

Lutz-Günther Fleischer

## Die perfekte Imperfektion des Faktischen

### Gedanken zum intelligenten Umgang mit der Kompliziertheit und Komplexität – Dankesworte und Schlussbemerkungen

Meine sehr verehrten Damen und Herren, hoch geschätzte Gäste, liebe Kolleginnen und Kollegen der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin,

Ihnen allen danke ich für Ihr Kommen und das damit bekundete Interesse am anregenden Thema des heutigen Kolloquiums. Mein 80. Geburtstag bot lediglich den Anlass dafür, denn solche Jubiläen sind – wie allgemein anerkannt – kein persönliches Verdienst, und ein „runder Geburtstag“ wird numerisch auch nur im obwaltenden Dezimalsystem hervorgehoben, bisweilen fetischisiert. Eine derart extreme, rational nicht begründbare Verabsolutierung galt es unbedingt zu vermeiden. Das ist wahrscheinlich auch gelungen.

Meine Stellvertreter im Amt des Sekretars der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften, *Horst Kant* und *Ekkehard Höxtermann*, haben die Mühe der Organisation und der Moderation der Plenarveranstaltung auf sich genommen. Das weiß ich – getragen von langjährigen eigenen Erfahrungen – zu schätzen. Sie haben mich überdies wegen meiner Einwände davon überzeugt, den wohlwollenden Vorschlag des Präsidiums, ein solches Kolloquium zu realisieren, anzunehmen. Aufrichtigen Dank dafür.

Dem Präsidenten unserer Sozietät, Professor *Dr. Gerhard Banse*, danke ich für die anerkennende Würdigung des ihm bekannten Teils meines wissenschaftlichen Lebens sowie meiner bescheidenen Teilhabe am Wirken der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften. Das verpflichtet.

---

\* Mit komprimierten Reflexionen zu prägenden Aspekten der drei Plenarvorträge und adjustierten Gedankengängen gegebenenfalls mit Eigenzitaten aus dem Vortrag in der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften am 11. November 2018 „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“, in: Leibniz-Online. Zeitschrift der Leibniz-Sozietät e. V. [vor Veröffentlichung].

Wegen des dienstlich verhinderten Referenten des planmäßigen Vortrags in der Klasse Naturwissenschaften und Technikwissenschaften konnte ich heute Morgen einige Einblicke in Probleme, wissenschaftliche Erfordernisse und Interpretationen zu eigenen Versuchen mit „smarten“ Hydrogelen vermitteln. Unter dem Titel *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* wurden Probleme, wissenschaftliche Erfordernisse und Interpretationen zu eigenen Versuchen mit „smarten“ Hydrogelen vorgestellt. Den Hauptinhalt bildeten einige fokussierte Einblicke in die mehrere Jahrzehnte währenden gemeinsamen interdisziplinären Untersuchungen des Referenten und seiner Arbeitsgruppen mit anderen Fachvertretern und Kooperationspartnern aus wissenschaftlichen Institutionen sowie unterschiedlichen Technologiebereichen zu wichtigen Biopolymeren: 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 der Hefe *saccharomyces cerevisiae*, bioaktive Hyaferm-Composite ( $\beta$ -Glucane/Hyaluronat). Das ist eine kleine Selektion. Nach dem obwaltenden Verständnis gehört zu den *Biopolymeren* eine kaum überschaubare Menge und Vielfalt funktionstragender komplexer Homo- und Co-Polymere biogenen Ursprungs bzw. Composite daraus. Eine überragende Bedeutung kommt der *Gelatine* als *Modellsubstrat* und wegen ihres Eigenwertes mit einer Vielfalt von Applikationen zu. Experimentell exponiert wurden in diesem Kontext quantifizierte Zeitreihen für die Kinetik der kühlungsinduzierten Strukturbildung – insbesondere die Sol-Gel-Transformation (Phasenwechsel 2. Ordnung) – unter unterschiedlichsten Bedingungen – und deren *vereinheitlichte Bewertung*. Auf der statistischen Betrachtungsweise basierend wurde eine, zur Thermodynamik kompatible, *systematisch begründete dimensionslose Entropie*  $S^\#$  in Beziehung mit adäquaten rheologischen Daten „smarter“ Hydrogele und praktisch bedeutsamen Anwendungen von Gelatine vorgestellt. Sie wurde im Vortrag favorisiert, der als erweitertes Manuskript auf der Webseite der Leibniz-Sozietät dokumentiert wird.<sup>1</sup> Er ist als inhaltliches Komplement des Kolloquiums zu verstehen.

---

1 Vgl. <https://leibnizsozietat.de/wp-content/uploads/2018/08/L.-G.-Fleischer-Erweitertes-Manuskript-zum-Klassenvortrag-am-11.-Oktober-2018.pdf>

## 1 Wesen sowie inhärente Prinzipien und Konzepte der Entropie und Information

Den theoretischen Kern der kommentierten Experimente und Überlegungen bilden die Begriffe *Entropie und Information*. Genutzt und erörtert werden (mit Bezugnahmen auf die Evolution der Basis-Begriffe *Entropie und Information*) modifizierte *entropische und informationelle Konzepte* als verallgemeinerungsfähige Denk- und Werkzeuge. Dieser theoretische Kern bildet die Brücke zum *Thema des Plenums „Unbestimmtheit, Unsicherheit, Fehlerhaftigkeit und Fehlertoleranz in Natur, Technik und Gesellschaft“* (d.h., die Phänomene, deren Wirkungen, Erfassung/Bestimmung, realistische Kennzeichnung und effektive Beherrschung).

Ausführungen zu diesem inter- und multidisziplinären Problemfeld verdanken wir *Gerhard Banse, Wolfgang Coy, Hans-Otto Dill, Werner Ebeling, Rainer Feistel, Olaf Hellmuth, Herbert Hörz, Werner Krause, Lothar Kolditz, Klaus Fuchs-Kittowski, Frieder Nake, Karl-Friedrich Wessel* und mehreren anderen Mitgliedern unserer Sozietät. Zumeist sind sie in den Organen der Leibniz-Sozietät publiziert.

Besonders herzlich danke ich den Referenten der Plenarveranstaltung *Werner Ebeling, Reiner Feistel, Klaus Fuchs-Kittowski* und *Karl-Friedrich Wessel*, die auf der Basis ihrer langjährigen, überaus reichen themenrelevanten Erfahrungen und aus verschiedenen Perspektiven das Entscheidende zum Gelingen des Kolloquiums beigetragen haben. Ich fühle mich geehrt, weil sich dermaßen ausgewiesene und fachlich hoch geschätzte Kollegen mit ihren spezifischen Erfahrungen dieses Anliegens angenommen haben. Ihnen verdanke ich über Jahrzehnte – bis in die Gegenwart reichend – wertvolle Anregungen, die mir maßgebend halfen, fachliche Erkenntnisse zu vertiefen, die Methodik ihrer Erkundung und Interpretation auf dem sich rasch entfaltenden und grundlegend wandelnden inter- und transdisziplinären Forschungsfeld fortschreitend zu erschließen und die Methodologie umfassender auszubilden. Diese unmittelbar beteiligten Mitglieder unserer Sozietät herauszustellen soll nicht den Tatbestand negieren, dass der Kreis derer, denen diese persönliche Achtung gebührt, weitaus größer ist. All den mit Bedacht namentlich nicht Genannten sei ebenso herzlich gedankt. Ich möchte keine Stunde der Diskussion und Disputation mit den Physikern, Philosophen, Philologen, Informatikern, Ingenieuren, Mathematikern, Medizinerinnen sowie den Sachwaltern und Enthusiasten zahlreicher anderer Wissenschaftsgebiete missen, die in unserer Sozietät kreativ wirken und die Societas schätzen.

In der theoretischen Ebene der Ausführungen und Darstellungen überwiegen Annotationen zum physikalischen Fundament des Themas mit Bezugnahmen auf die *Evolution der Basis-Begriffe Entropie(n) sowie Information*, ihre Explikationen in homogenen und heterogenen Dimensionen sowie den *Artverwandten* und *Wahlverwandten*. Besonders nachdrücklich zeigen sich die Explikationen und die Diversifikation daran, wie sich mit dem fortschreitenden Entwicklungsniveau der Thermodynamik aus der *Theorie der Zustände* eine *Theorie der Prozesse* organisiert und wie sich Ordnungen (genauer: lokale und temporäre *organisierte Strukturen* samt deren [Komponenten- und System-]Funktionalitäten) unter den obwaltenden Bedingungen aus dem Chaos generieren. Während das herkömmliche Chaos zur Natur gehört, *sind Ordnungen<sup>2</sup> buchstäblich Errungenschaften*. Die statischen Begriffe *Ordnung/Struktur<sup>2</sup>* werden auf dem „reiferen“ ontisch-ontologischen und kognitiv-diskursiven Niveau von den *dynamischen Prozessbegriffen* des *Ordnen* (ordering)/*Strukturierens* (structuring) aufgehoben. Als Prozess bedeutet Ordnen (Strukturieren, Musterentstehung und Mustererkennung sowie deren qualitative und quantitative Behandlung) stets Speziierung des funktionell-strukturellen Bauplans (einfacherer bis hoch-komplexer Systeme) bei dynamischer Adaption an das innere und äußere Bedingungsgefüge. Dergleichen komplexe plurale, sich überlagernde und/oder selbst verkettende, Verlaufsbahnen (Trajektorien) aufbauende, unvollständige, asymmetrische, heterogene Prozesse sind im Wesen *zirkulierende Translationen* und *Transformationen*. Von energetischen Veränderungen bewirkte *Phasenübergänge* zeigen sich im Attraktorwechsel. Mit Attraktor wird der „attraktive“ dynamische Systemzustand, mit dem Charakter eines über die Zeit relativ stabilen Verhaltensmusters beschrieben. Zum skizzierten quasi unendlichen Konvolut und seinen Projektionsflächen gehören das Physikalische, Chemische, Biotische, Mathematische, Technisch-Technologische, Linguistische, Kulturelle, Soziale (im direkten und

---

2 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 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. Dem komplexen Charakter der *quantenmechanischen Bewegung* im System wird Instabilität attestiert, die aus dem vorausgesetzten immanenten chaotischen Verhalten resultiert und es obendrein dokumentiert.

im generalisierten Sinn, der sich aus dem Lateinischen *socius* gemeinsam, verbündet etc. herleitet). Das „Übersetzen“ in seiner sprachwissenschaftlichen Bedeutung kann als Muster für das elementare Verständnis der weitaus grundsätzlicheren *zirkulierenden Translationen* und *Transformationen* herangezogen werden. Ein *bestimmender Wesenszug* des fundamentalen Prozedere (des Vorwärtsgehens) bei der spontanen Herausbildung fehlerfreudlicher *replikativer Systeme* ist die *Zyklizität*.

