

*Genuine und modifizierte Eigenschaften (speziell Bioaktivitäten)  
und technologische Funktionen sowie physikalisch-mathematische Modellierungen  
hydrokolloidaler Zustände und strukturwandelnder Prozesse (insbesondere  
Phasenübergänge) in biotisch und technisch-technologisch bedeutsamen  
Biopolymeren.*

*(Einblicke in Probleme, wissenschaftliche Erfordernisse und Interpretationen zu eigenen  
Versuchen mit ‚smarten‘ Hydrogelen)*

*Lutz-Günther Fleischer (MLS)*

Der Vortrag will resümierend einige relevante Einblicke. in die mehrere Jahrzehnte währenden gemeinsamen interdisziplinären Untersuchungen des Referenten mit anderen Fachvertretern und Kooperationspartnern aus wissenschaftlichen Institutionen sowie unterschiedlichen Technologiebereichen zu wichtigen Biopolymeren vermitteln: A- und B-Gelatine, Zymogele aus dem stratum corneum des Pilotwals *Globicephala melas*, immunmodulierende  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3),(1 $\rightarrow$ 6)- $\beta$ -D-Glucane aus *saccharomyces cerevisiae*, bioaktive Hyaferm-Composite ( $\beta$ -Glucane/Hyaluronat).

Nach dem obwaltenden Verständnis gehört zu den Biopolymeren eine kaum überschaubare Menge und Vielfalt funktionstragender komplexer Homo- und Co-Polymere biogenen Ursprungs oder Composite daraus. In pflanzlichen oder tierischen Zellen in Form von Di-, Oligo- und Polysacchariden (mit  $\alpha$ - und  $\beta$ -glycosidischen Bindungen), Oligo- und Polypeptiden, Proteinen, Nukleinsäuren, Lipiden etc. synthetisiert, übernehmen sie originär strukturbildende, stabilisierende, steuernde und regelnde Funktionen von der zellulären Ebene über die Organe bis zum kompletten Organismus. Sie wirken als stoffliche, energetische (Glykogen, Stärke, Fette etc.) und informationelle Speicher (genetisch, hormonell, zentralnervös), agieren im Stoffwechsel (beim Stofftransport und der Stoffwandlung), beim Energietransport und der Energiewandlung sowie im noch immer unterschätzten kooperativen Informationswechsel.

So werden in den biotischen Systemen zahlreiche koordinierende Prozesse (vor allem humoralen und insbesondere hormonellen Charakters) reguliert, die in den innerorganismischen hierarchischen Ebenen sowie zwischen den organismischen Subsystemen oder Organen ablaufen, innerhalb des Organismus vermittelte oder aus der Mit- und Nahwelt des Organismus übertragene selektive Reize integriert (darunter Afferenzen) sowie sämtliche motorischen Eigenleistungen des Organismus angeregt und situativ angepasst. Eine wissenschaftlich und anwendungstechnisch herausragende Gruppe bilden die Hydrogele. Einige Hydrogele mit spezifischen Polymernetzwerkstrukturen (u. U. mit inhärenten oder zudem implementierten Ionen) werden als ‚intelligent‘ bezeichnet. (engl. smart oder stimuli-responsive hydrogels) Sie weisen ein sogenanntes smartes Verhalten (reizempfindlich, reaktionsfähig und stimulierbar) auf, indem sie unter bestimmten Bedingungen nach stimulierenden physikalischen, chemischen und biochemischen Einwirkungen [in Form von Differenzen und Gradienten physikalischer Größen sowie Reizen der inneren Umgebung (Mitwelt) oder der äußeren Umgebung (Nahwelt)] reaktiv oder sensibel reagieren. Darunter sind selektive, mit mechanischer Arbeit verbindbare Volumenänderungen als Wirkungen auf Differenzen und Gradienten physikalischer Umgebungsgrößen. Sensitivitäten sind insbesondere gegenüber Temperaturen, Spannungen (hauptsächlich dem Druck) und

Deformationen jeder Art, Ionenstärken, Stoffkonzentrationen. und dem pH-Wert erzielbar.(siehe Tab. 1)

<b>Wirkprinzip</b>	physikalisch	chemisch	biochemisch
<b>Sensor/Aktor</b>	<i>mechanisch:</i> Spannungen, Deformationen	Spezifische Reagenzien	Enzyme, Hormone
<b>Sensor/Aktor</b>	<i>thermisch:</i> Temperatur, Druck	Charakteristische Ionen	biospezifische Affinitätsliganden
<b>Sensor/Aktor</b>	<i>Felder:</i> gravitativ, elektrisch, magnetisch	Katalysatoren, Inhibitoren	Andere bioaktive Stoffe
<b>Sensor/Aktor</b>	<i>Strahlung:</i> elektromagnetisch (UV, sichtbar, IR) Teilchenstrahlung	Ionenstärke, Konzentration	
<b>Sensor/Aktor</b>	Informationswechsel	Informationswechsel	Informationswechsel

Tabelle 1: Auswahl stimulierender Mit- und Nahwelteinwirkungen auf Hydrogele

Typischerweise sind Schwellenwerte für die verschiedenartigen physikalischen, chemischen und biochemischen ‚Reize‘ zu überwinden (physikalisch z. B. Hörschwellen, bei den ‚chemischen Sinnen‘ z. B. Geruchsschwellen) In anderen Fällen dominieren, von den Quantitäten, wie Wirkstoffmengen, nahezu unabhängig, in den Wirkungsmechanismen strukturelle Gegebenheiten. Sie betreffen die Konfiguration und die Konformationen der Biopolymere bis zu ihrer Tertiärstruktur (vergleiche Immunmodulation der  $\beta$ -D-Glucane). Auch die smarten Hydrogele sind Polymerketten mit charakteristischen dreidimensionalen Netzwerken und ggf. übergeordneten räumlichen Anordnungen, wie proteintypisch Faltblattstrukturen, deren Moleküle sowie Ketten über Nebenvalenzen (Wasserstoff-Brücken-Bindungen, Van-der-Waals-Wechselwirkungen und Coulombsche Kräfte) physikalisch und über Hauptvalenzen chemisch verknüpft sind. Und sie lassen sich stofflich sowie funktionell modifizieren. So entwickelten Forscher im Stuttgarter „Projekthaus NanoBioMater“ Hydrogele mit integrierten biokompatiblen Gerüststrukturen. Diese Bio-Materialien sollen für Innovationen in der Umwelt- und Nahrungsmittelanalytik sowie für medizinische Anwendungen genutzt werden. Auf der Basis der Hydrogele sind diagnostische Biosensoren ebenso ausführbar wie Implantate für die kontrollierte Freigabe medizinischer Wirkstoffe. Smarte Hydrogele besitzen integrierte Sensor-Aktor-Funktionen, d. h., sie vereinen in einem einzigen Element die Sensoren und die Aktoren.

Biotechnologisch wird dies Prinzip z. B. im Chemostaten<sup>1</sup> für kontinuierliche Kulturen von Mikroorganismen, wie Bakterien und Phytoplankton ausgenutzt.

Einige neuartige Hydrogele können z. B. als Funktionsmaterialien für photoempfindliche Polymer-Enzym-Schalter und intelligente Polymer-Matrices dienen. Derartige Fähigkeiten und Potenzen der skizzierten biotischen Strukturen und Funktionalitäten sind gegenwärtig nanotechnisch-technologisch von besonderem Interesse. All das sind gute Gründe, sich noch intensiver den Hydrogelen: ihren Eigenschaften und verschiedenartigen Beeinflussungs- und Anwendungsmöglichkeiten zuzuwenden. Eine überragende Bedeutung unter den Hydrogelen kommt der Gelatine als Modellsubstrat und wegen ihres Eigenwerts mit einer Vielfalt von Applikationen zu. Sie wird im Vortrag exponiert.

*Annotationen zum physikalischen Fundament des Themas  
(mit Bezugnahmen auf die Evolution der Basis-Begriffe Entropie und Information)*

Als Metaphern des Denkens bilden die Begriffe Entropie und Information den theoretischen Kern der kommentierten Experimente und Überlegungen. Genutzt und erörtert werden modifizierte entropische und informationelle Konzepte als verallgemeinerungsfähige Denk- und Werkzeuge. Um- und Vorsicht sind dabei ratsam:

„Unser Denken ist ein kühnes, riskantes Spiel, weil auch unser Denken, genau wie unser Schicksal, nicht erhaben ist über den unberechenbaren Zufall“.<sup>2</sup>

Und:

„Absolute mathematische Strenge ist nicht selbstverständlich, im Gegenteil, sie unterliegt Schwankungen und ihre Bewertung ist oft mit Geduld, mit formalistischen, ästhetischen Kriterien, mit einem sehr opportunistischen Geschmack verbunden“.<sup>3</sup>

Entropien und die Information sind originär zwei exponierte, zustands- und prozessbeschreibende Grundgrößen der Physik, und verallgemeinert zwei fundamentale ‚Perspektiven‘ unter denen sich unterschiedliche materielle und immaterielle Entitäten sinnverwandt erfassen lassen. Inzwischen ist das - stets zielgerichtete - menschliche Handeln darin einbegriffen (beachte Kognitionstechnologien, Neurowissenschaften).

Sie reflektieren Zusammenhangs- und Transformationsverhältnisse in der Natur, der Technik/Technologie und der Gesellschaft mit ihren emergenten, kooperativen und komplementären Beziehungsstrukturen, Verschränkungen und Beschränkungen für die lebentragenden und die unbelebten komplexen Systeme. Wesensgemäß wachsen die Probleme Konflikte Risiken, bis zu Krisen und Katastrophe mit der Kompliziertheit der Anordnungen und Gestaltungsweisen, die für biotische Systeme, Technologien sowie die historisch bedingte sozio-kulturelle Struktur und die soziale Organisationsform der Gesellschaft (Gesellschaftsformation) besonders signifikant sind. Das impliziert den Willen und die Notwendigkeit der bestmöglichen Vorausschau und der optimalen Vorsorge.

---

<sup>1</sup> Dem stationär durchströmten Kulturgefäß (Chemostat) wird das Nährmedium kontinuierlich mit konstanter Flussrate zugeführt und das umgesetzte Medium mit den darin suspendierten Mikro-Organismen kontinuierlich mit der gleichen Flussrate abgeführt (dynamisches Gleichgewicht)

<sup>2</sup> Michel de Montaigne (1533 - 1592), französischer Philosoph und Essayist, eigentlich Michel Eyquem, Seigneur de Montaigne.

<sup>3</sup> *N.A. Vonneuman, 1992, S. 80*

Die Entropien und die Information beweisen ihre beachtliche theoretische und praktische Leistungsfähigkeit für den Aufbau, die Stabilisierung, die u. U. bedingte Steuerung und Regelung sowie den Erhalt und die Veränderung von deterministischen und stochastischen Strukturen sowie jene, diese Effekte auslösenden und bestimmenden Prozesse. Die Bildung, der Erhalt, die evolutionäre und radikale Veränderung von funktionstragenden Strukturen und sich daraus ableitenden Organisationsformen gehört historisch und aktuell zu den herausragenden Motivationen und Problemen der Forschung und Entwicklung in den Natur- und Technikwissenschaften.

Den Entropien und der Information ist ein Doppelcharakter eigen. Sie sind ‚modus-operandi-Systeme‘ sowie ‚opus-operantis‘. D. h., einerseits reflektieren sie phänomenologisch (und/oder statistisch) direkt die Prozesse, deren Charakter und Richtung, die Geschehnisse: Die auf theoretischen Annahmen beruhende Art und Weise der Realisierung der Bewegungen/Veränderungen – bis zur ursächlich in verschiedene Etappen/Phasen gegliederten Evolution (als einer Art ‚Selbstverbesserung‘ unter der Regenschaft des unberechenbaren Zufall und der Selbstorganisation) sowie dem menschlichen Denken und Handeln. Andererseits erfassen und bewerten sie Auswirkungen, Folgen: das ‚getane Werk‘. Beide Aspekte unterliegen dem Zufälligen, enthalten nur schwer Trennbares (Verknüpftes, Verzweigtes, Verschränktes, Emergentes), und sie sind wesensgemäß für mittlere und längere Zeiträume nur sehr unvollkommen vorhersagbar.

### *Die homogenen und heterogenen Dimensionen der Entropie*

1865 wurde der Entropie-Begriff von Rudolf Clausius in der klassischen phänomenologischen Thermodynamik generiert und - um missverständliche Assoziationen zu vermeiden, bewusst mit linguistischen Elementen aus dem Altgriechischen charakterisiert: ἐντροπία entropía, von ἐν en ‚an‘, ‚in‘ ‚innerhalb‘ und τροπή tropé ‚Wendung‘, ‚Umwandlung‘. Im kognitiven Kern gilt: Wird einem System reversibel die infinitesimale Wärmemenge  $dQ_{rev}$  bei T zugeführt, so resultiert für die infinitesimale (differenzielle - d) Änderung der Entropie

S:  $dS = dQ_{rev}/T$  (Mathematisch fungiert die - gepaart mit S eingeführte - absolute Temperatur T als integrierender Nenner [1/T-Eulerscher Multiplikator]. Mit dessen Hilfe entsteht aus dem Diminutiv  $dQ$  ein totales Differential; und S avanciert so zur thermodynamisch kompatiblen Zustandsgröße, da sie das Kriterium  $\oint S = 0$  erfüllt) Die Entropie wurde in der und für die (makroskopisch zunächst) faktische Thermostatik weiterentwickelt. Im 19. Jahrhundert identifizierte sie zwei grundlegende Zustandsgrößen: die Energie und Entropie, und verband sie mit dem 1. und 2. Hauptsatz. Für irreversible Prozesse wurde lediglich festgestellt, dass  $dS > dQ/T$ . Ansonsten blieben irreversible Prozesse außerhalb der Domäne dieser Theorie. Es war weder möglich die Änderungsrate der Entropie,  $dS/dt$ , zu berechnen, noch sie quantitativ mit irreversiblen Prozessen zu verknüpfen. In der statistischen Betrachtungsweise von Gibbs, Boltzmann und Planck ist die von ihr definierte Entropie. sowohl auf das Gleichgewicht als auch auf das Nichtgleichgewicht anwendbar.

