O. Reher (Hrsg.): Allgemeine Technologie. Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft; Berlin 2002, S. 47-77
- [19] H. Weinrichs: „Semantik der kühnen Metapher“. In: Deutsche Vierteljahrszeitschrift für Literaturwissenschaft und Geistesgeschichte 37/1963; Stuttgart, S. 324-344
- [20] G. Ropohl: „Jenseits der Disziplin – Transdisziplinarität als ein neues Paradigma“. In: LIFIS-ONLINE [21.03.10], www.leibniz-institut.de/archiv/ropohl_21_03_10
- [21] H. Hörz: ebenda [5]; Berlin 2009, S. 180

[15.04.10]

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. Lutz-Günther Fleischer
Paul-Junius-Str. 68
D – 10369 Berlin
fleischer-privat@gmx.de