In solchen dynamischen Systemen bleiben die lokalen ursächlichen (Ein-)Wirkungen nicht auf einen Ort beschränkt, sondern pflanzen sich, wegen der voneinander abhängenden (intragierenden) und miteinander kooperierenden Systemelemente, einerseits als Ursachen im System fort. Andererseits bringen sie Wirkungen hervor, die rückkoppelnd abermals als Ursachen fungieren. In das außerordentlich komplexe Geschehen mit Rückkopplungen ist ein importierender energetischer und stofflicher Metabolismus samt Informationswechsel – mit geringen Wahrscheinlichkeiten für nützliche kleine Fehler – integriert. Erst sie ermöglichen die Evolution systemtypischer „Baupläne“ für Sequenzen der Informationsträger, indem sie – infolge der Kopierfehler – Mutanten gerieren. So postuliert der Eigensche Hyperzyklus (zur modellhaften klassischen Interpretation der spontanen Entstehung replikativer Systeme beim Übergang von der chemischen Evolution zur biotischen Evolution) eine zyklische Folge sich selbst reproduzierender Einzelzyklen. Die voneinander abhängenden und kooperierenden präbiotischen Nucleinsäuren ( $\rightarrow$ RNA) und Proteine reagieren, wobei *katalytische* RNA-Moleküle und Proteine bevorzugt gebildet werden, weil sie sich bei der Kooperation schneller vermehren. Diese im Wettbewerb um Ressourcen und damit bei der Replikation unter Umständen Vorteile genießenden Mutanten bilden ein erweitertes genetisches Reservoir für die Selektion. Die hypothetische präbiotische Chemie der „Ursuppe“<sup>3</sup> wird seit geraumer Zeit kritisch bewertet.

*Ebelings* Ausführungen im Plenum dokumentieren seine und *Feistels* evolutionäre wissenschaftliche Auffassung von der *Informationsverarbeitung*: der *in der Biogenese entstandenen Informationsgenese über Symbolisierung*.

---

3 Der experimentelle Ansatz in *Stanley Millers Ursuppen-Simulationsexperiment* sei vom erwarteten bzw. ersehnten Resultat, den biotisch bedeutsamen Syntheseprodukten ausgehend konzipiert. So wird beispielsweise Kohlenstoff (C) in reduzierter Form als Methan (CH<sub>4</sub>) vorgegeben. Würde er hingegen in Kombination mit Sauerstoff (O), als oxidierte Verbindung in Form von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), eingesetzt, stünde der Kohlenstoff nicht für den Aufbau komplexer Moleküle zur Verfügung. Zudem sei eine experimentelle Entsprechung zu einer hypothetischen frühen Erde, d.h. Abwesenheit spezieller Randbedingungen, nicht gegeben (*genesisnet*).

„Der allererste Ritualisierungs<sup>4</sup>-Übergang war die Entstehung des symbolischen genetischen Codes aus einem zufälligen katalytischen Netzwerk. Das ist der Ursprung des Lebens.“

*Ebeling* verdeutlicht, wie sich in der Evolution die emergente symbolische Information allmählich von der originalen strukturellen Information separiert. Analog bezieht sich der Verfasser [LGF] im Konzept mit der formal dimensionlosen Entropie  $S^{\#} = I_{\text{pot.}}/I_{\text{akt.}}$  auf die Information.

Zentrale gestalterische Konzepte sind bei *Ebeling* und *Feistel* neben der Theorie der Selbstorganisation die nahezu ubiquitären Flüsse von Entropie und Information.

Der innere Zustand eines unbelebten oder lebenden Organismus mit seinen inhärenten, ergänzungs-, verbesserungs- und entwicklungsbedürftigen, aber auch entwicklungsfähigen, Subsystemen formiert und organisiert sich – nach allem, was bekannt ist – über den *Informationswechsel*. Als externe Transferprozesse gehören zu ihm: die Aufnahme und Abgabe von Information sowie deren interne Kopplung/Verarbeitung/Transformation und Akkumulation. Der die Selbstorganisation verursachende Informationswechsel konditioniert die ökologische Fitness des Systems und seiner Konstituenten, beeinflusst seine Wesensmerkmale, determiniert das interne und externe Systemverhalten, steuert und regelt insbesondere Aktionen und Reaktionen. Der Informationswechsel und die selbstorganisierende stochastische Umformung sind von zufälligen und regulären sowie notwendigen und hinreichenden Bedingungen abhängig. Sie gehorchen allgemeinen und speziellen Gesetzen. Der dem 2. Hauptsatz der Physik unterliegende Prozess erfasst als Wahrscheinlichkeitsgesetz die dabei wirkende Dialektik von Zufall und Notwendigkeit sowie die dialektische Einheit entropischer und ektropischer Elementarprozesse – mit der naturgesetzlich notwendigerweise überwiegen den Entropieproduktion.

In *thermodynamisch offenen Systemen* ( $dQ \neq 0$ ;  $d_e N_k \neq 0$ ;  $dW_j \neq 0$ ) wird nach *Ilya Prigogine*, weitab vom Gleichgewicht und jenseits kritischer System-Parameter, *Strukturbildung* möglich. Fundamentale Bedingungen dafür sind der *Entropie-Export*:  $d_e S/dt < 0$  mit  $d_e S/dt = 1/T \cdot (dQ_{\text{rev.}}/dt) + \sum s_k \cdot (d_e N_k/dt)$  [ $N_k = m_k/M_k$  repräsentiert die Teilchenmenge der Spezies  $k$  mit externen und internen Änderungsursachen:  $dN_k/dt = d_e N_k/dt + d_i N_k/dt$ ] und die so kompen-

---

4 Unter *Ritualisierung* wird ein *Wandel von Verhaltensfunktionen* in der stammesgeschichtlichen Entwicklung unterschiedlicher Arten verstanden. Neue Muster entstehen aus einer lebensnotwendigen Aktivität und können sich beispielsweise zu Schemata mit einer Kommunikationsfunktion formieren.

sierte *Entropieproduktion*  $\dot{d}_i S/dt = \sigma_{\text{prod.}} \geq 0$  mit  $\dot{d}_i S/dt = (1/T) \cdot dW_{\text{diss.}}/dt - \Sigma(\mu_k/T) \dot{d}_i N_k/dt$  [ $s_k$  repräsentiert die partielle molare Entropie und  $\mu_k$  das molare chemische Potenzial, die partielle molare freie Enthalpie  $g_k = h_k - T \cdot s_k$ ].

Im Sonderfall der Reversibilität – jener theoretischen Fiktion, die eine „Unzeitlichkeit“ der Veränderung impliziert – wird  $\dot{d}_i S/dt = 0$ . Die *Entropieproduktion* ist das entscheidende Maß für die Effektivität strukturbildender Prozesse sowie für die zur Selbstorganisation oder Fremdorganisation erforderlichen Entropieexporte. Gesetzmäßig sind mit jedem *Informationswechsel* *Entropieströme* in der vorn erörterten Realisation mittels  $k$  *Stoffkomponentenströmen*  $\mathbf{J}_k$  bzw. *konduktiven* und *konvektiven Wärmeströmen*  $\mathbf{J}_h$  oder der *Energiestrahlung* ( $\approx \mathbf{J}_h \sim T^4$ ) vereinigt. In der vom Verfasser erprobten entropisch-informationellen Variante mit  $S^\# = \mathbf{I}_{\text{pot.}}/\mathbf{I}_{\text{akt.}}$  resultiert für die *Entropieproduktion*:

$$\sigma_{\text{prod.}} = \mathbf{I}_{\text{akt.}} + \mathbf{I}_{\text{pot.}} = f_\lambda(S^\#) - f_\lambda(S^\#) \cdot \ln(f_\lambda(S^\#)) = \exp(-\lambda \cdot S^\#) + S^\# \cdot \exp(-\lambda \cdot S^\#).$$

Die modell-immanenten Relationen für die *Informationsentropie* lauten:

$$\sigma_{\text{Inf.}} = \mathbf{I}_{\text{pot.}} = -f_\lambda(S^\#) \cdot \ln(f_\lambda(S^\#)) = S^\# \cdot \exp(-\lambda \cdot S^\#).$$

Die drei modelltypischen Gleichungen sind Korrelate von  $S^\#$  (respektive  $f_\lambda$ ) sowie  $\mathbf{I}_{\text{pot.}}$  und  $\mathbf{I}_{\text{akt.}}$ . Im Folgenden werden diese grundlegenden Beziehungen wegen der Geschlossenheit und Lesbarkeit der Textpassagen gelegentlich reproduziert, vor allem aber sukzessive detaillierter interpretiert.

*Instabilität* und *Irreversibilität* bilden die Voraussetzungen für Neues. Neue Strukturen und Eigenschaften in natürlichen (und anderen) Systemen werden nur von jenen Veränderungen hervorgebracht, die auf keine Weise rückgängig zu machen sind. Diese Irreversibilität gehört zu den zentralen Eigenschaften der Natur, alles Natürlichen. Jedes makroskopische System ist ein *zeitliches* sowie *strukturell-funktionelles Unikat*; und es existiert nur infolge der irreversiblen Umgestaltungen. Geradeso ist die Natur ein irreversibles, sich kontinuierlich selbst organisierendes System; in ihr gebiert die Kette der Selbstorganisationsprozesse die phasenreiche systemische Evolution. Die *selbstorganisierenden Eigenleistungen* der sich aufbauenden Systeme entstehen aus internen Wechselwirkungen zwischen Systemkomponenten. Im veränderlichen Universum und all seinen Teilen bzw. in den hypothetischen Multiversa herrschen weder ein absolutes Chaos noch eine absolute Ordnung, sondern relative Ordnung und relative Harmonie, die Prinzipien der widersprüchlichen und zugleich kooperativen Vielfalt, der Komplexität und Multistabilität im progressiven Wandel. Zwar durchschauen wir verifizierte oder intersubjektiv anerkannte Regeln und Gesetzmäßigkeiten

in ihren Grundzügen hinlänglich, deren Wechselspiel mit sich immerfort verändernden Rand- und Anfangsbedingungen erfordern freilich qualitativ neue Perspektiven sowie holistische Betrachtungs- und Denkweisen. In diesem Sinn entwickelte die Physik (die „Natürliche“) eine ihre Methodik ergänzende systemisch-organische, schwach kausale, nur noch partiell deterministische Sicht auf die Natur sowie ihre Beziehung zum und Aktivitäten mit dem Menschen. Bisher haben allerdings weder die Gesellschaft mit den belastenden wirtschaftlichen und sozialen Verwerfungen der Globalisierung, noch die Wirtschaft oder die Politik dieses Paradigma angemessen verinnerlicht, geschweige denn adaptiert „ins Werk gesetzt“.