Für die tatsächliche Dynamik tauchte erst mit den Arbeiten von Ilja Prigogine und seinen Arbeitsgruppen der Begriff Thermodynamik irreversibler Prozesse (TIP) auf.

Die vorhergehende klassische mikroskopische Betrachtungsweise basiert auf der statistischen Mechanik. Makrozustände sind vom exakten Zustand jedes einzelnen Moleküls gegeben. Markante Abschnitte auf dem Weg der statistischen Begründung und Erklärung der thermodynamischen Entropie sind mit Leistungen von W. Gibbs (1875), L. Boltzmann (1877)

und M. Planck (1901) verwoben. Ohne Anspruch auf auch nur annähernde Vollständigkeit seien einige weitere hervorstechende Ereignisse skizziert.

Im Jahr 1886 schrieb Ludwig Boltzmann: „Der allgemeine Lebenskampf der Lebewesen ist [...] nicht ein Kampf um die Grundstoffe – auch nicht um Energie, welche [...] in jedem Körper reichlich vorhanden ist, sondern ein Kampf um die Entropie, welche durch den Übergang der Energie von der heißen Sonne zur kalten Erde disponibel wird“ (E. Broda 1979, S. 41)

Die verallgemeinernde und deshalb breit nutzbare statistische Betrachtungsweise<sup>4</sup> offeriert wertvolle Entropie-Perspektiven und Maße für:

- die Kontingenzt/Zufälligkeit/Unordnung in einem System, einer Zufallsvariablen oder eines Modells. (~ Ordnungsgrad, treffender: Strukturiertheit, Organisiertheit)
- die Neigung zum Übergang zu tatsächlich realisierbaren (zumindest denkbaren) Systemzuständen (nach M. Planck ‚Vorliebe‘) und zugleich für die kennzeichnende Übergangswahrscheinlichkeit. (~ Prozessgeschwindigkeit)
- die mittlere (durchschnittliche) Wahrscheinlichkeit/Unsicherheit des nächsten Ereignisses und des nachfolgenden Systemzustandes. (~ Prozessrichtung)

1901 präzisiert M. Planck: die Boltzmann Beziehung mit  $k_B$ :  $S_{BP} = k_B \cdot \ln W + c$ .

$W \geq 1$  erfasst die Anzahl der ‚Komplexionen‘, die die räumliche Vertauschbarkeit von Vielteilchensystemen bzw. von Anordnungen anbelangt. Diese thermodynamische Wahrscheinlichkeit  $W$  reflektiert die Gesamtzahl der Mikrozustände, die mit einem festen Makrozustand der Entropie  $S$  vereinbar sind.  $c$  repräsentiert eine maßtheoretische Konstante und  $k_B$  die Boltzmann-Konstante<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> Ein definierter *Makrozustand* (exakter: Eine makroskopische Zustandsbeschreibung) wird im Allgemeinen von einer unvorstellbar großen Zahl (der Komplexionenzahl - etwas irreführend auch thermodynamische Wahrscheinlichkeit  $W$  genannt) immanenter Mikrozustände (exakter: Einer mikroskopischen Zustandsbeschreibung) realisiert.

Wenige gemessene oder vorgegebene thermodynamische Parameter: Thermische und energetische Zustandsgrößen, wie Temperatur, Druck, Volumen, gebundene und freie Energien sowie die Entropie, kennzeichnen (neben der Masse oder der theoretisch bevorzugten äquivalenten Teilchenmenge) den Makrozustand vollständig.

Zur adäquaten Darstellung des Mikrozustandes, einer mikroskopischen Zustandsbeschreibung, bedürfte es der detaillierten Angabe aller Lage- und Impulskoordinaten der Teilchen oder der vollständigen Charakterisierung des (fast) stationären Quantenzustandes. Die thermischen und energetischen Zustand-/Messgrößen sind demgemäß Mittelwerte.

Nach den Modellvorstellungen von Willard Gibbs (1839-1903), die sich in praxi ausnahmslos bewährt haben, wird ideell ein Ensemble aus hypothetisch unendlich vielen, makroskopisch gleich konstituierten Systemen gebildet und dafür postuliert:

- In einem Ensemble thermisch isolierter Systemen sind alle (quantenmechanisch erlaubten) Mikrozustände (i) gleichwahrscheinlich. Es gilt demzufolge für alle i:  $p_i = p = W^{-1} = \text{const.}$
- Für makroskopische Eigenschaften/Größen (und deren Messwerte) kann der zeitliche Mittelwert dem Mittelwert über eine hypothetisch unendlich Zahl unabhängiger Systeme im Ensemble, dem Ensemblemittelwert, gleichgesetzt werden. (Ergodenhypothese)

Die *Quantenzustände* werden mit der Quantenzahl, der Wellenfunktion und der Energie  $E$  beschrieben. Die möglichen Mikrozustände eines Systems können theoretisch aus der Lösung der Schrödinger-Gleichung bestimmt werden. Man erhält  $E_i = E_i(V, N_b, N_c, \dots)$  als Funktion des Volumens und der Zusammensetzung. Die Temperatur, der Mittelwert der Translationsenergie der Teilchen, erscheint als Zustandsgröße nur in der makroskopischen Betrachtungsweise. Für die innere Energie  $U$  folgt, als Mittelwert von  $E_i$ :  $U = \langle E_i \rangle = \sum p_i \cdot E_i$

Die Summe erstreckt sich über alle quantenmechanisch erlaubten i Zustände.

<sup>5</sup> Für die Konstante  $k_B$  gilt:  $k_B = 1,38066 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot (\text{K} \cdot \text{Teilchen})^{-1} = (R) = 8.3144 \text{ J} \cdot (\text{K} \cdot \text{Mol})^{-1} = 8.3144 \text{ (Carnot} \cdot \text{Mol}^{-1})$

Die Boltzmann-Konstante  $k_B$  bzw. die sogenannte universelle Gaskonstante  $R$ , repräsentieren – gemäß der protokollierten physikalischen Größengleichung, die die Mengenangabe Stück (als Einheit jeder Zählgröße) nicht - wie weit verbreitet - ignoriert – die mittlere Energien eines Teilchens (eines Mikrozustandes) bei einer

Heute wird diese bedeutendste Gleichung der statistischen Mechanik in der nachfolgenden Form verwendet:  $S = -k_B \cdot \sum p_i \cdot \ln p_i$

Im 20. Jahrhundert entwuchs die Entropie (nicht zuletzt mithilfe ihrer zugleich verallgemeinernden statistischen Deutung) rasch und bahnbrechend ihrem thermodynamischen Ursprungsfeld:

1948 C. Shannon: Adaptive Deklaration der (Informations)Entropie H.

In der Shannonschen Bedeutung indizieren sowie quantifizieren Entropien und die Informations(entropie)<sup>6</sup> Unsicherheiten → Unbestimmtheiten, somit potenzielles Wissen.

Nach Ruelle (1993) ist H die Menge von Zufall, die in dem System steckt..

Faktisch ist H ein informationstheoretisches Maß für den Erwartungswert des mittleren Informationsgehaltes  $I(p) = -\log_2 p_z$  (1974  $I(p) \sim R$ . Ingardensche Unbestimmtheit). einer Nachricht mit der Wahrscheinlichkeit  $p_z$  eines diskreten Zeichens/Zustandes-/Ereignisses z.

(z steht in dem speziellen Zusammenhang für Zeichen und Zustand. H ist die Majuskel des griechischen Buchstaben Eta). Für die (Informations)Entropie resultiert:

$$H = \sum p_z \cdot I(p) = -\sum p_z \log_2 p_z = -\sum p_z \cdot \ln p_z$$

1948 verbindet N. Wiener die Kategorien Information und Entropie mit Organisation und daher Evolution. Eine bestimmte Informationsmenge ist nach seiner Darstellung die negative Menge der üblicherweise als Entropie definierten Quantität in vergleichbarer Situation.

Der Physiker E. Schrödinger prägte schon 1944 in seinem Buch „Was ist Leben?“ (etwas unentschlossen in der darauf folgenden diskursiven Erörterung) den Begriff negative Entropie und meinte damit schlussendlich ein Lebensprinzip, die lebenserhaltende freie Energie. Generell bildet die negative Entropie ein Maß für die Abweichung der Zufallsvariablen von einer Gleichverteilung.

Der französisch-amerikanische Physiker Léon Nicolas Brillouin (1889-1969) verkürzt 1951 den informationstheoretischen Begriff negative Entropie zu Negentropie und führt das "negentropy principle of information" ein. Er adaptiert für die Informationstheorie epistemologisch den statistischen Entropiebegriff der Thermodynamik, als Negentropie, die die Entropie des Systems vermindert. Die Information I entspricht demgemäß einem negativen Term in der gesamten Entropie S eines Systems  $S = S_0 - I$

Da ein zweites verallgemeinertes Wirkprinzip (das Entropiegesetz) ausdrückt, dass S immer zunehmen muss, folgt: Die aus einem Versuch resultierende Zunahme  $\Delta I$  der Informationen über ein physikalisches System, wird vermittels einer größeren Zunahme  $\Delta S$  der Entropie des einbettenden Systems und seiner Umgebung kompensiert:  $\Delta S \geq \Delta I$ .

---

gegebenen Temperatur bzw. dazu äquivalent, eines Ensembles aus  $6.0221 \cdot 10^{23}$  Teilchen (1 Mol =  $6.0221 \cdot 10^{23}$  Stck. Teilchen).

Nur wenn auch jede Zählgröße Z für MENGEN - die wirklich in der Natur vorkommenden Dinge (S. Clark) - nach den Übereinkünften der Metrologie als echtes Produkt aus einem Zahlenwert und ihrer Einheit, hier Stück (Stck.), aufgefasst wird:  $Z = \{Z\} \cdot [Z]$ , sind Zählgrößen mit dem universellen und rationellen System naturwissenschaftlicher Größengleichungen vereinbar. Daran sollte auch gedacht werden, wenn in praxi - im Interesse komprimierter und prägnanter Informationen - zweckdienlich Kurzbezeichnungen, wie Teilchen, Ereignisse, Mikrozustände, Umsätze, Takte, Umdrehungen..., (ohne die Mengeneinheit Stck. als notwendige maßtheoretische Angabe zu den konkret gezählten Objekte) verwendet werden.

<sup>6</sup> "You should call it entropy. Nobody knows what entropy really is, so in a debate you will always have the advantage. [Sie sollten es Entropie nennen. Niemand weiß, was Entropie eigentlich ist, so dass Sie in einer Diskussion immer im Vorteil sind.] empfahl mephistophelisch J. v. Neumann.

Quelle: nach Shannon in M. Tribus, E. C. McIrvine – Energy and information, Scientific American, 224 (September 1971), 178–184.

Die Entropieproduktion ist der Preis für die Neugier und Ungeduld. Die Effizienz  $\varepsilon$  des Experiments ist definiert als  $\varepsilon := \Delta I / \Delta S_0 \leq 1$ . Zudem existiert mit  $k_B \cdot \ln 2$  eine untere Grenze für die, zur Beobachtung erforderliche Entropieänderung  $\Delta S$ .

Die Negentropie  $J(x)$  einer Wahrscheinlichkeitsverteilung mit  $W$  möglichen Ergebnissen des Zufallsexperimentes bzw. für eine diskrete Zufallsgröße  $x: x \in X$  wird auch über die Redundanz definiert:  $J(x) = S(x_{\text{equ}}) - S(x)$ . Die Entropie des Systems ( $S(x)$  bzw.  $H(x)$ ) geht grundsätzlich mit einem negativen Vorzeichen in die Relation ein.  $S(x_{\text{equ}})$  entspricht dem thermodynamischen Gleichgewicht (equilibrium), d. h. der vollständigen Gleichverteilung, und dient der Normierung. Für eine gleichverteilte Zufallsfolge wird die Negentropie als inverses Element minimal, weil deren Entropie auf ein Maximum anwächst. [Unter Theoretikern ist die Notwendigkeit eines ‚negentropy principle of information‘ nicht unumstritten. Ebenso wie der Umstand, dass die Information nicht ausschließlich auf das betrachtete System bezogen wird]. Trotz der negierenden Kennzeichnung (für die der ungarische Biochemiker und Nobelpreisträger Albert von Szent-Györgyi Nagyrapolt den kompensierenden Terminus Syntropie vorschlägt) wird die Negentropie positiv konnotiert. Sie ist Grundlage des Wissens, von Information, von Ordnung, Struktur, Organisation und der Entwicklung zu höheren Stadien ‚des grenzenlosen Lebens‘. Lebewesen ‚saugen‘ Negentropie aus ihrer Umgebung, konstituieren damit Strukturen und entwickeln sie zu immer größerer Komplexität. "Das Leben nährt sich an negativer Entropie (freier Energie - Anmerkung LGF)" formulierte Schrödinger (E. Schrödinger 1992). Jedem Negentropie-Import ist ein Entropie-Export äquivalent. Die Entwicklung des Lebens beruht auf dem schrittweisen, spontanen Anstieg der molekularen Komplexität. Ein autonomer Stoffwechsel der Zelle, ihre eigenständige Vermehrung und die Teilhabe an der Evolution bilden die Grundlage. Das Leben organisiert sich intelligent und balanciert unablässig am Rande des Chaos mit seinen Attributen Nichtlinearität, Fluktuation, Anpassungsfähigkeit und Dissipation.

1966 äußert der Mathematiker, Wirtschaftstheoretiker und Schüler J. Schumpeters, Nicholas Georgescu-Roegen (1906 - 1994), im, zwölf seiner bis zu dem Zeitpunkt bedeutungsvollsten Essays zusammenfassenden, Buch "Analytical Economics" (woraus 1971 in einer zweiten Ausgabe der Band "The Entropy Law and the Economic Process" entstand) erstmals seinen nachhaltigen kategorischen Leitgedanken, dass der ökonomische Prozess in allen seinen materiellen Bestandteilen entropisch sei, offerierte eine Analyse des demzufolge unidirektionalen Charakters des wirtschaftlichen Prozesses. Das Entropiegesetz, betont er, sei "das wirtschaftlichste der physikalischen Gesetze" und erklärt daraus eine Reihe relevanter Aussagen „für sozioökonomische, technoökonomische Prozesse und andere Geschehnisse im **Wirtschaftsleben**“.

Solche Prozesse erschließen sich nur unvollkommen analytisch mit einem, für jede Wissenschaft zwar notwendigen, aber eben nicht hinreichenden, sogenannten "arithmomorphen" Konzept. Gemeint sind damit diskrete, unterschiedliche Sätzen, die zu jeder Zeit und an jedem Ort gelten. Es bedarf einer unentbehrlichen Ergänzung.

Das ist für Georgescu-Roegen das erweiternde "dialektische" Konzept mit fließenden Konturen als Reflexion auf die sie einbettenden und sich mit ihren Gegensätzen überschneidenden Penumbren. (wörtlich: Halbschattenbereiche Dieser Begriff ist wahrscheinlich mit Bipolaritäten samt der zwischen den Polen liegenden, überlappenden, aber skalierbaren Gegensätzen zutreffend adaptiert) Die Analogien zwischen den Penumbra und den sprachstrukturellen Antonymien sind evident.

1981 hebt er in der vierten Auflage noch grundsätzlicher hervor: „Die wichtige Tatsache ist, dass die *Entdeckung des Entropiegesetzes den Untergang des mechanistischen Dogmas* sowohl in den Naturwissenschaften als auch in der Philosophie brachte“ (N. Georgescu Roegen 1981, p XIII und 3)

Der Weg zum Verständnis dessen, was Entropie ist, erläutert Georgescu-Roegen, beginnt mit der primären Unterscheidung zwischen verfügbarer und nicht verfügbarer Energie. Diese Unterscheidung ist unverkennbar anthropomorph (mehr als jedes andere Konzept in den Naturwissenschaften).

Energie ist in der Tat verfügbar oder nicht verfügbar [frei oder gebunden, Syntropie (Negentropie) oder Entropie, Ektropie, Exergie oder Anergie etc., Anmerkung vom Vf. - LGF], je nachdem ob wir Menschen sie für unsere eigenen Zwecke nutzen können.

*Das fortschreitende Entwicklungsniveau der Thermodynamik  
Wie sich die Theorie der Prozesse aus der Theorie der Zustände entfaltet und sich  
'Ordnungen' aus dem Chaos generieren.*

Energie<sup>7</sup> und Entropie sind „die wichtigsten Eigenschaften eines physikalischen Gebildes“ hielt Max Planck bereits 1887 in einer Studie fest (M. Planck 1887, S. 36f., S. 92ff.) und vermerkte: Die Gesamtenergie eines Systems bildet eine Summe.

„Die *klassische Thermodynamik* darf als die *größte Abstraktionsleistung der Physik* gelten; vielleicht der Physik überhaupt, gewiss aber der Physik vor Einstein“ [...] „In ihren beiden Hauptsätzen greift die Thermodynamik auf das gesamte Gebiet der Physik über“ [ ... ] „So ist der erste Hauptsatz ein Satz der Erhaltung, der zweite ein Satz der Irreversibilität“ (C. F. v. Weizsäcker 2002, S.250)

Einstein hat den singulären Rang der Thermodynamik in den folgenden Sätzen gewertet: „Eine Theorie ist desto eindrucksvoller, je größer die Einfachheit ihrer Prämissen ist, je verschiedenartigere Dinge sie verknüpft und je weiter ihr Anwendungsbereich ist. Deshalb der tiefe Eindruck, den die klassische Thermodynamik auf mich machte“ (A. Einstein 1949, S. 42). Die statistische Thermodynamik ist die allgemeinste Theorie physikalischer Vorgänge, die nicht exakt (punktgenau: eindeutig und ohne Zweifel), sondern die sehr großen Teilchenensembles in ihrer Gesamtheit allein statistisch beschreibt. Ihre Zustandsgrößen sind statistische Mittelwerte der Gleichgewichtszustände.

So lässt sich jeder statistischen Verteilung sowohl eine Energie als auch eine Entropie zuordnen. In der Physik soll die Entropie eine epistemisch und faktisch möglichst umfassende Variable sein.

Das prinzipielle statistische Phänomen, das sich ein physikalisches System zum statistisch wahrscheinlicheren Zustand entwickelt, wird in der makroskopischen Betrachtungsweise als

---

<sup>7</sup> *Energie*: fundamentale physikalische Kategorie, extensive (mengenartige) physikalische Größe, allgemeiner Oberbegriff (Abstraktum), beschreibt phänomenologisch alle Eigenschaften von Zuständen und Prozessen, die einer ARBEIT äquivalent sind, d. h. mit ihr identisch, zu ihr gleichwertig, proportional oder auf sie rückführbar und so physikalisch messbar.

*Energieträger*: phänomenologische Realitäten, messbare makrophysikalische Konkreta, die Energie (überdies Informationen) enthalten und/oder übertragen: Stoffe, mechanische, akustische, elektromagnetische Impulse-/Bewegungsgrößen ( $m \cdot w_m$  bzw.  $p \cdot w_m$ ), skalare Felder, wie Temperatur (T) und Druck (p), Massendichte ( $\rho$ ), chemische Potenziale ( $\mu_k$ ) sowie vektorielle Felder, wie Geschwindigkeiten (w) und Kräfte ( $K_j$ ), Strahlung (Welle-Teilchen-Dualismus)



Irreversibilität bezeichnet und argumentativ als thermodynamischer Zeitpfeil charakterisiert. Er steht für die Vorstellung einer unidirektionalen (eindeutigen und gerichteten) Verbindung zwischen der Vergangenheit und der Zukunft. Der thermodynamische Zeitpfeil, der in der statistischen Physik die Zukunft vor der Vergangenheit auszeichnet, entsteht aus einer analytischen Ungleichbehandlung der Zeitrichtungen. Nur weil die Vergangenheit als gegeben vorausgesetzt und die Statistik auf die Zukunft angewendet wird, ergibt dieser Modus die erörterte Zeit-Asymmetrie. Die *Faktizität der Vergangenheit und die Offenheit der Zukunft* folgen aus der Irreversibilität der Geschehnisse, dementsprechend aus dem 2. Hauptsatz der Physik.

*Irreversibilität* (lat. Irreversum) bedeutet spontane Nichtumkehrbarkeit oder völlige Unumkehrbarkeit. Das gilt für alle natürlichen, freiwillig (spontan) ablaufenden Prozesse. Eine anerkannt starke (weil alle denkbaren Freiheiten und jedes Mittel einbeziehende) Definition der Irreversibilität bietet die Plancksche Formulierung: Danach gibt es keine Möglichkeit, einen irreversiblen Prozess auf irgendeine Art und Weise rückgängig zu machen und gleichzeitig alle dafür benutzten Hilfsmittel (falls solche Hilfsmittel überhaupt existieren) wieder in ihren Ausgangszustand zurückzusetzen. Alle natürlichen: mechanischen, thermischen, elektrodynamischen, chemischen, biochemischen, biotischen Ausgleichs- und Wandlungs-Prozesse sowie die dissipativen Effekte (wie mechanische Reibung, elektrische Leitung, bleibende Deformationen (mechanische Plastizität), chemische Reaktionen,...) produzieren bei der jeweiligen ‚Verlaufstemperatur‘ bzw. im obwaltenden Temperaturintervall Entropie, die als thermische Energie transient ist.

Auch bei der Bildung physikalischer Begriffe wirken empirische Erfahrungen und formale Entscheidungen (regelgerechte Vereinbarungen und ausdrückliche Übereinkünfte einschließlich der symbolischen Darstellung) zusammen. Solche Begriffsbildungen sind zudem theoriengeleitet. Die Phänomene, die reflektierenden Begriffe (mit ihrem Inhalt und Umfang) und die zugeordneten Zeichen entwickeln sich gemeinsam. Bei ihrer Interpretation sind außer den integrierenden und steuernden Theorien, Vorerfahrungen, Anforderungen und Erwartungen verflochten.

„Obwohl das Wort ‚*Thermodynamik*‘ so viel bedeutet wie „Wärmelehre“, handelt es sich doch bei der Thermodynamik um mehr als nur um eine Theorie der Wärme“ [...], „Sie handelt vielmehr von Regeln, die auf beliebige Objekte und Vorgänge zutreffen, sie ist ein *allgemeines Verfahren zur Naturbeschreibung*.“ (Mithin das Grundlegende der Physik, das abstrakteste Gebiet der Physik. Anmerkung der Vf.- LGF), „...sie zeigt aber gleichzeitig am klarsten, wie die Physik überhaupt vorgeht, wie sich die „Wissenschaft von der Natur“, die Physik, abhebt von der Natur selbst. In der thermodynamischen Beschreibung der Natur spielen Begriffe wie „ physikalische Größe“, „ Zustand“, „System“, „Prozess“ die zentrale Rolle“ (G. Falk, W. Ruppel 1976, S. V).

Das *leistungsfähigste naturwissenschaftliche Begriffssystem*, das wir besitzen, ist das der *Thermodynamik*. Es dient der physikalischen Beschreibung, Erklärung sowie der gezielten Veränderung der natürlichen, technischen und sozio-kulturellen Umwelt. Dafür integriert es vielfältige Erfahrungen und ordnet sie – über die unmittelbaren Erfahrungen erheblich hinausgehend - in einem praktikablen theoretischen System.

Schon Gibbs sah die Notwendigkeit einer vereinheitlichenden rationalen Grundlage für die Thermodynamik und schuf dafür eine richtungsweisende Startbasis.

Die Gibbssche Fundamentalgleichung (Fundamentalgleichung der Thermodynamik) bildet eine wesentliche Grundlage. Sie ist die wichtigste charakteristische Funktion und beschreibt die Menge aller Gleichgewichtszustände eines thermodynamischen Systems als Funktion der Zustandsgröße innere Energie U.

„Gibbs kannte das allgemeine Prinzip der Energie, und er schrieb einem Körper in jedem Bewegungszustand eine Entropie zu. Soweit er sich auf die Thermodynamik bezog, beschränkte er sich nicht auf langsame (quasi statische – Anmerkung der VF – LGF) Veränderungen oder auf Körper, die der ‚Zustandsgleichung‘ unterworfen waren“.

(C. Truesdell 1984, p.22) Diese Deutung gilt ebenso für elektromagnetische Körper, wie für Felder, Strömungen und andere komplexe thermodynamische Systeme.

Die elementarste These auf dem fortgeschrittenen thermodynamischen Erkenntnisniveau der sogenannte Gibbs-Falk-Dynamik (GFD) lautet: „In einem bestimmten Zustand eines Systems hat jede seiner physikalischen Größen einen bestimmten Wert.“ Dieser Satz verlangt die Existenz des konnektiven Quadrupels:  $E = (\text{System}) \cdot (\text{Zustand}) \cdot (\text{physikalische Größe}) \cdot (\text{Wert der physikalischen Größe})$  Er gilt für jede allgemeine physikalische Größe.

Bedeutende Vorteile bieten vor allem die relative Universalität und andererseits die Flexibilität des Systembegriffs sowie der systemischen Betrachtungsweise der strukturierten Ganzheit System<sup>8</sup> mit ihrem repräsentativen Satz von Variablen. Zwischen Größen, die als allgemein physikalisch gelten, muss es mathematische Relationen geben, die nur so schwach an den Begriff des Systems gebunden (also so abstrahiert) sind, dass sie für alle Systeme dieselben sind, die den gleichen Satz allgemeiner physikalischer Größen aufweisen. Ein System ist eine aus Elementen und Beziehungen zwischen diesen konstituierte Ganzheit. In der Abstraktion, die von der Art und Beschaffenheit der Elemente sowie ihren konkreten Beziehungen sowie von der Art und dem Zweck des charakteristischen internen Beziehungsgefüges absieht, bestimmen die internen Beziehungen die Struktur, die externen die Funktion des Systems. Mit dem energetischen, stofflichen und/oder informationellen Import bzw. Export unterhält das somit offene System zusätzliche externe Beziehungen.