Wessel stellt seine kritisch-konstruktiven (zudem beispielreichen) Überlegungen unter das Leitmotiv *Der ganze, unvollkommene Mensch (und seine Technik)*. Im Klappentext und der Einleitung des Buches „Terror Sapiens I: Von der Einfalt zur Vielfalt“ konstatiert der (Ausländer sprachlich bildende) Germanist *Wilhelm Krahe*: Das derzeit zentrale Problem der Menschheit, das für die allermeisten Probleme an jeweils entscheidender Stelle verantwortlich sei, ist die

„zumeist sehr einseitige Sicht- und Denkweise der Menschen.[...] Ein intelligenter Umgang mit der Kompliziertheit und der Komplexität, mit der Unvollkommenheit, mit Unterschieden, Gegensätzen sowie mit individuellen Sicht- und Verhaltensweisen wird konsequent be- und verhindert. Die hieraus resultierenden – teilweise sogar verheerenden – Folgen lassen sich in zahlreichen biotischen und kulturellen Systemen und in allen Lebensbereichen beobachten. Die Erkenntnis, dass die Wirklichkeit Vielfalt sowie fortwährenden Wandel bedeutet und dass der Mensch dringend den fruchtbaren Umgang mit dieser global integrierten, holistischen Intelligenz erlernen muss, wenn er seine Probleme lösen möchte, gehört leider nicht zu den dominanten Denkweisen und Maximen von Mehrheiten.“

*Krahe* erhofft die Evolution des (*ganzen, unvollkommenen*) *Homo sapiens* zum *Homo multivividus*, dem *Vielsichtigen*, und erklärt:

„Der *Homo multivividus* ist ein Mensch, der die Einseitigkeit nachhaltig überwinden und verstehen lernt, die Harmonie mit sich selbst und seiner Natur, mit seinen Mitmenschen und der Welt zu leben.“ (Krahe 2017, Kap. 22)

Dazu bedarf es wirkmächtiger Werk- und Denkzeuge, sach- und fachgerechter Untersuchungen und Bewertungen sowie des mehrfach eingeforderten Willens und der profilierten Fähigkeit zum darauf ausgelegten intelligenten Denken und Handeln.



## 2 Kompliziertheit und Komplexität als entropisch-informationelle Herausforderungen

Vom *Komplexen* bis zum *Komplizierten* skalierbare Fakten, Situationen, Zustände, der Prozesscharakter, die Prozessrichtung, die Geschwindigkeit, die Intensität und die Wirkmächtigkeit der räumlichen und zeitlichen Veränderungen lassen sich prinzipiell mit *entropischen und informationellen Modellen* beschreiben, beurteilen und (wie letztendlich angestrebt) vergleichbar mathematisch quantifizieren.

*Entropien und die Information* sind *originär* zwei hoch-potente, zustands- und prozessbeschreibende Grundgrößen der Physik und *verallgemeinern* zwei *fundamentale „Perspektiven“*, unter denen sich unterschiedliche materielle und immaterielle Entitäten zielverwandt (goalrelated) erfassen lassen. Zunehmend wird das – stets zielgerichtete – menschliche Denken und Handeln unmittelbar aufgenommen. Beide werden als Konzepte deklariert, die inzwischen genauso in verschiedenen Teildisziplinen der Kognitionswissenschaften, Neurowissenschaften und anderen anthropologischen Wissenschaften sowie den Kognitionstechnologien nutzbar sind, wie in den Naturwissenschaften und Technikwissenschaften. Sie umfassen Wissensinhalte, Objekte und/oder Ereignisse, dienen der alltäglichen Wahrnehmung: der Kategorisierung sowie dem kategorialen Denken, und stellen somit wertvolle Grundlage der menschlichen Kulturentwicklung bereit.

Entropien und die Information reflektieren *Zusammenhangs- und Transformationsverhältnisse in der Natur, der Technik/Technologie* und der *Gesellschaft* mit ihren kooperativen, komplementären und emergenten Beziehungsstrukturen, den Verschränkungen und Beschränkungen für die lebenstragenden und die unbelebten komplexen Systeme. Sie beweisen ihre beachtliche theoretische und praktische Leistungsfähigkeit für den Aufbau, die Stabilisierung, die unter Umständen bedingte Steuerung und Regelung sowie den Erhalt und die Veränderung von deterministischen und stochastischen Strukturen sowie jene diese Effekte auslösenden und bestimmenden Prozesse. Das impliziert den Willen und die Notwendigkeit der bestmöglichen Vorausschau sowie der optimalen Gestaltung und Vorsorge. Mit der objektiv wachsenden Komplexität unserer widersprüchlichen und eng vernetzten Welt sowie ihrer zahlreichen (hierarchisch geordneten) Subsysteme treten immer häufiger Grenzsituationen und praktische Überforderungen des menschlichen Intellektes auf.

Als Kompensationsstrategie wird eine Schlüsseltechnologie, die „künstliche Intelligenz“ (KI), zunehmend in die Kalküle und Verfahren aller Art

implementiert, um im Big-Data-Management mit seinen sehr komplexen, auffallend dynamischen, nahezu unermesslich großen Mengen, allerdings nur schwach strukturierter Daten verwendbare Zusammenhänge, insbesondere *verborgene Muster und Informationen*, zu erkennen, zu registrieren und umfassend zu nutzen. KI verbreitet sich darum schnell in allen Branchen. Die besonderen kognitiven Fähigkeiten des Menschen, verbunden mit den Stärken der Computer und hochpotenter Informationssysteme, ermöglichen das bestmögliche KI-gestützte Bewerten und Entscheiden. „Computer können theoretisch menschliche Intelligenz emulieren [nachahmen] und sie übertreffen“, äußerte der britische Physiker *Stephen Hawking* in seiner Grußbotschaft zur Eröffnung der Web Summit, einer der herausragendsten Technologiekonferenzen der Welt, 2017 in Lissabon. Er warnte aber zugleich vor der unvorsichtigen KI-Entwicklung und einem nicht nachvollziehbaren (unkontrollierten) KI-Gebrauch:

„Sie bringt Gefahren mit sich, wie mächtige autonome Waffen oder neue Wege für die wenigen, die vielen zu unterdrücken. Sie könnte unsere Wirtschaft stark zerstören.“ (Hawking 2017)

Wesensgemäß wachsen mit der Kompliziertheit der ganzheitlichen Anordnungen und Relationen (respektive Operationen) sowie der verflochteneren Gestaltungs- und Funktionsweisen die Probleme, Konflikte, Risiken, Gefahren – bis zu Krisen und Katastrophe. Diese Sachlage ist für die Technik und Technologien sowie die historisch bedingte sozio-kulturelle Struktur und soziale Organisationsform der Gesellschaft (Gesellschaftsformation) besonders bedeutsam. Im Plenarvortrag von *Ebeling* und *Feistel* wird darauf verwiesen, dass die Technik prinzipiell die biologische Informationsverarbeitung kopiert hat, und ausdrücklich betont, dass Entropieströme, Informationsflüsse sowie die Beiträge der Theorie der Selbstorganisation als zentrale Konzepte fungieren. Das verpflichtet zum Vergleich und empfiehlt die Adaptation.

Den *Entropien* und der *Information* ist ein *Doppelcharakter* wesenseigen. Sie sind „modus-operandi-Systeme“ sowie „opus-operantis“. Das heißt, einerseits *reflektieren* sie phänomenologisch (und/oder statistisch) direkt die *Geschehnisse: die Prozesse, deren Charakter und Richtung*, die auf theoretischen Annahmen beruhende Art und Weise der Realisierung von Bewegungen/Veränderungen – bis zur ursächlich in verschiedene Etappen/Phasen gegliederten Evolution. Als eine maßgebende Art der „Selbstverbesserung“ basiert sie auf der Selbstorganisation und steht unter der Regentschaft des unberechenbaren Zufalls. Andererseits erfassen und bewerten Entropien und

die Information das „getane Werk“: *Auswirkungen, Folgen* etc. 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.

Ebeling charakterisiert die – ursprünglich *thermodynamische* Wirk- und Richtgröße – *Entropie* mit einer aufschlussreichen Allegorie: „*Entropy is like head of Janus!*“ und ordnet dem mehrdeutigen *Evaluationsparameter* drei *Grundfunktionen* zu: *value of energy, amount of information, measure of disorder and complexity*. Zur Begriffserweiterung konstatiert er: „Wir verfügen seither (zeitlich auf *Willard Gibbs* – ca. 1875 – bezogen; Erläuterung v. Vf. – LGF) mit dem Entropie-Begriff über ein adäquates Maß für Chaos und Ordnung.“ Im Zuge der modernen Entwicklungen der *Theorie der Selbstorganisation*<sup>5</sup> und der *Chaosforschung* sowie der *Informationstheorie* hat der Entropie-Begriff neue Dimensionen gewonnen, die auch das Problem der Vorhersage betreffen (vgl. Ebeling et al. 1990; Ebeling/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 (vgl. Ebeling/Feistel 1984, 1994). Jeder der möglichen *Beschreibungsebenen* entspricht ein eigener charakteristischer Zustandsbegriff. Daraus leiten sich auch verschiedene Entropiebegriffe ab, die zur Evaluation dienen.

Entropiemodelle tragen – im Sinne von *Ropohls transdisziplinärem Paradigma* (vgl. Ropohl 2005) – in besonderem Maße zum pragmatisch-synthetischen Erfassen von Verstehens- und Gestaltungszusammenhängen bei. Sie gehören zu den „mehrdimensionalen multiperspektivischen Verflechtungsmodellen“. Auch aus diesem Grund stehen ihnen ohne Einschränkung die Attribute der Anschaulichkeit, der Konstruktivität und der Effektivität zu.

---

5 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 (vgl. <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“ (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.

Das universell ordnende Dirigat des Entropieprinzips führt zu naturgesetzlichen Zwängen, gibt damit aber auch Orientierungs-, Koordinierungs- und Gestaltungshilfe für die gelenkten und operierenden Multi-Komponenten-Ensembles (von elementaren Vielteilchensystemen bis zur Vielfalt der Populationen).