Die Idee, eine ‚Theoretische Physik‘ nach dem Vorbild der Thermodynamik auf der Grundlage einer allgemeinen Dynamik aufzubauen, basiert auf der zitierten Gibbsschen Fundamentalform, in der die physikalischen Prozesse über Änderungen von Paaren extensiver (mengenartiger) und intensiver (mengenunabhängiger) energetischer Größen beschrieben werden. Diese ‚Gibbs-Falk-Dynamik‘ (GFD) lässt sich auf alle Gebiete der Physik ausdehnen, wenn die Größenpaare, jeweils passend - wie folgend - gewählt werden:

$$U = \sum \Gamma_j P_j = T S + \sum L_i I_i + \sum \mu_k N_k$$

Die Symbole und einige systematisierte Zusammenhänge sind in der Tabelle 1 eingefügt und kurz erläutert. Sie ist für Leser gedacht, die sich für die thermodynamische Systematik, für Weiterführendes, Vertiefendes und *Details interessieren*.

Im theoretischen Kern der GFD wird das Potential U - bis auf eine Konstante - als Summe von Paaren  $\Gamma_j \cdot P_j$  bestimmt, die die Vielfalt von Wirksamkeiten repräsentieren, die als Energiearten gelten. Die Faktoren  $\Gamma_j$  und  $P_j$  drücken wechselseitig konjugierte "Allgemeine Physikalische Größen" d. h. Systemvariable aus, die in allen physikalischen Teilbereichen die gleiche Bedeutung haben. In einer intensiven gedanklichen Auseinandersetzung mit Gottfried Wilhelm von Leibniz' Metaphysik gelang es Immanuel Kant, explizit zu beweisen, dass jedes  $P_j$  eine Menge (extensiv) ist, und die  $\Gamma_j$  ihre energiekonjugierten intensiven (mengenunabhängige) Größe, für die generell gilt:  $\Gamma_\lambda = (\sum \Gamma_j \cdot P_j) / P_\lambda$  für  $j \neq \lambda$ .

Die (additiven) Energieanteile ( $\Gamma_j P_j$ ) der inneren Energie. U sind demgemäß wegunabhängige Zustandsgrößen, während die Energieformen  $\Gamma_j dP_j$  wegababhängige Prozessgrößen darstellen. Ebenso definiert jedes  $\Gamma_j \cdot (dP_j/dt)$  einen charakteristischen Strom, der als zeitnormierte Menge

<sup>8</sup> Ihren Aufbau aus unterschieden, in Wechselwirkung tretenden Systemebenen, ihre Dynamik und ihr Verhalten im Zeitlauf, untersucht die Systemtheorien wobei zunehmend das Konzept der Selbstorganisation zur Geltung kommt. Abhängig von der Analyseebene und der Problemstruktur nutzen verschiedene Wissenschaftsdisziplinen spezifische Systemtheorien mit eigenen Begrifflichkeiten und wesensgemäßen Modellannahmen.

gleichfalls wegabhängig bleibt. Diese energetischen Ein- und Auswirkungen sind Arbeiten, Wärme[mengen] und stoffgebundene Energiemengen bzw. Energieströme, wie [masselose] Wärmeströme (conduction), mechanische, elektrische [...] Leistungen, stoffgebunden Energieströme, Entropieströme und Entropieproduktionen etc. Die integrierten Prozessgrößen werden technisch-technologisch über die Wahl des Weges der Integration beeinflussbar.

In dem Kontext ist herauszustellen: Nur wenige Fachleute haben sich angewöhnt, die Entropie und die absolute Temperatur als derartige universale physikinhärente Paarung  $T \cdot S$  von Zustandsgrößen zu nutzen, die sich auf alle Erfahrungsgebiete der Physik ausdehnen lässt. Wobei überdies die Aufteilung der physikalischen Einheit des Produktes  $[T S]=J$  auf die beiden konstituierenden Faktoren nicht unabänderlich ist (siehe NB 3) und in der praxisüblichen Form der eigentliche Charakter der absoluten Temperatur als statistischer Mittelwert der Bewegungsenergie der submikroskopischen Atome, Moleküle, Partikel, ..., negiert wird, indem die absolute Temperatur  $T$  als Grundgröße mit  $[T]:=K$  einer damit (metrologisch überbestimmten) vierdimensionalen Thermodynamik fungiert.

## 1. Fundamentale Relationen

**Gesamtenergie:**  $E_{\text{ges.}} = U + E_{\text{kin.}} = \text{const.}$  (1)

Ruhe- und Bewegungsenergie, Erhaltungssatz-Axiom,

**Innere Energie:**  $U = \sum \Gamma_j \cdot P_j = T \cdot S + \sum L_i \cdot l_i + \sum \mu_k \cdot m_k$  (2)

generalisierte Euler-Gleichung ~ Potential

**Potentialänderung:**  $dU = \sum \Gamma_j \cdot dP_j = T \cdot dS + \sum L_i \cdot dl_i + \sum \mu_k \cdot dm_k$  (3)

differentielle Gibbs'sche Fundamentalgleichung

**Gleichgewichtsbedingung:**  $\sum P_j \cdot d\Gamma_j = 0 = S \cdot dT + \sum L_i \cdot dL_i + \sum \mu_k \cdot d\mu_k$  (4)

generalisierte Gibbs-Duhem-Gleichung

## 2. Fundamentale Prinzipien

### 2.1 Erster Hauptsatz der Physik:

$dU = dQ_{\text{rev.}} + \sum dW_{\text{rev.},i} + dW_{\text{diss}} + \sum h_k \cdot d_e m_k$  (5)

### 2.2 Zweiter Hauptsatz der Physik:

$T \cdot dS = T \cdot d_e S + T \cdot d_i S = dQ_{\text{rev.}} + T \cdot \sum s_k \cdot d_e m_k + dW_{\text{diss.}} - \sum \mu_k \cdot d_i m_k$  (6)

Exergie (der Enthalpie):

$dE = d_e E + d_i E = dH - T_U dS = d(U - \sum L_i \cdot l_i) - T_U \cdot dS = d([T - T_U] \cdot S + \sum \mu_k \cdot m_k)$  (7)

### 2.3 Prigoginsche Theorie irreversibler Prozesse

$d_i S / dt = \sum X_j \cdot J_j$  (8)

$J_j$  - thermodynamischer Strom;  $X_j$  - konjugierte thermodynamische Kraft

In den Gleichungen 1 bis 7 wurde die praktikablere, weil *wägbare*, Masse der Stoffkomponenten  $m_k$  verwendet.

Analoge Relationen ergeben sich für die theoretisch bevorzugten, *zählbaren* Stoffmengen  $N_k, n_k$ .

### Symbolerläuterung:

$P_j$  - generalisierte Quantitätsgröße (*extensiv-state*), Menge, Kapazität (*Fassungsvermögen*)

$\Gamma_j$  - generalisierte, zu  $P_j$  energie-konjugierte *Qualitätsgröße* (*intensiv-rate*)

$L_i$  - generalisierte Arbeitskoeffizienten (wie  $L_1 = -p$  [Druck], elektrische Feldstärke, magnetische Feldstärke)

$l_i$  - generalisierte Arbeitskoordinaten (wie  $l_1 = \text{Volumen}(V)$ , elektr. Polarisation  $\cdot V$ , Magnetisierung  $\cdot V$ )

$\mu_k$  - spezifisches chemisches Potential der Stoffkomponente  $k$ .  $\mu_k(T, p, x_k) = \mu_{ok}(T, p) + R \cdot T \ln(f_k \cdot x_k)$

Analog existiert das zu  $N_k$  energiekonjugierte molare chemische Potential.

**d** - **Diminutiv**, Inkrement von Prozessgrößen, infinitesimale Menge (kleine Portion) im Unterschied zu den infinitesimalen Änderungen **d** - **totales Differential**

Index **e**(*xtern*): Importe, Exporte; Index **i**(*ntern*): Erzeugungen, Produktion, Vernichtung

### Anmerkungen:

Jeder Term der generalisierten Euler-Gleichung (2) repräsentiert eine *Energiespeichergruppe* mit charakteristischen Mengen/Kapazitäten  $P_j$  und dazu energie-konjugierten Intensitäten/Potentialen  $\Gamma_j$ .

Mittels der Legendre Transformation lassen sich aus dem thermodynamischen Potential (2) innere Energie **U**, die Enthalpie **H**, die freie Energie **F**, die freie Enthalpie **G** und weitere transformierte gewinnen.

Jedes  $\Gamma_j \cdot (dP_j/dt)$  definiert einen charakteristischen *Strom*.

Die Gleichungen (5), (6) und (7) sind *Bilanzgleichungen* für offene thermodynamische Systeme in einem differentiellen Zeitbereich  $dt$ . Aus ihrer Integration  $1 \rightarrow 2$  resultieren die Bilanzgleichungen für den integralen Zeitbereich  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Für  $dt \rightarrow 0$  (Zeitpunkt) folgen Strombilanzen  $\mathbf{J}_i = -dP_j/dt$

Für *einfache thermodynamische Systeme*  $i=1$  reduziert sich der Term  $\sum dW_{\text{rev.},i} \rightarrow (-p \cdot dV)$ .

Jegliches energetische Geschehen in den Seinsbereichen Natur, Technik und Gesellschaft unterliegt *elementaren Gesetzmäßigkeiten*, zugleich dem ersten und zweiten Hauptsatz der persistenten Physik, dem *bilanzierenden Energieprinzip* und dem „regierenden“ *Entropieprinzip*, damit dem *beherrschenden Exergieprinzip*.

Nach Gl. (7) gilt:  $E = G + (T - T_U) \cdot S$ , bei  $T = T_U \rightarrow E = G(T_U) = H - T_U \cdot S$

Tab. 2 Fundamentale Relationen und Prinzipien der verallgemeinerten Thermodynamik

W. Ebeling, deutet die Entropie mit einem zwiespältigen plastischen Prädikat: „*Entropy is like head of Janus!*“ und ordnet ihr drei Grundfunktionen zu: *value of energy, amount of information, measure of disorder and complexity*. Er konstatiert grundsätzlich zur Begriffserweiterung: „Wir verfügen seither (bezogen auf Willard Gibbs ca. 1875, Erläuterung vom Vf.- LGF) mit dem Entropie-Begriff über ein adäquates Maß für Chaos und Ordnung.“

Im Zuge der modernen Entwicklungen der Theorie der Selbstorganisation<sup>9</sup> und der Chaosforschung sowie der Informationstheorie hat der Entropie-Begriff auch neue Dimensionen gewonnen, die auch das Problem der Vorhersage betreffen (Ebeling, Engel und Herzel, 1990; Ebeling und Feistel, 1994). Der Begriff der Selbstorganisation lässt sich theoretisch auf verschiedenen Ebenen beschreiben. Auf jeder dieser Ebenen spielt die Entropie als ein allgemeines Ordnungsmaß eine wichtige Rolle (Ebeling und Feistel, 1982, 1994). Jeder der möglichen Beschreibungsebenen entspricht ein eigener charakteristischer Zustandsbegriff. Daraus leiten sich auch verschiedene Entropiebegriffe ab“

Die wirklich korrespondierenden oder lediglich wahlverwandten (affinen) Entropiekonzepte haben sich prinzipiell als *Qualitätsgrößen der Energie, Prozessindikatoren und Ordnungs(Struktur)parameter* bewährt. Mit ihnen werden auf dem aktuellen Entwicklungsniveau nicht nur die originären thermodynamischen Grundfunktionen erfüllt, sondern Strukturen und Änderungen der Systemorganisation, im Ordnungszustand, der sachlichen Diversität sowie die Strukturdegradation bzw. die funktionell-strukturelle Selbstorganisation - die unterschiedlichsten räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Systemveränderungen unter den obwaltenden Bedingungen, also Prozesse - erfasst und bewertet.

Aus den beiden fundamentalen prozessualen Aspekten, der gesicherten *Zentralität irreversibler Prozesse in der Natur und der Realität des Pfeils der Zeit*, stellte sich Prigogine mit dem Studium dissipativer Strukturen einer widersprüchlichen Dichotomie, einer lästigen, weil lange nicht begriffenen Dualität der Physik. Irreversible Prozesse erzeugen Entropie, was als naturgesetzlich unvermeidbares Manko angesehen wird. Doch die gleichen irreversiblen Prozesse, die zur zerstörerischen Dissipation führen, können schöpferisch, ebenso naturgesetzlich - jenseits kritischer Parameterwerte im nicht linearen Bereich weitab vom Gleichgewicht unter synergetischen Bedingungen – auch komplexe Ordnungen aus dem Chaos generieren. Da drängt sich noch differenzierter das von Ebeling verwendete Bild der Janusköpfigkeit der Entropie auf. Janus - einer der ältesten römischen Götter, der Gott des Anfangs und des Endes – symbolisiert mit einem vorwärtsgewandten – Vorausschauenden - und einem rückwärtsgewandten - auf Vergangenes gerichteten – Doppelgesicht, die prinzipielle Erkenntnis, dass selbst alles Göttliche - mehr oder minder verhüllt - immer etwas

---

<sup>9</sup> Als *Selbstorganisation* wird in der Systemtheorie hauptsächlich eine Form der Systementwicklung bezeichnet, bei der die formgebenden, gestaltenden und beschränkenden Einflüsse von den Elementen des sich organisierenden Systems selbst ausgehen. In Prozessen der Selbstorganisation werden höhere strukturelle Ordnungen erreicht, ohne dass erkennbare äußere steuernde Elemente vorliegen.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Selbstorganisation>

„In der einfachsten theoretischen Vorstellung einer solchen Selbstorganisation werden die unmittelbaren Nachbarn eines Raumpunktes in das Regelwerk einbezogen und tragen zur Zeitentwicklung bei.“ (M.-T. Hütt 2001, S. 6) Diese raumzeitliche Dynamik lässt sich mathematisch mit partiellen Differenzialgleichungen abbilden und mit zellulären Automaten imitieren. In der Biologie sind diese Regeln von biochemischen Mechanismen und Formen der Signaltransduktion bestimmt. Als Signaltransduktion werden in der Biochemie und Physiologie Prozesse bezeichnet, mittels derer Zellen beispielsweise auf äußere Reize reagieren, diese transformieren, in das Zellinnere als Signal weiterleiten und über eine Signalkette bezeichnende zelluläre Effekte bewirken.

Gegensätzliches, in sich trägt. Auf diese Weise entzieht es sich prinzipiell einer einheitlichen objektiven Wertung, beinhaltet die Ambivalenz und im Keim die Pluralität. Die dialektische Dualität in den ehernen Gesetzen, und in den vielseitigen Strukturen offenbart sich in widerstreitenden Zweiheiten: Zukunft/Vergangenheit, Licht/Finsternis, Schöpfung/Zerstörung, Konstruktives/Destruktives, Integriertes/Separiertes, Exergie/Anergie, Negentropie/Entropie, Ektropie/Entropie etc.

In den *dissipativen Strukturen der Zustände und Prozesse* liegt der Schlüssel zum Verständnis des Ursprungs der Ordnung und der großen Vielfalt an Formen und Funktionen, die die Natur selbstassemblierend und selbstorganisierend mit autonomen Prozessen der Struktur- und Musterbildung hervorbringt. Mit den von der TIP begrifflich und sachlich integrierten „dissipativen Strukturen“ und deren Genesis erfuhr die Thermodynamik im 20. Jahrhundert einen herausragenden Qualitätsgewinn. Und, Prigogine änderte den Charakter der Thermodynamik grundlegend, indem er *aus der Theorie der Zustände eine Theorie der Prozesse entfaltete*.

Um nicht der möglicherweise verständlichen Versuchung einer zu umfassenden Darstellung zu unterliegen, sei zum Skizzieren auf das Stichwort im Spektrum-Lexikon der Physik zurückgegriffen: „*dissipative Strukturen*, Nichtgleichgewichtsstrukturen, die in thermodynamisch nicht isolierten Systemen auftreten, d. h. in Systemen, die mit der Umgebung Stoff und / oder Energie austauschen (Selbstorganisation). I. Prigogine hat 1967 vorgeschlagen, die stabilen räumlichen, zeitlichen oder raumzeitlichen Strukturen, die sich weitab vom Gleichgewicht jenseits kritischer Parameterwerte im nicht linearen Bereich ausbilden können, als dissipative Strukturen zu bezeichnen. Zu den entscheidenden Merkmalen der dissipativen Strukturen gehören die Stabilität gegenüber kleinen Störungen und der überkritische Abstand vom Gleichgewicht. Bei starken Abweichungen vom thermodynamischen Gleichgewicht genügen die Systemvariablen nicht mehr linearen Gleichungen, sondern nicht linearen dynamischen Gesetzen. Die Stabilität der dissipativen Strukturen beruht auf einer Balance von Nichtlinearität und Energiedissipation. Die Entstehung dissipativer Strukturen ist von fundamentaler Bedeutung für die Strukturbildung in der unbelebten Natur und damit überhaupt für die Möglichkeit der Evolution. (Synergetik<sup>10</sup>) Die wichtigste Teilklasse der dissipativen Strukturen bilden die stationären dissipativen Strukturen, die im Laufe der Zeit bei konstanten äußeren Bedingungen keinen Änderungen unterworfen sind.“ (Lexikon der Physik 1998) Das Aufrechterhalten eines stationären Zustandes (engl.: steady state), erfordert ein Fließgleichgewicht.

So gilt:  $dS/dt=0$ , weil sich  $\dot{d}_i S/dt = -\dot{d}_e S/dt$  in ihrem Zahlenwert kompensieren. Aus  $\dot{d}_e S/dt = \dot{d}Q_{rev.}/dt + \sum S_k \cdot \dot{d}_e m_k/dt$  folgt, dass der zwingend gebotene kontinuierliche Entropieexport mit abgeführten Wärme- und/oder Stoffströmen erfüllbar ist.

Zur thermodynamischen Modellierung und Bewertung von Strukturen ist die Einbeziehung der Thermodynamik irreversibler Prozesse (TIP) zwingend geboten. In ihr fungieren - wie Ebeling

---

<sup>10</sup> Gemäß der Begriffsbestimmung ihres Urhebers Hermann Haken befasst sich das interdisziplinäre Forschungsgebiet Synergetik (griech. synergētikos - mitarbeitend) generell mit offenen, interagierenden, komplexen Vielteilchensystemen, die sich aus vielen Untersystemen, wie Elektronen, Protonen, Quanten - darunter Photonen als Quanten des elektromagnetischen Feldes - Atomen, Molekülen, Zellen usw. konstituieren. Sie untersucht die Bedingungen und die Gesetzmäßigkeiten der Selbstorganisation. Biologie, Chemie, Medizin, Neurologie, Psychologie, die Soziologie, aber auch technisch-technologische Anwendungsgebiete, wie die dafür prototypische Lasertechnik, die Plasma- und Fluidodynamik sowie die Robotertechnologie, partizipieren von den fundamentalen Erkenntnissen beim Aufklären des Systemverhalten, der allgemeingültigen Musterentstehung und der Mustererkennung sowie deren qualitativer und quantitativer Behandlung.

faktenreich und überzeugend belegt - die *Entropieproduktion und der Entropieexport* als entscheidende thermodynamische Maße für die Effektivität strukturbildender Prozesse. (W. Ebeling 1994, S. 29 – 45)

Für Prigogines *Theorie irreversibler Prozesse* ist das *Konzept des lokalen Gleichgewichts* entscheidend. Mit der sich rasch einstellenden Maxwell-Verteilung der Geschwindigkeiten gerechtfertigt, postuliert das Konzept, dass das System in jedem elementaren Volumen, an jedem Ort im (lokalen) Gleichgewichtszustand existiert. Die Temperatur und andere Zustandsgrößen werden so Funktionen des Ortes, und das Systemganze inhomogen.

Für die totale Entropieänderung in einem Zeitintervall  $dt$  definiert der Prigoginsche Formalismus:  $dS = d_e S + d_i S$ , wobei  $d_i S$  die Entropiemenge bilanziert, die von irreversiblen Prozesse erzeugt wird.  $d_e S$  erfasst die vom externen Energie- und Stofftransport verursachte Entropiemenge (vgl. Tab. 2, Gl. 6). Der entscheidende Fortschritt resultiert aus der expliziten Beziehung zwischen  $d_i S/dt$  und den  $j$  irreversiblen Prozessen, die in Form der Summe von Produkten aus den thermodynamischen Strömen  $J_j$  und den dazu konjugierten thermodynamischen Kräften  $X_j$  erfassbar sind  $d_i S/dt = \sum X_j \cdot J_j$

[Die hier - wegen der durchgehenden Übersichtlichkeit vereinfachend - verwendeten extensiven thermodynamischen Zustandsgrößen  $Z$  sind bei den Berechnungen als verallgemeinerte Dichten einzusetzen  $Z_V := \lim_{\Delta V \rightarrow 0} (\Delta Z/\Delta V)$ ] Prigogines, 1977 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnete Erkenntnisse führten zu zahlreichen bahnbrechenden Entdeckungen und Anwendungen, wovon nicht nur die Chemie, sondern auch die Biologie profitierte. Sie wurden darüber hinausgehend zur Beschreibung bezeichnender Erscheinungen sozialer Systeme erschlossen. Mehr noch: Das erfolgreiche Bemühen, aus naturwissenschaftlichen Ergebnissen auch Konsequenzen für die Naturphilosophie abzuleiten war für Prigogine wegweisend. Insbesondere beschäftigte er sich mit dem Phänomen der Zeit. So verfasste er gemeinsam mit der Philosophin Isabel Stengers die weltbildformenden Bücher „Das Paradox der Zeit“ und „Dialog mit der Natur“.

Trotz der anhaltenden, zweckmäßigen Weiterentwicklung des Entropiebegriffs und seiner Anwendungsbreite – leider dann und wann mit Tendenzen zum Hype - gibt es nur *einen fundamentalen Typ entropischer Gesetzmäßigkeit* mit der ihr Wesen formenden *Irreversibilität und dem folgenschweren realen Zeitpfeil*, allerdings deutlich verschiedenen Wirkungsbedingungen und dem gemäße Explikationen, die von den Erscheinungsformen differenziert werden. Das sind geschlossene und offene Systeme, äußere Einwirkungen mit und ohne innere Veränderungen, statische und dynamische Gleichgewichte (stationäre Zustände verschiedener Ordnung), Prozesse, die gleichgewichtsnah und gleichgewichtsfern (demgemäß linear oder nicht linear) verlaufen, Stabilität sowie Fluktuationen mit und ohne Amplifikation, Synergie und Autarkie der stochastischen und deterministischen Mikroprozesse, Notwendigkeiten und Zufälle, um nur einige grundsätzliche - vor allem für die Behandlung der komplexen und komplizierten biotischen, ökonomischen und ökologischen Systeme unverzichtbare - Einflüsse zu nennen.

Das *evolvierende Entropiekonzept* ist in all seinen Elementen und Funktionen höchst wahrscheinlich *rhizomorph*: als Prozessindikator sowie Mengen- und Wertmaß der Energie, der Information und der Struktur, insbesondere der Unordnung/dem Desorganisationgrad der Struktur.

Das *ideelle Rhizom Entropiekonzept* ist ein verzweigtes, verästeltes, in sich interagierendes System zur Weltbeschreibung und Wissensorganisation. Im Rhizomorph (Original und Modell/Metapher) durchdringen sich Einheit und Vielheit und tolerieren, mehr noch:

protegiere, das Chaos<sup>11</sup>. Jede Mannigfaltigkeit, die keine Einheit zeigt, wird als chaotisch empfunden. Im Rhizom existiert das eine weder vor oder über dem anderen, noch hebt das eine das andere auf. ‚Es gibt Keines ohne das andere‘, es erlaubt keine Zentralperspektive und es befiehlt kein General. In den Fokus der Beobachtung und Interpretation der kognitiv-diskursiven (metaphorischen) Rhizomatik treten ‚wahlverwandte‘ Zusammenhänge in der differenzierbaren Mannigfaltigkeit. Statt der Einheit fungieren Vielheiten, die Plateaus genannt werden. Diese Plateaus definieren sich als Vielheiten, die mit anderen, durchaus auch zwiebelartig verdickten, nahe der Oberfläche verlaufenden ‚unterirdischen Sprossachsen‘ derart verbindbar werden, dass sich ein reales oder ideelles Rhizom formiert und evolviert. Herkömmliche, charakteristisch strukturierte organisatorische Komplexitäten von weitreichender Bedeutung sind die, nicht von Kreuzungen unterbrochenen, Hierarchien aller Art und wesensformende Netzwerkarchitekturen mit zahlreichen und vielförmigen Verknüpfungen sowie Verzweigungen und lediglich partiellen (insbesondere zeitweisen) Heterarchien. Die *Rhizomazität* funktioniert dagegen, durchgängig vom Konventionellen abweichend, bedingungskonform nach den gleichrangig und zugleich operierenden Prinzipien (Theoremen) der *Konnexion und der Heterogenität*. Daraus folgend kann jeder Punkt, jedes Element, dieser u. U. verworren verketteten *ontisch-ontologischen Wirkgefüge* oder *kognitiv-diskursiven*, einem semiotischen Dreieck ähnlichen, mehrdimensionalen *Beschreibungsgefüge*, beliebig mit jedem. anderen Punkt verbunden werden und dennoch unabhängig bleiben. Auf der statistischen Betrachtungsweise basierend werden im Vortrag eine, zur Thermodynamik kompatible, *dimensionslose Entropie* in Beziehung mit adäquaten rheologischen Daten ‚smarter‘ Hydrokolloide und praktisch bedeutsamen Anwendungen von Gelatine vorgestellt. Exponiert sind quantifizierte Zeitreihen für die Kinetik der thermisch induzierten Strukturbildung - insbesondere die Sol-Gel-Transformation (Phasenwechsel 2. Ordnung) - unter unterschiedlichen Bedingungen - und deren vereinheitliche Bewertung.