Den räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Strukturen und damit den Verteilungen von *Systemelementen* (bzw. Systemparametern), die von der ausnahmslos/unbeschränkt zufälligen abweichen, lässt sich – wie *jeglicher statistischen Verteilung* – eine *Entropie* zuordnen.

Die verallgemeinernde und deshalb breit nutzbare statistische Betrachtungsweise offeriert wegweisende *Entropie-Perspektiven und Maße*. Als fundamentale Gleichung der statistischen Mechanik fungiert die *Boltzmann-Planck-Entropie*  $S_{BP} = -k_B \cdot \sum p_i \ln p_i$  [*Interpretation*: Für die Konstante  $k_B$  gilt:  $k_B = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot (\text{K} \cdot \text{Teilchen})^{-1} = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ Ct} \cdot (\text{Teilchen})^{-1} = (\mathbf{R}) = 8.3144 \text{ J} \cdot (\text{K} \cdot \text{Mol})^{-1} = 8.3144 \text{ Ct} \cdot \text{Mol}^{-1}$ , mit  $\text{Ct} = \text{J/K} - \text{Carnot}$ ].

In der *Physik* hat die *universelle Zustandsgröße Entropie* den Charakter einer extensiven Variablen. Dementsprechend bezieht sie sich auf die *Extension des Materiellen*, auf die *Makrozustände*, insbesondere auf jene, die alle möglichen exzitierbaren Quantenzustände einschließen, auf die die Gesamtenergie des Systems verteilt werden kann. In dieser Beziehung ist die Entropie energiekonjugiert  $[T \cdot S] = J(\text{oule})$ .

In der *Kommunikationstheorie* steht die (informationelle) Entropie, die *Shannonsche Entropie*  $H$  ( $\sim I_{\text{pot.}}$ ), für alle möglichen Symboldarstellungen, die unentbehrlich (zwingend geboten) sind, um während eines Signal-Übertragungsprozesses den Inhalt der Nachricht zu erhalten.

Die sich auf Signale beziehenden Daten(mengen) konstituieren die emergente symbolische Information. In *Shannons Modellvorstellung* generieren diskrete Nachrichtenquellen die Nachricht mittels der wiederholten Auswahl von Zeichen aus einer gegebenen Zeichenmenge, repräsentiert von der Anzahl binärer (Zwei-Wege-)Entscheidungen, die durchschnittlich benötigt werden, um eine Struktur zu erfassen oder eine Nachricht korrekt zu übertragen. Die Transformations-Entropie gestattet es, Quellen und Senken zu vergleichen, was für den Erhalt der Information definierter Sequenzen notwendig ist. Den Informationsgehalt und die digitalen Datenmengen erfasst das Bit<sup>6</sup>, eine Zählgröße, die metrologisch schlüssig mit der Zählinheit [Stck.] zu verwenden ist.

---

6 Der Begriff *Bit* (*binary digit*) wird in der Informatik, der Informationstechnik, der Nachrichtentechnik sowie verwandten Fachgebieten in folgenden Bedeutungen verwendet: als

Im Prinzip stellt jede *Folge von Symbolen* (so auch in der mündlichen<sup>7</sup> oder schriftlichen Sprachinformation, wie in Wörtern, Sätzen und Texten wissenschaftlicher, literarischer, ... Werke oder in Gebrauchsanweisungen) einen *Mikrozustand* dar, während der sich über „*texere*“ *formierende Makrozustand* phänomenologisch als inhaltlich zusammenhängende Aussage, als regelgerechte komplexe – verkettete, verflochtene, verwobene – Gesamtheit (Zusammengefügtes, Verfasstes, Verfertigtes) erscheint. Bei ausreichend langen Sequenzen ergeben alle Verkettungen für die Entropie eine Beschaffenheit, die für jedwede mögliche Verteilung gilt.

Trotz der charakterisierten Vielfalt gibt es nur *einen Typ entropischer Gesetzmäßigkeit*, aber deutlich verschiedene Wirkungsbedingungen, die deren Erscheinungsformen in Natur, Technik und Gesellschaft differenzieren. Dazu gehören 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 nichtlinear) verlaufen, die Stabilität/Multistabilität sowie Fluktuationen ohne und mit 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, technisch-technologischen, ökonomischen und ökologischen Systeme unverzichtbare – Einflüsse zu nennen. Daraus resultiert, dass der *Entropiebegriff* – wie alle Begriffe, die sich nach der *philosophischen Begriffstheorie* den „*Theorie-Theorien*“ zuordnen lassen – mittels der funktionalen Bestimmung individuiert wird, die sie innerhalb bestimmter Theoriensysteme übernimmt. Eine andere klassifizierende Erklärung innerhalb der Begriffstheorie böte die „*Protypentheorie*“, in der einige typische Eigenschaften, paradigmatische Fälle oder allgemeinverständliche Beispiele die Begriffe determinieren. In ihr haben die Kategorien eine abgestufte Struktur, weshalb nicht alle Konstituenten einer Gattung denselben Status aufweisen.

---

*Maßeinheit* für den *Informationsgehalt* (siehe auch Shannon, Nit, Ban), als *Maßeinheit* für die *Datenmenge* digital repräsentierter (gespeicherter, übertragener) Daten. Dabei ist 1bit der Informationsgehalt, der *in einer Auswahl aus zwei gleich wahrscheinlichen Möglichkeiten enthalten ist*. Der Informationsgehalt kann ein beliebiger reeller, nicht negativer Wert sein (vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bit>).

7 In der *Linguistik*: mündliche oder schriftliche Folge von Sätzen, die miteinander syntaktisch und semantisch verbunden sind (Kohärenz), eine bestimmte kommunikative Funktion (Textfunktion) erfüllen und klare Textgrenzen aufweisen (vgl. <https://www.wortbedeutung.info/Text/>).

### 3 Eine effektive Struktur des evolvierenden Entropiekonzepts

Das *evolvierende Entropiekonzept* ist in all seinen Elementen und Funktionen höchst wahrscheinlich *rhizomorph*: als Prozessindikator sowie als Wertigkeit und Mengenmaß der Energie, der Information und komplexer Strukturen, insbesondere der Unvollkommenheit, der Unordnung – dem Desorganisationsgrad der Struktur. *Strukturen* sind alle Abweichungen von der *Homogenität*, von der räumlichen und zeitlichen Gleichverteilung, vom Gleichgewicht. Mit einem bevorzugten anthropomorphen Begriff werden sie auch als *Ordnungen* bezeichnet.

„Ordnung ist eine Konstellation von Zeichen. Es gibt (aber) keine Ordnung schlechthin, sondern nur eine Vielfalt nebeneinander bestehender Zweckkonstellationen, die alle auf letztlich unbeweisbare und unwiderlegbare Prinzipien gründen, die ihre eigenen Deutungen erfordern.“ (Pross 1981, S. 34)

*Chaos* benennt eine außerordentlich imperfekte Ordnung – unvollkommen und in statu nascendi, nicht durchschaut, unverstanden ( $\approx$  kompliziert).

Das *ideelle Rhizom Entropiekonzept* ist ein heterogenes, dennoch verzweigtes, verästeltes, in sich interagierendes, potentes System zur Weltbeschreibung und Wissensorganisation. In *heterogenen Systemen* können sich bekanntermaßen Eigenschaften von Element zu Element stark unterscheiden, an Grenzflächen sogar sprunghaft ändern. Im *Rhizomorph* (Original und Modell/Metapher) durchdringen sich Einheit und Vielheit und *tolerieren*, mehr noch: *protegierten*, das *Chaos*.<sup>8</sup> Jede Mannigfaltigkeit, die keine

---

8 *Chaos* (von altgriechisch  $\chi\acute{\alpha}\omicron\varsigma$  - cháos) ist ein Zustand vollständiger Unordnung oder Verwirrung (Wirrwar) und damit der Gegenbegriff zu Kosmos, dem griechischen Begriff für die (Welt-)Ordnung oder das Universum (vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Chaos>). *Umgangssprachlich* kaum präzisierter Begriff: gänzlichliches 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“ (Die Schrift [Buber-Rosenzweig, I. Mose, 2007, S. 12]). In den *Naturwissenschaften* des 20. Jh.s 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 (in der allgemeinsten Bedeutung: der *Veränderung überhaupt*), 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 für die Wissenschaft inzwischen ein Stellenwert zuerkannt, der mit dem der Relativitäts- und Quantentheorie vergleichbar ist.

Einheit zeigt, wird als chaotisch empfunden. Im Rhizom existiert das eine weder vor oder über dem anderen, noch hebt das eine das andere auf (vgl. Deleuze/Guattari 1977, S. 14, 16). „Es gibt keines ohne das andere“, es erlaubt keine Zentralperspektive und es befiehlt kein General. Rhizome können an beliebigen Stellen abgebaut, verletzt oder sogar gebrochen werden. Sie wuchern trotzdem längs einer eigenen oder anderen Linien weiter (Prinzip des nicht-signifikanten Bruchs). Jeder Punkt eines Rhizoms kann und muss aber mit jedem anderen verbunden werden (Prinzip der Konnexion). Statt der klassischen Struktureinheiten fungieren Plateaus. Sie definieren sich als Vielheiten (vgl. Deleuze/Guattari 1977, S. 35), die mit anderen – nahe der Oberfläche verlaufenden, in Segmenten durchaus verdickten, „unterirdischen Sprossachsen“ – derart verbindbar werden, dass sich ein reales oder ideelles Rhizom formiert und evolviert. Diese *Plateaus* sind über sich verändernde (d.h. vor allem verknüpfende) abstrakte Linien, die Flucht- oder Deterritorialisierungslinien, nach verschiedensten Codierungsarten (Heterogenität) miteinander *verkettete Elemente*: gegenständliche und/oder semiotische Kettenglieder. Jedes Plateau eines Rhizoms lässt sich nach Belieben mit anderen in Beziehung setzen. In kleinen Teilen einer *traditionellen Baumhierarchie* kann ein mikroskopisches Element ein *Rhizom* hervorbringen, „ein mikroskopisches Ereignis stürzt das Gleichgewicht der lokalen Mächte um“ (Deleuze/Guattari 1977, S. 27). Im „System der Bäume gibt es *anarchische Deformationen*“ (Deleuze/Guattari 1977, S. 35), während *in Rhizomen Baumknoten* vorkommen können.

*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 sowie lediglich partiellen (insbesondere zeitweisen) Heterarchien.