### *Das Polylemma der multiplen Information: Aktualität und Potentialität, Materialität und Immaterialität*

---

<sup>11</sup> *Chaos* [ˈka:ɔs] (von altgriechisch χάος cháos) ist ein Zustand vollständiger Unordnung oder Verwirrung (Wirrwarr) und damit der Gegenbegriff zu Kosmos, dem griechischen Begriff für die (Welt-)Ordnung oder das Universum. <https://de.wikipedia.org/wiki/Chaos>

umgangssprachlich kaum präziserer Begriff: gänzlich Durcheinander, Anarchie, Tohuwabohu (hebräisch), Wirrsal, Irrsal, Desorganisation. Etwas differenzierter ist die theologische Bedeutung im Buch Genesis artikuliert: „Im Anfang schuf Gott den Himmel und die Erde. Die Erde aber war Irrsal und Wirrsal. Finsternis über Urwirbels Antlitz. Braus Gottes schwingend über dem Antlitz der Wasser.“ (Rosenzweig Buber Bibel)

In den Naturwissenschaften des 20. Jahrhunderts sind die Tatbestände klarer umrissen: Der US-amerikanische Mathematiker und Meteorologe Edward Lorenz (1917-2008), der als ein Wegbereiter der Chaostheorie gilt, umschreibt den von ihm 1963 eingeführten, offenkundig in sich dialektisch widersprüchlichen, Begriff ‚deterministisches Chaos‘ sinngemäß als Bewegungen, die zwar zufällig erscheinen (scheinbare Zufälligkeit), aber nicht uneingeschränkt zufällig sind, da sie sich auf naturgesetzlicher Basis ordnungsgemäß berechnen lassen. Die im Chaos obwaltende *Anpassungsfähigkeit* begründet u. a. seine Rolle bei Transformationen.

Das stochastische Chaos hingegen bedeutet wirkliche Zufälligkeit. Der schlüssig (meist jedoch nicht ausdrücklich angegeben) auf dem deterministischen Chaos aufbauenden Chaostheorie wird inzwischen für die Wissenschaft ein Stellenwert zuerkannt, der mit dem der Relativitäts- und Quantentheorie vergleichbar ist.



Prinzipiell lassen sich mit entropischen und informationellen Modellen graduierbare komplexe Zustände, der Prozesscharakter, die Prozessrichtung, die Geschwindigkeit, die Intensität und die Wirkmächtigkeit der räumlichen und zeitlichen Veränderungen beschreiben, beurteilen und (wie letztendlich angestrebt) vergleichbar mathematisch quantifizieren. Die begrifflich nur vereinzelt präzisierte Information (wörtlich: In Form bringen) ist eine systemische, mit integrierenden und stimulierenden Wertbestimmungen verbundene, emergente Eigenschaft: eine strukturelle und funktionelle Sachverhalte reflektierende, förmlich gestaltende, funktionell steuernde und regelnde sowie Zielfunktionen einordnende Relation. Der autologische Informations-Begriff erfasst inhärent ebenso Teilmengen allgemeinen oder speziellen Wissens, die - zumeist codiert - von natürlichen und/oder technischen Sendern auf Empfänger (ebenfalls im allgemeinsten Wortsinn verstanden) übertragen werden. Sie werden bewusst übermittelt oder unbewusst transferiert.

Von herausragender und grundlegender theoretischer sowie praktischer Bedeutung und außergewöhnlichem erkenntnistheoretischen Wert sind *Gene*. Als strukturell und funktionell besonders ausgelegte und operierende ‚biotische Konstrukte‘ unterliegen sie, z. B. als codierte Strangabschnitte auf der Helix einer Desoxyribonukleinsäure (DNA, DNS), einem *hybriden Struktur- und Informationsbegriff*. Diese Gene tragen die Grundinformationen für die Entwicklung bestimmter Eigenschaften eines Individuums und bewirken - über die Transkription - die Bildung einer biotisch aktiven Ribonukleinsäure (RNA, RNS) als komplementäre Kopie des codogenen DNA-Strangs. Die schraubenförmig gewundene Struktur der Doppel- und Tripelhelix der DNS führt zu einer auffallend hohen volumennormierten Dichte der in ihr gespeicherten Daten. Nach der Zeitstruktur unterscheidet sich die aktuelle, materiell gebundene, gespeicherte Information von der potentiellen Information. Strukturell betrachtet kann sie gebunden oder frei sein. Die freie Information agiert z.B. bei Phasenwechseln.

Alle Energieträger [siehe NB. 7) sind wahrscheinliche Informationsträger. Die *Information ist* in der Regel den oben benannten *Informationsträgern superponiert bis aufgeprägt*, wie Schrift auf dem Papier und Bildkompositionen auf einem Malgrund, oder ihnen inhärent, immanent (wie eingeprägte Strukturen und Muster jeder Art in allen realen Organisationsebenen und ideellen Beschreibungsebenen)

Zur *Klassifikation der Information* nach ihren mannigfachen essenziellen *funktionalen Perspektiven* auf dem wahrnehmbaren oder noch unerkannten Entwicklungsniveau gehören zumindest die.

- *Kooperation* (in physikalischen, chemischen, biotischen, technischen, technologischen, kulturellen, ..., sozialen Ebenen und nach deren Wirk-/Funktionsprinzipien)
- *Äquilibration* (gerichtete simultane Selbstregulation: Adaptation als Kern ihrer, in der Wirkmächtigkeit unterschiedenen, kooperativ einordnenden Elemente Assimilation und Akkommodation → basale Selbstorganisation)
- *Kognition* (als hoch komplexe, aktive und aktivierende Matrix aller Wahrnehmungs- und Denkvorgänge sowie ihrer mentalen Wirkungen, wie Erfahrungen, Vermutungen, Wissen, Erwartungen, Einstellungen, Überzeugungen).
- *Kommunikation* (*verbale und nicht-verbale informationelle Interaktionen, Informationsaustausch* auf der Basis und in Formen der natürlichen bis technisch-technologischen *Signaltransduktion* nach physikalischen, chemischen, biochemischen biotischen Mechanismen und Gesetzen bis zu diesbezüglichen gesellschaftlichen Regularien. Bei der *rhizomorphen Kommunikation*, nach G. Deleuz und F. Guattari, besteht keine obligate

Sender-Empfänger-Struktur, sondern ein System des reziproken Austauschs zwischen gleichberechtigten).

Die *Information* bildet den *dritten* (kognitiv nachgeborenen und diskursiv nur wenig entschlüsselten) *Aspekt der Materie*. Analog gehört der *Informationswechsel als zentraler Bestandteil zum organismischen Metabolismus*.

Nach Tembrock bildet der nunmehr klarer hervortretende *Informationswechsel* den Schlüsselbegriff des *adaptiven Verhaltens und der systemischen Evolution*, „der in gleicher Weise wie die Begriffe Formwechsel und Stoffwechsel verwendet wird“ [...] „Es gibt einen *zeitlich programmierten Informationsbedarf*, der sich im Verlauf des Lebens ähnlich verändert wie der Nahrungsbedarf. Die moderne Verhaltensbiologie sieht hier einen ihrer Schwerpunkte künftiger Forschung. Das *Organismus-Umwelt-Problem* erscheint uns dabei als die zentrale Frage“ (G. Tembrock 1981, S. 67 ff.)

Der Informationswechsel und die selbstorganisierende stochastische Umformung sind von zufälligen und regulären sowie notwendigen und hinreichenden Bedingungen abhängig, d.h. sie gehorchen allgemeinen und speziellen Gesetzen. Während der stofflich-energetische Metabolismus die Aufnahme, den Transport, die chemische bzw. biochemische Umwandlung von Stoffen in einem Organismus sowie die Abgabe von Stoffwechselprodukten an die Umgebung erfasst, charakterisiert der *Informationswechsel* das *qualitative Niveau der Organismus-Umwelt-Interaktion (bestimmter Feld-Objekt-Kopplungen)*, die *Steuerung und Regelung der Prozesse* und damit zugleich die resultierende individuelle und ökologische *Fitness*. Zum Informationswechsel gehören als externe Transferprozesse die Aufnahme und Abgabe von Information sowie deren interne Kopplung/Verarbeitung/Transformation/-Akkumulation. Die komplexe Informationsverarbeitung umfasst – wie bei den Stoffkomponenten und Energien - *drei Prozessgruppen: das Leiten, Speichern und Wandeln*. Sie prägen - über die Assimilation und die noch reaktivere Äquilibration - maßgeblich den inneren Zustand des Organismus (im weiten Wortsinn) und damit sein *internes und externes Verhalten*.

Die Information ist Quelle und hauptsächlicher Coakteur der Selbstreflexion, Selbstinstruktion, Selbstorganisation und Selbstreproduktion - schließlich für Aktionen der kooperierenden Systeme aller Niveaus. Die Qualität der Informationsverarbeitung formiert solche kognitiven und anderen bio-psycho-sozialen Schlüsselkompetenzen, wie Wissenserwerb, Wissensorganisation (-koordination) und Wissenspräsentation, emotionale und soziale Intelligenz. Der so genutzte Begriff Kompetenz umfasst neben Wissen, Fertigkeiten, Fähigkeiten und Einstellungen auch Wertvorstellungen.

Resümierend betrachtet ist die *Information* fundamental ein *Maß für die Konfiguration* (d. h. die Form, Mode, Anordnung, Konstellation), ein *Indikator der Organisiertheit*, die mindesten die *Strukturiertheit* und die *Bestimmtheit* als charakteristische Merkmale vereint, also den Organisationsgrad (~Ordnung) von Zuständen und Prozessen - z. B. der Menge der semiotischen Struktureinheiten sowie der Menge und Qualität ihrer Relationen (Beziehungen, Verhältnisse) – dimensioniert. Der allgemeine Struktur-/Ordnungsbegriff definiert: Eine Menge (Gesamtheit) bestimmter, unterscheidbarer Elemente beliebiger Art, die in charakteristischer Weise angeordnet, verknüpft und organisiert sind, zwischen denen relativ beständige Relationen, innere funktionell-strukturelle Gliederungen mit bestimmten Eigenschaften,

bestehen. Ordnungen<sup>12</sup> haben natürliche oder technisch generierte Funktionen, die von natürlichen oder artifiziellen Strukturen getragen werden. *Statistisch fundamental* ist die Relation *Wahrscheinlichkeit (im Makrozustand) ~ Anzahl der Mikrozustände*. Wir können allerdings stets nur den Makrozustand eines Systems beobachten, während jeder dieser Makrozustände von einer Vielzahl ähnlicher, aber im Detail verschiedener Mikrozustände gebildet wird.

Die *gespeicherte=aktuelle Information I<sub>akt.</sub>* bekundet die *faktische Bestimmtheit/Gewissheit*. I<sub>akt.</sub> weist damit zugleich den für einen Strukturaufbau erforderlichen Aufwand aus, der sich (bis auf die Verluste) beim Strukturabbau wieder freisetzen lässt.

Für die faktische *Ungewissheit/Unbestimmtheit* steht die potentielle Information I<sub>pot.</sub> Sie ist begrifflich allgemeingültiger als die Wahrscheinlichkeit - der Grad der Gewissheit.

(Eine kognitive Brücke zu I<sub>akt.</sub> und I<sub>pot.</sub> bietet die Gegenüberstellung mit der Wirk- und Scheinleistung beim Aufbau von Wechselstrom-Netzen)

In „Der kreative Kosmos. Geist und Materie aus Quanteninformation“ definieren Brigitte und Thomas Görnitz eine vollkommen *abstrakte Information*, die sie als *Prototypis* bezeichnen. Der Name leitet sich von *typeo* ab – „ich präge ein“ Die *bedeutungsfreie Quanteninformation* ist etwas, dem sich eine *Form*, eine *Gestalt*, sogar eine *Bedeutung* einprägen kann“

(Görnitz, 2002, S.7)

Die für die *ambivalente Information* begründbar anzubietende Arbeitsdefinition, die den aktuellen Erkenntnisstand zu ihren Relationen, den Erscheinungsformen und Ausprägungen (des semantisch selbstbezüglichen) Definiendums im breiten Wortsinn ‚aufheben‘ (beseitigen, bewahren, auf ein höheres Niveau befördern) könnte, lautet:

Information (In-Formatio) – *Fundamentale physikalische Kategorie, sich im basalen stochastischen Prozess der Selbstorganisation vermittelt des Informationswechsels formierende und organisierende komplexe Struktur höherer Ordnung mit der Fähigkeit zur funktionalen Rückkopplung* sowie einer inhärenten und/oder superponierten, (wenigstens intersubjektiven) semiotischen Semantik (Zeichenbedeutung) und handlungsaktivierenden Zeichenwirkungen (Pragmatik, Praxis) Diese *trialektische Information* besitzt drei eigentümliche, aber komplementäre und nur theoretisch, methodisch zu trennende *Glieder*: folgerichtig einen *syntaktischen (Struktur)*, einen *semantischen (Bedeutung)* und einen *pragmatischen (Wirkung) Aspekt* (K. Fuchs-Kittowski 2010, p. 551-570)

Im Kontext mit den Entropie- und Informationskonzepten ist es unerlässlich, die unterstellten bewertenden Merkmale zu erläutern: *Komplexität* (lat. *complexere* - zusammenfassen, ineinanderfügen) und *Kompliziertheit* (lat. *complicitum* – zusammenfallen, verwickeln, verwirren) bis zu ihrem Extremum, dem vollständig zufallsbestimmten, gänzlich ungeordneten *stochastischen Chaos*.

Im umgangssprachlich häufig synonymen Gebrauch zweier zentraler Begriffe für das *Organisationsniveau* (d. h. vor allem *Strukturiertheit* und *Bestimmtheit*), nämlich der *Komplexität* und die *Kompliziertheit*, offenbart sich abermals das generelle Problem der ‚Trennschärfe‘ der Begriffsinhalte. Wesentliche Teile der Charakteristika der *mutuellen Komplexität (Sonderfall)* und *Kompliziertheit (Normalfall)* sind adäquat. Das Einende und Trennende sei anhand der allgemeineren (d.h. im Vergleich zur organisierten Komplexität) aus der Sicht der morphologischen Linguistik weniger spezifischen Kompliziertheit dargestellt, die

---

<sup>12</sup> Informationstheoretisch analysierend steht für Ordnung (d.h. eine hohe Symmetrie im Phasenraum - dem Raum der diskreten oder kontinuierlichen Zustände) der *mittlere aktuelle Informations(gehalt) I<sub>akt.</sub>*, die *faktische Bestimmtheit*. Während gewöhnlich niedrige Symmetrien im Phasenraum *faktische Unbestimmtheit (assoziiert mit Unordnung im Ortsraum)* bedingen bzw. testieren

praktisch stets auf einen Mangel, auf Unverständlichkeit, Unvollständigkeit, Unzulänglichkeit, in toto auf ein Defizit hinweist, das bis zur Anarchie, dem Chaos<sup>13</sup>, reicht.

Zur Diskussion wird vorgeschlagen: *Kompliziertheit* – allgemeingültigstes und umfassendstes, relationales, komparatives Kriterium, gegebenenfalls (as circumstances require) Maß für die *Menge und qualitative Verschiedenartigkeit (Diversität, Varietät, Heterogenität)* der Struktur- und Funktionselemente, ihrer Relationen sowie der Funktionalität der Wirkgefüge, wie Netzwerke und Verknüpfungen (Funktionsvielfalt, –umfang, -charakter, Emergenzen, Prozesscharakter, Nichtlinearitäten, Feedback) auf den im System/Organismus als Entwicklungsergebnis natürlich hervorgebrachten und/oder finalen, eigens konstruierten, qualitativen Entwicklungsniveaus/ Emergenzebenen.

Der morphosyntaktisch *markierte* (präzisierende, spezifische, ausgefallener) komplementäre *Begriff Komplexität* reflektiert höhergradig Organisiertes<sup>14</sup> (higher order), im Idealfall Metromorphes ( $\approx$  'Maßgeschneidertes', made-to-measure) und bietet so einen zentralen Referenzpunkt für alle Real- und Theoriensysteme vom Physikalischen ..., über das Biotische, Technisch-Technologische bis zum höchst komplexen Gesellschaftlichen.

Beide Termini formieren – analog zu den Penumbren/Biopolaritäten - unterschiedliche paarige Antonyme. Korreliert sind einerseits die *polbildende*, markierte (präzisierende) *Komplexität* und die markierte (präzisierende) *Elementarität*, andererseits die *prinzipiell skalierbaren und graduierbaren* unspezifischen *Normalfälle Kompliziertheit und Einfachheit*.

Im Gesamtsystem der vier, an- und einzuordnenden, qualitätsbestimmenden relationalen Organisationsniveaus formiert – abgesehen vom sich selbst erklärenden Trivialen – *das Elementare das Einfachste*, auf seine jeweilige Funktion bezogen eine irreduzible ( $\approx$  unzerlegbare) Mannigfaltigkeit) für die Wirk-, Erkenntnis- und Gestaltungsprinzipien.

### Die Szenerie der Gegenwart und Szenarien der offenen Zukunft

Offenkundig erhöhen sich rasch und gravierend in allen sozio-kulturell und ökologisch-ökonomisch relevanten Bereichen die Mannigfaltigkeit, Vernetzungen, Verschränkungen, Intransparenz, Transformationen sowie deren ambivalente Folgen mit - in Ansätzen - pathologischen Problemsituationen, und gekoppelt damit die gesellschaftlichen sowie individuellen Herausforderungen. Stichworte wie Globalisierung, die die ökologische Tragfähigkeit des Lebensraums überschreitende Weltbevölkerung (Überbevölkerung), die Übernutzung wichtiger Ressourcen und der verhängnisvolle Klimawandel zeugen davon. Angestrebt wird die Evolution nachhaltiger regulatorischer Ideen für die Gestaltung der natürlichen Existenz- und Entwicklungsbedingungen. Hinzu kommen von den Informations- und Kommunikationstechnologien direkt induzierte, zumindest davon begünstigte, auf die

---

<sup>13</sup> Zur ‚*Vegetation des chaotischen Dschungels*‘ der scheinbaren Undurchdringlichkeit und quasi Gesetzlosigkeit, *irregulären* (scheinbar zufälligen) oder *rein zufälligen Zeitverhalten*, nicht sicher extrapolierbarer Zustandsfolgen, sehr eng begrenzter Vorhersagbarkeit aber großer Anpassungsfähigkeit etc., gehören ‚*charakteristische Varietäten*‘ des Systems, wie *Dissipation, Bifurkationen, stabile Orbits* (bestimmte Zahlenfolgen, die - mit dem Startwert  $x_0$  beginnend - kraft der Iteration der Rekursionsvorschrift  $x_{n+1}=f(x_n)$  - ggf. mit Suborbits - auseinander hervorgehen), *Attraktoren* und *Repulsoren* [anziehende (stabile) und abstoßende (instabile) Fixpunkte], *Feigenbaumkonstanten, Hausdorff-Dimensionen* (die die Möglichkeit bieten, beliebigen metrischen Räumen eine Dimension zuzuordnen)

<sup>14</sup> Die *Kolmogorovsche Komplexitätsdefinition* weist der zufälligsten Anordnung der Systemelemente die numerisch höchste Komplexität zu, entspricht damit der Informationsentropie von Shannon. Infolgedessen quantifizieren beide direkt die Unsicherheit, die faktische Unbestimmtheit.

*effektivste* und *effizienteste Vernetzung*<sup>15</sup> *unterschiedlichster Entitäten* orientierte Entwicklungstendenzen, wie Industrie/Arbeitswelt 4.0 (einer in Deutschland überwiegend formalistisch verbreiteten Chiffre) bis zum ‚Internet der Dinge‘. Die Basis bilden die umfassende Digitalisierung und das ‚Big Data‘. Möglichst alles soll gemessen, berechnet, analysiert, gespeichert sowie prognostiziert werden, um es zu optimieren und – im Idealfall vollautomatisch – zu steuern und zu regeln.

Um essentielle Funktionen und die sie tragenden Strukturen sozialer Systemen zu erhalten, zu verbessern oder gar neue aufzubauen bzw. zu implementieren, bedarf es bei den gesellschaftspolitischen Steuerungen eines bestimmten Aufwands an ‚sozialer Energie‘: sowohl direkter als auch indirekter Einflussnahmen: als Oberstem der Kontrolle und Analyse des organisatorischen Zustandes sowie der Steuerung und Regelung der operativen und strategischen Prozesse. Unter dem Terminus ‚soziale Kontrolle‘ subsumieren Soziologen, wie der zitierte M. Wöhlcke, alle Normen, Werte und auch Aktivitäten, die dem gesellschaftlichen Zerfall, jeglicher gefährlichen Degeneration, wie der Erosion des sozio-politischen Systems oder der Übernutzung des anthropogenen Ökosystems, entgegenwirken sollen. Aus der Perspektive der Thermodynamik sind derartige Aktivitäten mit dem Begriff Arbeit treffend bezeichnet. Der Wert jeglicher Energie wird nach Maßgabe des Menschen bewusst vor allem auf die ARBEIT bezogen. Das fundamentale und entscheidende Ordnungsmerkmal der Energie und der Energieträger ist demgemäß ihre Arbeitsfähigkeit, die unter definierten Umgebungsbedingungen auch als Exergie angegeben wird.

Ideelle und pragmatische Brücken verbinden die physikalische und die protogene menschliche Arbeit: die zielgerichtete Tätigkeit mit der sich der Mensch - seinen Bedürfnissen, Zwecken und Möglichkeiten entsprechend - das Natürliche aneignet, den "Stoffwechsel mit der Natur" vermittelt, regelt, kontrolliert, das Technische gestaltet, mit einer bestimmten Produktivität und Effektivität Gebrauchswerte schafft - also arbeitet. Natürlich drängt sich aufgrund vielfältiger individueller und gesellschaftlicher Erfahrungen immer wieder die Frage auf, ob die angepriesene sogenannte *soziale Kontrolle* ausreicht, um wirkliche Fortschritte im vielparametrischen, auch mit Zufälligkeiten behafteten, sich nichtlinear und rückkoppelnd verändernden Niveau des dynamischen gesellschaftlichen Zustandes mit all seinen relevanten Facetten und interesselgeleiteten Implikationen zu erzielen, wenigstens einen, den gesellschaftlichen Anliegen zuträglichen (wenn auch metastabilen oder pseudostabilen, dennoch einigermaßen beständigen) dynamischen Zustand sozio-ökonomischer und sozio-kultureller Ordnung zu sichern. Mitunter wird von einer stabilen Instabilität - vor allem politischer Zustände – gesprochen. Vor allem die aktuelle Diagnose der Symptome und Symptomcluster (Syndrome) im facettenreichen gesellschaftlichen und technologischen Problemfeld mit allen Faktoren verweist auf Überlastung, Überforderung sowie Unbestimmtheit, Unsicherheit, auf Bestimmungsprobleme, Entscheidungsprobleme, Entwurfsprobleme und Gestaltungsprobleme von mitunter unterschiedlichem Rang, aber bezeichnender Koinzidenz. Sie unterliegen der Konnexion und der Heterogenität, sind affin, komplementär, konträr aber auch kontradiktorisch, bedürfen entropisch- informationeller Konzepte.

---

<sup>15</sup> Wegen der Unschärfe auch dieses Begriffs, seien in quasi mengentheoretischer Notation zwei Relationen aus Clustern angegeben :

$\text{interlacedness} = \{(\text{networked integrated}) \cdot (\text{connectivity}) \cdot (\text{interconnection})\}$

$\text{Vernetztheit} = \{(\text{integriert vernetzt}) \cdot (\text{Verbindungsfähigkeit}) \cdot (\text{Vernetzungsdichte})\}$

## *Welche Chancen bieten sich, die Zukunft human zu gestalten?*

Entwicklungsgesetzlich werden sowohl die *ontisch-ontologische*, als auch die *kognitiv-diskursive Komplexität* selbst immer komplexer, dazu vor allem komplizierter (verwickelter, verworrener, undefinierbarer) „Die Analyse führt durchaus nicht zur Idee einer einfacheren Welt, sondern lässt uns eine komplexe Welt erahnen, *über die wir nicht mehr urteilen können*, sondern die wir vielmehr *erforschen müssen* und dass wir [dabei] nicht gegen die Wissenschaften, sondern mit ihnen die neuen Wege des Dialogs zwischen den Menschen und der von ihnen bewohnten Welt bauen.“ (I. Prigogine, I. Stengers 1986, S. 310; 311)

„Nicht herausgefordert zu werden heißt verkümmern“, konstatiert der US -amerikanische Schriftsteller Frank Herbert, „Und die höchste Herausforderung besteht darin, *die Entropie zu überwinden*, jene Barrieren zu durchbrechen, die das Leben umschließen und isolieren und die Energie für Arbeit und Erfüllung begrenzen.“ (F. Herbert & B. Ransom 1981, S. 361) Blühender Einfallsreichtum der Fantasy-Schriftsteller? Wie ließe sich das involvierte bzw. einbettende Naturgesetzliche bezwingen, und *die Barrieren* gleich für beide Hauptsätze der Physik *durchbrechen*? Vermindern lassen sich wohl lediglich einige Auswirkungen über bewusst korrigierte Ziel- und Zwecksetzungen sowie das verantwortungsbewusst und nachhaltig gestaltete humanökologische Bedingungs- und Handlungsgefüge.

Auf die Frage des Zukunftsforschers und Politologen Ossip K. Flechtheim: Wie die Zukunft zu retten sei, lautet Ebelings Versuch einer Antwort: „*Eingeschränkte Selbstorganisation und Diversität* in Verbindung mit *Kreativität und Toleranz* ist ein geeignetes Rezept für die Gestaltung der ökologisch-ökonomischen und sozio-kulturellen Zukunft unserer Welt.

Die zu beachtenden Schranken ergeben sich aus physikalischer Sicht insbesondere aus der Begrenztheit der verfügbaren Ströme von wertvoller Energie bzw. von Entropie und aus den Grenzen der Stabilität des ökologisch-ökonomisch Gesamtsystems unserer Erde“ (W. Ebeling 1994, S. 39).

Die natürliche, technisch-technologisch und gesellschaftlich schwierigste Funktion der Transformation/Konversion offerieren die simultanen, konjugierten oder gekoppelten stofflichen, energetischen und informationellen Wandlungen<sup>16</sup> in vielfältig variierenden, auch polaren Ausprägungen, in Reaktionen unterschiedlichster Typen, wie Stoffwandlungen im Großtechnischen oder kinetischer Phasenübergänge verschiedener thermodynamischer Ordnungen im Elementaren.