In den Fokus der Beobachtung und Interpretation der *kognitiv-diskursiven* (metaphorischen) *Rhizomatik* treten *art- und „wahlverwandte“ Zusammenhänge* in der differenzierbaren Mannigfaltigkeit, wie für die *universelle Größe Entropie*. Die *Rhizomazität* funktioniert, bedingungskonform und deshalb grundlegend vom Konventionellen abweichend, nach den zugleich und gleichberechtigt operierenden (wie vorn skizziert, zwar notwendigen, allerdings nicht hinreichenden) Prinzipien (Theoremen) der *Konnexion und der Heterogenität*. Daraus folgend kann jeder Punkt, jedes Element dieser unter Umständen chaotisch verketteten *ontisch-ontologischen Wirkgefüge* oder mehrdimensionalen *kognitiv-diskursiven Beschreibungsgeflecht* beliebig mit jedem anderen Punkt verbunden werden und dennoch unabhängig

bleiben. Die Konstellation im kognitiv-diskursiven Beschreibungsgefüge ähnelt einem semiotischen Dreieck. Auch die *rhizomorphe Kommunikation* (z.B. beim Informationswechsel) wird nach Gilles Deleuz und Felix Guattari nicht von einer klassischen Sender-Empfänger-Struktur getragen, sondern von einem System reziproken Austauschs zwischen allen gleichberechtigten Konstituenten bewirkt. Diese sind Sensoren und Aktoren in einem, d.h. sie generieren Rückkopplungen und unterliegen ihnen zugleich (siehe Zyklizität und Aktor-Sensor-Theorie). Grundsätzlich können Stimulus-Respons-Ketten und Netzwerke neben den Loops auch Bifurkationen integrieren.

#### 4 Spezifisches zur Information

Die *Information* bildet den *dritten* (kognitiv nachgeborenen und logisch bisher sehr unvollkommen entschlüsselten) *Aspekt der Materie*. Analog gehört der *Informationswechsel* als zentraler Bestandteil zum *organismischen Metabolismus*. Weitgehend wissenschaftlich akzeptiert wird die Auffassung, dass die *Information* eine systemische, mit *Wertbestimmungen* verbundene emergente Eigenschaft ist. Sie reflektiert strukturelle und funktionelle Sachverhalte und stellt eine förmlich gestaltende, funktionell steuernde und regelnde sowie Zielfunktionen klassifizierende Größe dar. Das fundamentalste (irreduzible) Merkmal der Information ist die Selbstorganisation. Die Selbstorganisation und der Zufall steuern die selbstverbessernde Evolution weit mehr als die Umweltselektion (frei nach Wesson/Williams 1995).

Nach ihrer *Zeitstruktur* sind die *aktuelle*, materiell gebundene (strukturelle) Information und die *potenzielle* Information zu unterscheiden. *Sachbezogen* umfasst das *dreigliedrige* (dreistufige) *Informationskonzept* (vgl. Fuchs-Kittowski 1997, S. 551) erstens die *syntaktische* Information (*syntaxis* ~ zusammen, Ordnung; *formare* ~ formen, gestalten), also eine Funktionen tragende Struktur<sup>9</sup>, zweitens die *semantische* Information (~ Bedeutung) und drittens die *pragmatische* Information (~ Wirkung = f(Dosis)).

Die *strukturelle Information*  $I_{akt.} = I_{geb.}$  (syntaktische Information, Information 1. Art) wird von jeder nicht-zufälligen räumlichen und/oder zeitlichen Struktur bzw. den Beziehungen dazu adäquater Größen (Äquivalenzklassen) bestimmt/bedingt. Repräsentiert wird die strukturelle Information überwiegend mittels räumlich und/oder zeitlich zu-, an-, eingeordneter Zei-

---

9 Struktur: räumliche und zeitliche Verteilung eines Systemparameters, die von der vollkommen zufälligen abweicht.



chen (vgl. Semiotik), wie *Codes* für Basenpaare<sup>10</sup>, DNA, RNA, das Chromosom<sup>11</sup>, Gonosom, Genom, sowie die Konfiguration, Konformation in Biopolymeren<sup>12</sup>, Buchstaben, Noten (und deren Folgen, die Systemen von Methoden, Regeln und Übereinkünften unterliegen, die die Zuordnung von Zeichen – desgleichen von Zeichenfolgen zumindest zweier verschiedener Zeichenvorräte – zulassen). Hervorgehoben sind die Binärcodes in Computern und die Schlüssel, mit deren Hilfe sich ein chiffrierter Text in Klartext übertragen lässt. In diesem Kontext steht die Information nicht einfach für den Sachverhalt, sondern für ein (zumeist bitmäßige) *codiertes Abbild der Realität* – zumindest eines Teils derselben. Für diese Form der Symbolisierung mit den Ziffern 0 und 1 gilt hinsichtlich der Bedeutung Analoges wie für die Verschriftlichung, den sozial gewichtigen Regulationsübergang vom Bild zum Alphabet.

Die emergente symbolische Information (d.h. die Daten, die sich auf Signale beziehen) entfernt sich in der Evolution graduell von der originalen strukturellen Information.

Im fundamentalen Verständnis ist die *aktuelle/gespeicherte Information* ein *Maß für die Konfiguration* in ihrer weitesten gedanklichen Auslegung (d.h. für die Form, Mode, Anordnung, Konstellation ~ Gestaltung); und sie bildet zugleich einen *Indikator der Organisiertheit*, die zumindest die *Strukturiertheit* und die *Bestimmtheit* als charakteristische Merkmale vereint.  $I_{\text{akt.}} = I_{\text{geb.}}$  fundiert und dimensioniert somit einen Organisationsgrad (~ Ordnung/Struktur) von Zuständen und Prozessen. Darunter für die Menge semiotischer Struktureinheiten sowie für die Menge und Qualität ihrer Relationen (Beziehungen, Verhältnisse). [Im *interpretierten Modell* des Vf. – LGF – korreliert der Organisationsgrad mit dem *normierten Strukturfaktor*:  $f_{\lambda}(S^{\#}) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot S^{\#}) = I_{\text{akt.}}$ , der als geometrisches Mittel der relativen Häufigkeit der Ausprägungen  $p_i$  den mittleren aktuellen Informationsge-

10 Als *Basenpaar* bezeichnet man im verknäuelten Doppelstrang einer DNA oder RNA zwei gegenüberliegende Nukleobasen, die zueinander komplementär sind und mittels der Wasserstoffbrückenbindungen interagieren.

11 Ein *Chromosom* ist ein langer, kontinuierlicher Strang (Faden) aus Desoxyribonukleinsäure (DNA), der als Doppelhelix um eine Vielzahl von Histonen (Kernproteinen) gewickelt und mehrfach zu einer kompakten Form spiralisiert gemeinsam mit anderen *Chromosomen* während der Kernteilung einer eukaryontischen Zelle sichtbar wird.

12 In der *Chemie der Molekülketten* (DNA, RNA, Polymere) dienen Knoten und Verkettungen als mathematische Modelle zur Beschreibung der Gestalt und der Anordnung im Raum. In der *Knotentheorie* als mathematischer Disziplin spielen neben der Art der Verknotung auch bestimmte Symmetrieeigenschaften eine bedeutende Rolle. Wenn ein Knoten zu seinem Spiegelbild äquivalent ist, heißt er *achiral* (oder auch *amphicheiral*, *not comparable*), andernfalls *chiral*.

halt)  $\prod(p_i^{p_i})$  im Wertebereich  $0 < f \leq 1$  abbildet.  $\lambda$  steht in der Wahrscheinlichkeitsdichte einer Exponentialverteilung generell für die Zahl der pro Einheitsintervall erwarteten Ereignisse. Die Ereignisrate  $\lambda^{-1}$  bemaßt den mittleren Ereignisabstand, die mittlere Reichweite  $\lambda = 1$  bewirkt keine inhaltliche Einschränkung.]

Die *aktuelle/gespeicherte* Information weist folgerichtig den Grad der *faktischen Vollkommenheit/Bestimmtheit/Gewissheit* aus und dokumentiert überdies den für einen Strukturaufbau unerlässlichen *energetischen und stofflichen Aufwand*, der sich (bis auf die Verluste) beim Strukturabbau wieder freisetzen lässt.

Die  $I_{\text{akt}}$  entstehen nur intern (im System) und können als *irreversible Aktualisierungen der Information* betrachtet werden. Sie sind daher Unterscheidungen der Vergangenheit. Dagegen können Unterscheidungen der Zukunft  $I_{\text{pot}}$  nur Subjekte treffen. *Aristoteles* wird die bemerkenswerte Erkenntnis zugeschrieben: „Man muss etwas vom Wesen der Bewegung verstehen, um einen Sinn für die Zukunft zu erlangen.“ Aus der aktuellen auf die potenzielle Information zu schließen, heißt *Erfahrung*.  $I_{\text{pot}}$  umfasst das empirisch *Wissbare*, eine Art des Nichtwissens, mit verursacht von der Menge an Zufall, die in dem System respektive Prozess steckt.

$I_{\text{pot}}$  kann messend ermittelt werden, ist dessen ungeachtet begrifflich allgemeingültiger als die Wahrscheinlichkeitsdichte. [Im *interpretierten Modell* des Vf. – LGF – entspricht die Informationsentropie<sup>13</sup>  $\sigma_{\text{Inf}} = -f_\lambda(S^\#) \ln(f_\lambda(S^\#)) = S^\# \exp(-\lambda \cdot S^\#) = I_{\text{pot}}$ , mathematisch der Wahrscheinlichkeitsdichte einer Gammaverteilung  $\Gamma(2,1)$ .]

Die *potenzielle Information* steht für die *faktische Unvollkommenheit-/Ungewissheit/Unbestimmtheit*. Aber: „Das *Potentielle* ist ebenso voll und ganz eine *Form des Realen* wie das *Aktuelle*“, und: „Die *Potentiale* [sic] eines Systems bilden seine Fähigkeit zu werden, ohne zu verfallen“ (Simondon 2012, S. 144). Eine, vielleicht sogar *die Schlüsselkompetenz* jedes *evolvierenden Systems* ist sein *internes Potenzial*, seine *Veränderungsfähigkeit/Veränderungskompetenz*, die „change ability“, die sich mit jeder Entropieerhöhung vermindert und erst im Zustand der Gleichverteilung praktisch gänzlich versiegt.