Um den Prozess der Entropiezunahme zu verlangsamen, ist ein „bioökonomisches Minimalprogramm“ unerlässlich, nicht gegen die Wissenschaften, sondern mit ihnen auf neuen Wegen. Es kommt nicht darauf an, singular den Wohlstand zu mehren, sondern die Schäden zu minimieren, die wir den Geosphären - unseren Lebensgrundlagen - zufügen. Diese sinngemäßen Auffassungen des ökologischen Ökonomen Georgescu-Roegens, von dem leider keines seiner bedeutungsvollen Bücher ins Deutsche übertragen wurde, haben ihn zu Unrecht

---

<sup>16</sup> Die drei Funktionen begründen *Speichertechnologien, Transporttechnologien, Prozess(Funktions)-technologien*. **Technologien** subsumieren generell den Modus, die Art und Weise, die Verfahren und Strategien, mit denen der affektiv, aktional (sensomotorisch) und kognitiv agierende Mensch mit seinen, ihm natürlich gegebenen (physischen, psychischen) oder eigens dafür geschaffenen (artifizialen) Mitteln und Methoden (Arbeitsmitteln), die Arbeitsgegenstände: Stoffe, Energien, Informationen bearbeitet, verarbeitet und umwandelt. Informationen sind in dem Kontext demgemäß sowohl unverzichtbare Arbeitsmittel, als auch Arbeitsgegenstand. Das gilt in ausgezeichneter Weise für den Spezialfall der sich konsolidierenden Kognitionstechnologien.

den Ruf eines „Weltuntergangspropheten“ eingetragen. Er argumentierte realistisch. Unter physikalischen und sozio-technischen Perspektiven werden der Wohlstand und das Wohlergehen der menschlichen Gesellschaft zum wesentlichen Teil mit einer dazu äquivalenten Entropieproduktion „erkauft“ und vom dafür investierten exergetischen Aufwand, von Arbeit, getragen. Um die für ihr Überleben notwendige niedrige Entropie (konzentrierte Energie/Materie) zu gewinnen, müssen die Menschen in ihrer Umwelt immer mehr Energie/Materie dissipieren "Die populäre wirtschaftliche Maxime, ‚Es gibt nichts umsonst‘, sollte daher vom Satz ersetzt werden ‚Es gibt nichts, außer zu einem weit höheren Preis an niedriger Entropie.“

Natürlich ist der gegenwärtige Zustand eines dynamischen Systems (wie z.B. das Weltall oder die kompartimentierte Erde mit ihren verschränkten und interagierenden ‚Reaktionsräumen‘) als Wirkung der früheren Zustände aufzufassen, und kann andererseits als Ursache der darauf folgenden angesehen werden (Ein Indiz:  $S^{\#} = I_{\text{pot}} / I_{\text{akt.}}$ )

In einem Vortrag zum *deterministischen Chaos* begründet L. Kolditz seine grundlegende These „Alles Geschehen im Universum wird vom deterministischen Chaos beherrscht, in dem das komplexe Zusammenwirken nicht linearer Vorgänge, die einzeln durch Naturgesetze gesteuert werden, zur großen Vielfalt der Erscheinungen führt.“ (L Kolditz 2011, S. 107)

Das ‚*deterministisches Chaos*‘, das sich Regeln unterwirft, ist *Systemzustand* und *Prozess*.

Die Nicht-Notwendigkeit alles Bestehenden, dessen Kontingenz, führt zur prinzipiellen Offenheit der Veränderungen und Entwicklungen sowie der menschlicher Erfahrungen und des Wissens. „Naturgesetze steuern den Zufall“ konstatieren Manfred Eigen und Ruthild Winkler (Das Spiel) Die Zukunft ist also nicht eine lediglich unbekannte Realität, sondern etwas Imaginäres. Die offenen, tatsächlich ‚*Zukünfte*‘ existieren nur als Möglichkeit, als Potentialität. In jedem Moment manifestieren sich diese Potentialitäten, realisieren sich mit Chancen und Risiken auf eine bestimmte Art und Weise (vgl. Kolditz und Prigogine), werden Eventualitäten zum Faktum.

„*Unbestimmtheit* war und ist in unterschiedlichster Weise ein zentraler Topos der Reflexion über die Lebenswelt“ (G. Banse 11.05. 2017) Banse trug am 11. Mai 2017 in der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften zum Thema „Über den Umgang mit Unbestimmtheit“ vor und publizierte vordem dazu in „Leibniz Online“ Bemerkenswertes. *Unbestimmtheit* definiert er als „eine nicht-vorhandene strenge Determiniertheit zwischen (Handlungs-)Absicht und (Handlungs-)Ergebnis oder keine direkten Ursache-Wirkungs-Beziehungen bzw. eines entsprechenden Wissens (unvollständige Information) darüber.“ Während in der Gegenwart - fast ausnahmslos auf der Basis *unvollständiger Informationen* - zu entscheiden und zu handeln ist, stellen sich die (möglichen) Wirkungen der Handlung erst zukünftig ein. „Die Unbestimmtheit der Zielerreichung wird bewusst in Kauf genommen“ Wir müssen Risiken eingehen und uns dafür bestmöglich mit Orientierungswissen und Verfügungswissen ausrüsten. „*Risikowissen* ist Wissen für den (*auch methodischen*) Umgang mit dieser *Unbestimmtheit* zukünftiger Zustände, es bezieht sich auf die (Ab-)Schätzung von Eintrittshäufigkeiten, die Abschätzung von Eintrittswahrscheinlichkeiten, die Ereignisvoraussage, die Handlungsauswahl und die (möglichen) Handlungsfolgen.“ (G. Banse 11.05.2017)

Im Universum obwaltet weder ein *absolute Chaos* (mit seinen verschränkten Zufällen), noch eine *absolute Ordnung*. Es bewegt und verändert sich sensuell wahrnehmbar auf der Grundlage verifizierbarer und interobjektiv anerkannter Gesetze. Folglich herrschen im komplexen Objektiv-Realen - im organisierten Ganzen, mit seinen dennoch entgegengesetzten Teilen -

*relative Ordnung* und *relative Harmonien*, die in uns Eindrücke des Schönen erwecken und überdies vom reflektierenden Verstand auf Wahrheit oder Richtigkeit geprüft und bestätigt werden können. Die prozessualen Übergänge von einer definierten Struktur zu einer abgegrenzten anderen, verlaufen – wie z.B. bei einigen Phasentransformationen experimentell beobachtbar – über ein vollkommenes transientes Chaos.

Selbst die Kreativität wird als funktionales Chaos im Kopf apostrophiert. Die Essayistin Aba Assa (\*1974) verkündet: „Kreativ arbeiten heißt, das Chaos im Kopf ständig neu zu ordnen“<sup>17</sup>. Ohne verantwortungsbewusste Orientierung und die wohl proportionierte Legierung aus Verfügungswissen und Orientierungswissen besteht die Gefahr, dem Unbegreiflichen, Unvernünftigen oder Wirrwarr-Wahrheiten anheimzufallen.

„Unser Wissen, so ist oft betont worden, ist schneller gewachsen als unser moralisches Bewusstsein - oder genauer: *Wir haben für kollektive und irreversible Entscheidungen großer räumlicher und zeitlicher Tragweite keinen angemessenen Verantwortungsbegriff entwickelt.* In der Sprechweise der Wissenssoziologie formuliert, besitzen wir ein reiches Maß an Verfügungswissen (ein Wissen über die *Mittel*, ein Ziel zu erreichen), was uns fehlt, ist Orientierungswissen (ein Wissen, das uns gestattet, uns Klarheit über unsere *Ziele* zu verschaffen).“ Dieses schwerwiegende Defizit an normativen Gehalten, das der Philosoph Hans Poser schon 1988 beklagte, widerspiegelt m. E. ein anhaltendes Dilemma und hat manchen, wie Poser wörtlich protokollierte: „zu einer Fluchtbewegung in Esoterik und Mythos, neue Mystik und New Age geführt. Dort wird man [...] den Mangel einer begründeten Antwort gar nicht mehr bemerken, weil mit der Abkehr von etablierten Wissenschaftsmethoden auch alle Formen überprüfbarer Begründung fallengelassen wurden. Der neue Irrationalismus ist deshalb sicher eine noch größere Gefahr als die klar erkannten und damit ausgrenzbaren Gefahren unserer technischen Welt, denn die Probleme, die wir uns selbst geschaffen haben, werden durch Autosuggestion nicht zum Verschwinden gebracht“

(H. Poser 1988, S. 246/247)

### ***Wahrheit***

*Eine ist sie für alle,  
Doch siehet sie jeder verschieden;  
Daß es eines doch bleibt  
Macht das Verschiedene wahr.*

(Friedrich Schiller)

---

<sup>17</sup> ([https://www.aphorismen.de/suche?f\\_autor=239\\_Aba+Assa](https://www.aphorismen.de/suche?f_autor=239_Aba+Assa))



## Literatur

- Banse, G.: Leibniz Online“ Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e. V.“, Nr. 22 (2016)  
(<http://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2016/03/Banse.pdf>)
- Einstein, A.: Autobiografisches , In: P.A. Schlipp (Hrsg.) Evanston 1949, S. 32
- Boltzmann, L.: In: Populäre Schriften . Ausgewählt von E. Broda, Braunschweig/Wiesbaden 1979
- Feistel, R., Ebeling, W.: Models of Darwinian Processes and Evolutionary Principles. BioSystems 15, 1982, S.291 - 299
- Ebeling, W. & R. Feistel, Physik der Selbstorganisation und Evolution, Akademie-Verlag Berlin 1982,1986
- Ebeling, W., Engel, H., Herzel, H.: Selbstorganisation in der Zeit, Akademie-Verlag Berlin 1990
- Ebeling, W, Feistel, R.: „Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution“, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin 1994,
- Ebeling, W., Chaos, Ordnung und Information, Urania-Verlag Leipzig und Verlag H. Deutsch, Frankfurt a.M. 1989
- Ebeling, W.: Selbstorganisation und Entropie In: Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie. Beckenbach, F., H. Diefenbacher H. (Hrsg.), Marburg ,1994, S. 39, 29-45 ].
- Falk, G ; Ruppel, W.: „ Energie und Entropie - Eine Einführung in die Thermodynamik“, 1976, Berlin, Heidelberg, New York, S. V
- Fuchs-Kittowski, K: Information - neither matter nor mind - on the essence and on the evolutionary stage conception of information, Page 551-570, Published online: 04. 06. 2010)
- Georgescu-Roegen, N.: The Entropy Law and the Economic Process , Fourth Edition Harvard University, Cambridge p. XIII
- Görnitz, T. , Görnitz, B.: Der kreative Kosmos. Geist und Materie aus Quanteninformation, Berlin, Heidelberg 2002
- Hütt, M.- T.: Datenanalyse in der Biologie. Berlin, Heidelberg, New York 2001, S. 6
- Haken, H.: Erfolgsgeheimnisse der Natur, Dt. Verlagsanstalt Stuttgart 1981
- Herzel, H., Schmitt, A.O., Ebeling, W: Finite Sample Effects in Sequence Analysis,Chaos, Solitons & Fractals 4 ,1994, S.97
- Herbert, F. & B. Ransom: Der Jesus-Zwischenfall, München 1981, S. 361.
- aglom, A.M. und I. M. Jaglom, Wahrscheinlichkeit und Information. Berlin 1984
- Kolditz, L.: Deterministisches Chaos und Gesellschaft, Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften, Bd. 110 [2011] S. 107-122.
- Lanius, K., Natur im Wandel, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin-Oxford 1994
- Lexikon der Physik 1998 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- 
- Nicolis, G. Sc. Prigogine, I: Die Erforschung des Komplexen, Piper-Verlag München-Zürich 1987
- Poser, H.: Probleme und Perspektiven gegenwärtiger Philosophie. In: 100 Jahre URANIA Berlin. Festschrift Wissenschaft heute für morgen, Berlin 1988, S.245-249)
- Prigogine, I.; Stengers, I: Das Paradox der Zeit, Piper-Verlag München-Zürich 1993
- Prigogine ,I., Stengers, I. Dialog mit der Natur – Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens, Fünfte erweiterte Auflage, Piper, München.1986, S. 310; 311
- Ruelle, D.: Zufall und Chaos, Springer-Verlag, Berlin u. a. 1993
- Schrödinger , E.: What is Life, Cambridge, 1992

Schiller, F.: Schiller Gedichte Textsammlung, Friedrich Schiller Archiv Weimar, 2017)  
Truesdell, C.: Rationale Thermodynamik: New York. Berlin, Heidelberg, Tokyo 1984, p. 22  
Tembrock, G: Moderne Verhaltensforschung, In: Wissen aus erster Hand - Erkenntnisse, Erfahrungen, Erfolge der Wissenschaft. Fleischer, L.-G., Hess, H. [Hrsg.], Berlin 1981, S. 67 ff.  
Vonneuman, N. A.: John von Neumann as seen by his Brother, Revised Edition. Library of Congress, Catalog Card Number 87 - 91777. 1992  
v. Weizsäcker, C. F.: Aufbau der Physik, München 2002, S. 250  
Wöhlcke, M.: Soziale Entropie. Die Zivilisation und der Weg allen Fleisches.-München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1996.