Die *semantische Information* (algorithmische Information, Information 2. Art) ist eine funktionelle Information. Sie ist kontextabhängig und existiert

---

13 Mathematisch sind in  $\sigma_{\text{Inf}} = I_{\text{pot}}$  zwei exponentielle Wahrscheinlichkeitsdichten mit gleichem  $\lambda$  über eine Faltung zu dem neuen Wahrscheinlichkeitsmaß  $\Gamma(2,1)$  kombiniert. Diese stochastische Operation der Faltung gestattet es, einer Summe dem Zufall unterliegender ursprünglicher Werte eine sinnvolle Wahrscheinlichkeit zuzuordnen.

tiert nur im Hinblick auf den Rezipienten, der bei der Deutung der  $I_{akt.} = I_{geb.}$  auf jene Referenzzustände zurückgreifen muss, die mit der funktionellen Information gegeben sind. Die *semantische Information* erfüllt zwei *Funktionen*: sie *interpretiert und aktiviert*  $I_{akt.} = I_{geb.}$ , und mit ihr wird der Übergang von der syntaktischen zur pragmatischen Information möglich. Die Tatsache, dass die Information verstanden werden muss, um zu wirken, wird mit dem Begriff pragmatische Information (*Carl-Friedrich von Weizsäcker*) als *Maß für die Wirkung* beim „gebriefften“ Empfänger erfasst.

Die resümierend für die *ambivalente und autologische 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, emergente, komplexe Struktur höherer Ordnung mit der Fähigkeit zur funktionalen Rückkopplung sowie einer inhärenten und/oder superponierten, (wenigsten intersubjektiven) semiotischen Semantik (Zeichenbedeutung) und handlungsaktivierenden Zeichenwirkungen (Pragmatik, Praxis). Diese *trialektische Information* besitzt folgerichtig drei eigentümliche, aber komplementäre und nur theoretisch, methodisch zu trennende *Glieder*: einen *syntaktischen* (~ *Struktur*), einen *semantischen* (~ *Bedeutung*) und einen *pragmatischen* (~ *Wirkung*) Aspekt (vgl. Fuchs-Kittowski 1997, S. 551). Im *Informationsfluss* ist die Verwobenheit/Verflechtung von *Unterscheidbarkeit* und *Zeitlichkeit* als Übergang von  $I_{pot.}$  in  $I_{akt.}$  repräsentiert.

## 5 Organisiertheit – Kompliziertheit und Komplexität

Strukturen sind nach den Prinzipien der Interdependenz und der Autonomie organisiert und gestatten so viele und quantitativ solchermaßen ausgeprägte Freiheitsgrade, wie es ihre sicher zu erfüllende Systemfunktion bzw. deren Wirkstruktur zulässt. Den Zustand eines dynamischen Gleichgewichts versuchen sie nach dem Prinzip von Le Chatelier-Braun (dem Prinzip des kleinsten Zwanges) gegen Störungen (äußere Einflüsse, wie z.B. Temperatur-/Druck-/Konzentrationsänderungen in chemischen Systemen – Reaktionen) so aufrechtzuerhalten, dass die Wirkung minimal wird (→ Gleichgewichtsverschiebung bei Reaktionen).

Der maßgebliche Unterschied zwischen dem fundamentalen *Organisationsmerkmal* „kompliziert“ (mit einem Wortfeld von 170 deutschen Synonymen in 17 Synonymgruppen und dem erklärenden Hauptakzent auf *schwierig, vielschichtig, verwickelt, umfassend, undurchsichtig*) sowie dem *subalternen* relationalen Prädikat „komplex“ besteht meines Erachtens in erster Linie in der *Qualität*: der *Art* und der *Intensität der Interdependenzen* der sich zunehmend (bis zur metamorphen Verfassung und demgemäß ausgewogener Kooperation) organisierenden und dabei spezialisierenden Elemente. Intuitiv beurteilt ist *kompliziert* „ein impliziter Komparativ zwischen dem, was man gerne hätte und dem, was man hat“.<sup>14</sup>

Die *Komplexität* zeigt sich grundsätzlich in der hohen Systemdynamik der ganzheitlichen Struktur, der Menge (Vielheit) relevanter Elemente/Faktoren/Variablen (Multiplizität), deren verschiedenartiger relationaler Abhängigkeiten respektive operationeller Wechselwirkungen (Interdependenzen), den dynamischen Intensitäten sowie der Zahl und der Vernetzung innerhalb der und zwischen den hierarchisch geordneten ontisch-ontologischen oder kognitiv-diskursiven Ebenen (Emergenz). Sie führen zur Vielfalt (Diversität) und der gradierten Vollkommenheit, der diese charakteristischen Gegebenheiten in der *Sachdimension* mit einer angemessenen Logik reflektierenden Begriffe, Kategorien sowie Methoden. In das letztgenannte Begriffliche und Kategoriale ordnet sich die akzentuierte Schlussfolgerung *Ebelings/Feistels* ein:

„Zu den wichtigsten *Ritualisierungsübergängen* in der *sozialen Evolution* des Menschen gehörte die *Transformation von realen Bildern* in ein *abstraktes phonetisches Alphabet von Buchstaben*.“

Schon in dieser sozialen Entwicklungsebene erweist es sich, dass evolutorische Systeme die Metapräferenz entwickeln, veränderte Präferenzen zu setzen und zu realisieren. Diese gedankliche Kette setzt z.B. *Wilhelm von Humboldt* fort, indem er die (natürliche) „*Sprache* (als) das Medium des Denkens und der Weltauffassung“ beschreibt.

Tatsächlich werden mit dem Gebrauch bestimmter Begrifflichkeiten charakteristische Sichtweisen ausgewiesen und evaluiert (gegebenenfalls gemeinschaftlich vereinbart). Schon Bemerkungen über Dinge, Sachverhalte, Situationen, Handlungen und Menschen annoncieren Standpunkte, Auslegungen und Wertungen. Die *formalen Sprachen* versuchen, die bei dieser Verfahrensweise auftretenden strukturellen und lexikalischen Unschär-

---

14 Vgl. <https://de.wiktionary.org/wiki/kompliziert>

fen sowie Mehrdeutigkeiten zu vermeiden. Obwohl dieses Problemfeld außerordentlich bedeutungsvoll ist, kann es im vorgelegten Beitrag wegen der Vielzahl und Vielfalt der Facetten, der Bezüge und wesentlicher Wechselwirkungen nur benannt und nicht im Detail erörtert werden.

Zwei wegweisende Ergänzungen aus der *morphologischen Linguistik* respektive der *formalen Logik* fundamentaler Begrifflichkeiten seien allerdings eingefügt. In Bezug auf die oben bloß umschriebenen zentralen Begriffe *Komplexität* und *Kompliziertheit* offenbart sich abermals das generelle Problem des Umfangs und der „Trennschärfe“ von Begriffsinhalten. Bedeutende Teile der Charakteristika sowohl der *Komplexität* als auch der *Kompliziertheit* sind adäquat. Unter anderem besitzen beide als *Porträts* der *Wirklichkeit* und *Modelle* der *Möglichkeit* prinzipiell die Eigenschaften der *Aktualität* und *Potenzialität*. Das Einende und Trennende kann überdies anhand der allgemeineren, aus der Sicht der morphologischen Linguistik weniger spezifischen, *merkmallosen Kompliziertheit* (dem Normalfall) im Vergleich mit dem *Organisierten*, dem funktionell-strukturell angemessenen *Metromorphen* (Maßgeschneidertem), der *merkmaltragenden Komplexität* (dem Sonderfall) dargestellt werden. Das *Organisationsniveau* Komplexität attestiert primär *bedingungskonform gradierte Vollkommenheit*, d.h. vor allem Strukturiertheit und Bestimmtheit, im gegebenen Maß. Kompliziertheit verweist auf partiell und/oder defizient Entwickeltes/Entfaltetes/Enthülltes/Erkanntes, auf *Unvollkommenheit*, Unvollständigkeit, Unzulänglichkeit, Unverständlichkeit, in toto auf bezeichnende Defizite, die sich auf einer oben offenen Skala bis zum gänzlich entfalteten Chaos erstrecken können. Eine charakteristische, beherrschte *strukturell-funktionelle Defizienz* bzw. ein *defizienter regulatorischer Modus* kann allerdings auch als perfekte Imperfektion, als ästhetischer Fehler, wahrgenommen werden. Mehrere einleuchtende Beispiele werden im Text folgen.

In der vollständigen fundamentalen *relationalen Organisationsystematik* impliziert die Kompliziertheit logisch gleichermaßen die Komplexität, wie die Einfachheit die Elementarität. Formal logisch sind die Relationen zwischen der Kompliziertheit und der Komplexität denen zwischen Einfachheit und Elementarität gleich, nämlich *subaltern*. Linguistisch stehen sie in privativer Opposition, d.h. die merkmaltragenden (markierten) Elemente in den subalternen Relationen: die substantivierten relationalen Prädikate Komplexität und Elementarität, tragen als Entitäten solche differenzierenden Merkmale wie Strukturiertes, Zusammenhängendes, Kooperatives, Spezifisches und weniger Häufiges. Die Intervalle formierenden, im linguistischen Verständnis merkmallosen (unmarkierten), antonymisch oppositionellen Nomen

*Kompliziertheit und Einfachheit* stehen zueinander in Exklusion. Sie sind *konträr*. Im Falle der Kontrarität ist sachbezogen nur ein relationales Prädikat wahr und eines falsch oder beide falsch (verneinend/negativ). Das heißt, die Aussage kompliziert und einfach hat den Wahrheitswert falsch. Die singuläre Pole darstellenden, sprachtheoretisch merkmalthaften (markierten) Nomen *Komplexität und Elementarität* sind jedoch zueinander *subkonträr*. Subkontrarität drückt aus, dass in dem Paar entweder ein relationales Prädikat falsch und eines wahr oder sogar beide wahr (bejahend/positiv) sind. So ist es verifiziert, dass biotische Zellen, Wörter, Begriffe (und weitere vergleichbare Entitäten) komplex *und* elementar sind. Beispielsweise bilden Zellen einerseits die elementaren, kleinsten lebenden Einheiten aller Organismen, andererseits sind sie in mehrschichtige Zellmembranen eingehüllte, an die Hauptfunktionsträger angepasste (metromorph organisierte) komplexe Wirkstrukturen: bei Eukaryoten aus einem arttypischen Zellkern mit Nucleolus, Ribosomen Mitochondrien und weiteren Zellorganellen mit koordinierten Funktionen.

## 6 Fortschritt braucht Ideen, Regeln und Freiheiten

In der Wissenschaft und der Kunst sind nicht nur komplexe Ordnungen, sondern zudem *Unbestimmtheiten* und *Unvollkommenheiten*, *Imperfektes*, Gegenstand und Resultat der Arbeits- und Schaffensprozesse sowie essenzielle Voraussetzungen des Kreativen, des Neuen. Beide relevanten Weltansichten und Weltbeschreibungen bieten vielgestaltige Beweise des Wertes entwickelter, erkannter und genutzter Regeln – eben der Determination und Ordnung –, dessen ungeachtet zugleich der allgemeingültigen Kontingenz und der Existenz kennzeichnender „Regellosigkeiten“. Fortschritt braucht Ideen (inclusive Utopien), Regeln und Freiheiten. In der Konsequenz müssen unaufhörlich Balanceakte mit und zwischen den schöpferischen dialektischen Momenten der dynamischen Unbestimmtheit und eines konsolidierenden Erhalts, einer stabilisierenden Beständigkeit, bewältigt werden. So passiert – laut der Ergodenhypothese – jedes System im Verlauf seiner *raum-zeitlichen Entwicklung* Positionen im diskreten oder kontinuierlichen Phasenraum, die nicht den globalen Erhaltungssätzen widersprechen. Eine Vielzahl physikalischer, chemischer, biotischer, technischer, technologischer, ökonomischer und soziologischer komplexer Systeme, wie z.B. Quantenzustände oder Populationen aller Art, sind in ihrer charakteristischen Kinetik und Dynamik natürlicherweise, andere aufgrund der digitalen Messwerterfassung als *stochastische Prozesse* mit diskreten Zuständen beschreibbar. Auch die

*Transferentropie*, die den gerichteten Informationsfluss beim evolutorischen Systemwandel erfasst, wurde für stochastische Prozesse mit diskretem Zustandsraum eingeführt. Das kommt den Methoden der Informationstheorie entgegen. Die zahlreichen, bisher nicht ursächlich „therapierten“ Schwierigkeiten beim Beschreiben *kontinuierlicher Informationsprozesse* lassen sich – zumindest im bestimmten Maß – pragmatisch beheben, indem sie über das Partitionieren des Zustandsraums in *diskrete Prozesse* umgewandelt werden. Stetige Größen, die eine kontinuierliche Ganzheit informationell adäquat charakterisieren, sind bisher unzureichend wissenschaftlich reflektiert. Ähnlich dem *Gravitationsfeld* scheinen jedoch physikalische, biotische, ..., gesellschaftliche *Informationsfelder* und daraus resultierende *Feld-Objekt-Kopplungen* zu existieren. Sie aktivieren, transformieren, steuern und regeln das Geschehen. Solche Einwirkungen und Auswirkungen können für die verschiedensten Seinsbereiche beobachtet werden. Dieser Sachverhalt lässt sich in die Phänomenologie des ebenfalls imperfekten „*known unknown*“ einordnen. Der, wie bereits erwähnt, in der Wissenschaft „nachgeborene“ informationelle Aspekt der Materie ist offenbar infolge derartiger Erkenntnisdefizite metrologisch noch nicht auf dem Erkenntnisniveau zur Energie, für die sowohl *Energiequanten* als auch *Energiefelder* bekannt, bestimmbar und beherrschbar sind.

*Fuchs-Kittowski* äußert in seinem Plenarvortrag *Zum Verständnis der Information und der digitalen Transformation in einer vernetzten und verwundbaren Gesellschaft – Die Paradoxien der Sicherheit sowie zur Stellung und Verantwortung des Menschen in riskanten informationstechnologischen Systemen*:

„*Digitalisierung*<sup>15</sup> ist zu einem Schlüsselwort bei der Transformation in der Wirtschaft sowie allgemein in Organisationen und Gesellschaft geworden. *Informalisierung*<sup>16</sup> und *Digitalisierung* wird immer mehr zum Katalysator gesellschaftlicher Veränderungen in allen Bereichen unseres individuellen, sozialen und gesellschaftlichen Lebens.“

---

15 Der Begriff *Digitalisierung* bezeichnet elementar die Überführung analoger Größen in diskrete (unstetige) Werte, um sie effektiv elektronisch erfassen, speichern, be- und verarbeiten zu können sowie die umfassende Nutzung digitaler Ressourcen. Im weiteren Sinne wird damit der Einsatz elektronisch gestützter Prozesse mittels Informations- und Kommunikationstechnik und deren Vernetzung in nahezu allen Anwendungsbereichen charakterisiert. Diese sogenannte „vierte industrielle Revolution“ bewirkt eine zunehmende Vereinigung von Teilen der realen und virtuellen Welt.

16 *Informalisierung*: Auflösung strenger Verhaltensregeln, mit der Folge größerer Freiheit, aber auch größerer Unsicherheit (vgl. <http://www.enzyklo.de/lokal/40027>).

Unter dem informationellen Aspekt beansprucht das *technisch-technologische Neue* sowie der dies erwirkende, die gesamte Menschheitsgeschichte mitformende *Entwicklungsprozess der Technisierung*<sup>17</sup> die höchste gesellschaftliche Konzentration. Technik und Technologien erhalten aktuell mittels der Technisierung abermals eine neue, der Zeit, dem Kairós, gerecht werdende Charakteristik. Das emergente gesellschaftliche Ganze und deren Teile sind fast ausnahmslos technomorph, d.h. im unterschiedlichen Grade von den auf das sachlich Gegebene bezogenen und an dessen Funktionen sowie Zwecken orientierten Kräften der Technik geformt. Technik und Technologien sind selbst Kulturprodukte sowie Kulturformen und in die universelle Kultur integriert, ebenso wie die Kultur in die Technik-Technologien (vgl. Banse/Hauser 2010, S. 17–40). Sie fungieren über die Technisierung als finale Instrumente der Daseinsgestaltung, der Daseinsbewältigung und des Selfenhancement: der Selbstverstärkung und Selbstvervollkommnung des Technik-impregnierten menschlichen Lebens und verhelfen dem „homo faber“ zum Effizienz-, Effektivitäts-, Kreativitäts- und Freiheitsgewinn. Die sogenannte *Digitalisierung* ist die gegenwärtig obwaltende *Form der Technisierung*: prinzipiell eine Funktionalisierung mittels Formalisierung, die Emanzipation einer Verfahrensweise zur Methode, ohne ihren ursprünglichen Kontext mit zu reflektieren. Die *Digitalisierung* verändert maßgeblich die Arbeitswelt (4.0), das Alltagsleben der Menschen, die Gesellschaft sowie deren Rahmenbedingungen: siehe u.a. mobiles Internet, wachsende Vielfalt alltäglicher elektronischer und medizinischer Assistenzsysteme, mechanisch-elektronischer Lebenshilfen, effektive Kommunikations- und Cybersysteme, E-Health. Selbst die Wissenschaft, Technik, Kultur und die Kunst können digitalisiert zusammenfließen, weil alles irgendwann Abgebildete und Geschriebene in Binärcodes verwandelt, in Beziehung gesetzt, vernetzt, übermittelt und gespeichert werden kann.

Der vergleichsweise umfassende Begriff *Unvollkommenheit* scheint nach *Wessels* Ausführungen gut geeignet, um z.B. der Komplexität (Mannigfaltigkeit, Vielfältigkeit, Vielzähligkeit, Vielschichtigkeit, Verflechtung, Verschränktheit, Beschränktheit etc.) unseres Denkens oder der Wahrheit intui-

---

17 Die *Technisierung* ist ein hoch komplexer, multifaktorieller und multifunktionaler, sozio-technischer, sozio-ökonomischer, sozio-ökologischer, letztlich sozio-kultureller Entwicklungsprozess mit naturalen, sozialen und humanen Dimensionen und äquivalenter Perspektivenvielfalt zur Gestaltung und Erneuerung (Transformation) des Daseins (der Lebens- und Arbeitsweise) heutiger und kommender Generationen über verbesserte und neue Instrumentarien, Existenz- und Entwicklungsbedingungen mit zahlreichen Schnittstellen im technischen, sozialen, naturalen und kulturellen, ..., Problemfeld.



tiv näherzukommen. *Unvollkommenheit* ist – ebenso wie Wahrheit – kein Prädikat von Entitäten, sondern eine Relation, ein auf sich selbst bezogener, ein *Reflexionsbegriff* – insofern eine „perfekte Imperfektion“. Relational heißt, auf den unter einer bestimmten Perspektive konstituierten Tatsachen- oder Erkenntnisbereich bezogen und den Fragen zu folgen: in welchem Sinn, zu welchem Zweck? In dem Kontext interpretiert und begründet *Wessel* die in der Literatur mehrfach verwendete Sentenz: „Die Schönheit der Wahrheit liegt in ihrer Unvollkommenheit.“

## 7 Exemplarische perfekte Imperfektionen (Kausalitäten und Korrelationen)

Der Nobelpreisträger für Chemie *Manfred Eigen* zeigte 1971 in seiner Arbeit „Molekulare Selbstorganisation und Evolution“ einleuchtend, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit Fehler eine wesentliche Ursache der Evolution des Lebens und der biotischen Informationsverarbeitung sind (vgl. *Eigen* 1971). „Die Eigen-Theorie hat zu neuen Positionen zur Fehlerhaftigkeit geführt“, führten *Ebeling* und *Feistel* in ihrem Plenarvortrag aus.

In einem umfassenden und relativen Sinn ist solche Art Fehlerhaftigkeit Teil von allem in dieser unvollkommenen dynamischen Welt. Insbesondere unterliegt jegliches *explizite und implizite menschliche Verhalten* einer gewissen Fehlerhaftigkeit. Mit der Auflösung strenger Verhaltensregeln, im Prozess der sogenannten *Informalisierung*, steigt die Unsicherheit und komplementär nehmen die Freiheitsgrade des Denkens und Handelns zu.

*Beispiele* sollen die Grundthese veranschaulichen und erklären.

Eine ausnehmend positive Bewertung finden die „Fehlerfähigkeit“ und die „Fehlertoleranz“ im Zusammenhang mit einem exquisiten Klang und der erlesenen Ausdrucksstärke eines Orchesters. Ein vom Dirigenten kreiertes überragendes Klangbild und das Hochgefühl beim Rezipieren von Musik sowie des Gesangs resultiert nicht aus der „punktgenauen“ Umsetzung der Partitur, sondern gerade aus bewussten, minimalen Abweichungen – aus dem so vermittelten Empfinden für das „Stimmende“. Nach dem Plenum nenne ich das prägnant eine *perfekte Imperfektion*: „Gerade durch ihre Unvollständigkeit gelangt die Kunst zur vollendeten Schönheit“, behauptet *Oscar Wilde* in einem Aphorismus (*Wilde* 1987, S. 26). Und er präzisiert an anderer Stelle: „Die Kunst ist das mathematische Resultat des emotionalen Strebens nach Schönheit. Wenn ein Kunstwerk nicht durchdacht ist, ist es nichts“ (*Wilde* 1987, S. 11).

Wesensgemäß existieren analoge Konstellationen in den verschiedensten Seins- und Erkenntnisbereichen. Wir entdecken diese Art Unvollkommenheit in mindestens der Hälfte der *Erscheinungen des Neuen* und begreifen dabei die effektive List des „vererbenden“ Alten. Neues, *perfekte Imperfektionen*, in physikalischen, chemischen, biotischen – aber auch in kulturellen und technologischen – Systemen weisen als Mitgift einen kleinen „Makel“ (einen „Eigenschen Fehler“) auf, um sich gerieren und entfalten zu können.

Solcher Art *Unvollkommenheit* manifestiert sich als räumliche *Unvollständigkeit* (der *Zu-, An- oder Einordnung*), als zeitliche *Unbeständigkeit* (*Dynamik, Rhythmik, Phrasierung*) und organisatorische *Unvollendetheit*, funktionale Unzulänglichkeit (Insuffizienz), kognitive *Unbestimmtheit* im logischen und technologischen Wissen. *Wessel* nennt solche *Abweichungen vom imaginären Perfekten* – einem fiktiven Porträt des Idealen – ästhetische Fehler. *Ästhetische Fehler* unterscheiden sich im Wesen von den unbeabsichtigten, den Prozessen oder Zuständen quantitativ nicht angemessenen Wiedergaben, Darstellungen etc. Diese Fehler können im speziellen so ermittelt werden, dass ein Verhalten, eine Handlung oder ein Messergebnis einer hinzuzufügenden quantifizierenden Beurteilung unterzogen und statistische Abweichungen als Fehler unterschiedlicher Art angegeben werden. Die anwendungsorientiert bewährte Vielfalt des *quantifizierenden Fehler-Begriffs* verlangt große Sorgfalt. Zum Ensemble gehören realistische Abschätzungen der Genauigkeit primär von Messwerten (zufällige Fehler, Mess-, Ableseunsicherheiten), Genauigkeitsgrenzen, absolute und relative Fehler. Jeder Messwert sollte demgemäß mit einer Aussage über seine Genauigkeit/Exaktheit vervollständigt werden. In diesem Sinn steht der Begriff Fehler logisch für die rationale Abweichung eines gemessenen Wertes vom wahren Wert oder von der Fehlertoleranz.

Der *ästhetische Fehler* reflektiert hingegen vornehmlich eine sinnliche Erkenntnis, die Eigenschaft eines Gefühls: der Empfindung und Wahrnehmung:

„Das Universum verändert sich auf der Grundlage von uns anerkannter und angenommener Gesetze, folglich herrscht im Kosmos *relative Ordnung, relative Harmonie* und diese *Ordnung* und diese *Harmonie* können nicht nur von unserem Verstand, sondern auch von unseren *Gefühlen erfasst* werden, d.h. in uns *Eindrücke des Schönen erwecken.*“ (Woronski 2003, S. 346)

Im japanischen Kulturkreis kommt das einem auf *ästhetischen Visionen beruhenden, universellen ästhetischen Prinzip/Konzept*, dem nur fragmentarisch fassbaren und kaum rational erklärbaren „*Wabi-Sabi*“ gleich. Es wird

von der Akzeptanz der *Unvollkommenheit, Unbeständigkeit der Dinge und Erscheinungen* fundiert. In dem Verständnis reicht die „sich bescheidene Einfachheit“, die *Vollkommenheit des Unvollkommenen, die perfekte Imperfektion*, von der metaphysischen Basis, den Ideen, über geistige Werte, moralische Vorstellungen bis zur Vielfalt der physikalischen Gegenstände und stofflichen Qualitäten. Diese Extensionalität und Universalität des Prinzips sei betont. Der US-amerikanische Schriftsteller *Richard R. Powell* (1908–1999) fasste das Leitmotiv des Wabi-Sabi als *Konzept zum Wahrnehmen und Kreieren von Schönheit*<sup>18</sup> so zusammen: „Es nährt alles, was authentisch ist, da es *drei einfache Wahrheiten anerkennt: nichts bleibt, nichts ist abgeschlossen und nichts ist perfekt.*“<sup>19</sup>

Ein damit zusammenhängendes Beispiel aus dem japanischen Design offenbart, wie aus scheinbar Zerstörtem etwas Wertvolleres und Einzigartiges Gestalt annehmen kann. Die „Narben“, die so manches – insbesondere Keramiken und Porzellan – trägt, sichtbar zu machen und überdies zu vergolden, ist der *Modus* und das *Schönheitsideal der Kintsugi-Technik*. Die Defizienz wird nicht mit Camouflage kosmetisch kaschiert. Im Gegenteil: der vermeintliche Makel der Bruchkanten wird vorsätzlich hervorgehoben und tatsächlich vergoldet. Die genuinen *griechischen Ideale von Schönheit und Perfektion* im Pantheon der ästhetischen Werte Europas haben einen mit der Schönheit und Imperfektion des Wabi Sabi in Japan vergleichbaren Rang. Und: Die evolutionäre Idee, dass „nichts von Dauer, nichts fertig, nichts perfekt ist“ kann die Wissenschaft vielfältig belegen.

### *Zwei Beispiele für perfekte Imperfektionen im Physikalisch-Technischen*

Metallurgisches Silicium besitzt eine *Reinheit* von 98 bis 99%. In der Mikroelektronik wird *hochreines Silicium* (Verunreinigungen kleiner  $10^{-9}$ , Spitzenwerte mit „11N“-Reinheiten  $\approx 99,999\,999\,999\%$ , Si<sub>eg</sub> – electronic-grade) als *fehlordnungsfreier, „gedopter“ Einkristall* mit kleinsten Mengen definierter implementierter Fremdatome (p- oder n-Dotierelementen) eingesetzt. Erst solche Ensembles perfekter Eigenschaften im strukturell Imperfekten erschließen der Mikroelektronik ihre nahezu unbegrenzten Anwendungsfelder.

18 Einige Indizien der Schönheit sind sprachlich ableitbar. *Wabi* stammt von der Wurzel „wa“ ab, was *Harmonie, Frieden* sowie *Gleichgewicht* bedeutet. Ursprünglich bezog sich das auf die Einsamkeit des Lebens in der Natur, fernab der Gesellschaft. Der entwickeltere Begriff empfiehlt, die *Ruhe* und *Einfachheit* zu genießen. Drei grundlegende Wabi sind: *Einfachheit, Bescheidenheit, Reinheit.*

19 The wabi-sabi “nurtures all that is authentic accepting three simple truths: nothing lasts, nothing is done, nothing is perfect” (Powell 2004).

Ähnlich sind die Verhältnisse bei *Quasikristallen*. Während die Atome bzw. Moleküle in einem *normalen Kristall* in einer *periodischen Struktur* angeordnet sind, formieren sie in einem *Quasikristall* eine zwar geordnete, aber *aperiodische* Struktur. Solche Quasikristalle (Chemie-Nobelpreis 2011 für *Daniel Shechtman*) bilden sich in vielen dreidimensionalen, meist ternären (dreikomponentigen) Legierungs-Systemen, wie Al-Pd-Mn-Legierungen. Diese strukturell-funktionell perfekte Imperfektion führt zu verbesserten Eigenschaften. Für Aluminiumlegierungen lassen sich über den Zuschlag von Quasikristallen im Bereich hoher Temperaturen erheblich verbesserte Festigkeiten und Verformbarkeiten erreichen. Bestimmte quasikristalline Zuschlagstoffe zu Stahl führen zu einem korrosions- und alterungsbeständigen, dehnbaren und verformbaren, dennoch sehr festem Stahl, der sich auszeichnet für medizinische Geräte der Chirurgie eignet.

#### *Perfekte Imperfektionen im Biotischen*

Das Y-Chromosom (Gonosom) führt zur *Nichtvollkommenheit* des heterozygoten (XY) *männlichen menschlichen Körpers* gegenüber dem homozygoten (XX) Körper einer Frau.

Das Geschlecht eines Individuums auf diese Weise zufällig aufzuschlüsseln hatte in der Phylogenese und hat in der Ontogenese den Vorteil der resultierenden relativen Ausgeglichenheit der Geschlechterverteilung in einer Populationen respektive in einem Jahrgang, während sich vor dieser stammesgeschichtlichen Mutation stark verschobene Geschlechterverhältnisse herausbildeten.

#### *Perfekte Imperfektion in der physikalisch-mathematischen Modellierung: Theorie und Experimente*

In die Phalanx der Beispiele fügt sich die dimensionslose Entropie  $S^\#$  ein. Bemerkenswert ist die innere Struktur der stetigen Zufallsveränderlichen<sup>20</sup>  $S^\# = I_{\text{pot}}/I_{\text{akt}}$ . und die Sinnggebung dieser Observablen in ihrer *Harmonie von Gewordenem, Währendem und Werdendem* sowie hinsichtlich der dialektischen Sachdimensionen ihrer Komplexität.

Die Allegorie der janusköpfigen Entropie erfasst im superstrukturellen rhizomatischen Entropiekonzept naturgemäß ebenso wesentliche Aspekte der

---

20 Als Zufallsvariable wird eine messbare Funktion eines Wahrscheinlichkeitsraums in einem Messraum bezeichnet. Eine formale mathematische Definition lautet: Es seien  $(\Omega, \Sigma, P)$  ein Wahrscheinlichkeitsraum – ein mathematisches Modell zur Beschreibung eines Zufallsexperiments, und  $(\Omega', \Sigma')$  ein Messraum – eine messbare Menge. Eine  $(\Sigma, \Sigma')$ -messbare Funktion  $X: \Omega \rightarrow \Omega'$  heißt dann eine  $\Omega'$ -Zufallsvariable auf  $\Omega$ .

thermodynamische Entropie wie die der dimensionslosen Entropie. Der als faszinierende Skulptur doppelgesichtige, vorwärtssehende und rückwärtssehende Januskopf, symbolisiert jene, zahlreichen Phänomenen: Sachverhalten, Sichtweisen, Erkenntnissen und Gesetzmäßigkeiten inhärenten, nicht vom Subjekt unabhängig beschreibbaren und beurteilbaren, sich damit objektiver Wertung entziehenden, diskrepante Dualität. Repräsentanten sind solche dialektischen Paare wie Anfang/Ende, Jugend/Alter, Leben/Tod, Licht/Dunkelheit, Bewahren/Verändern, Zukunft/Vergangenheit. Selbst manchem Neuen wächst schon in der Geburtsstunde ein Januskopf.

Bedenkend, dass  $S^\#$  – bei der prinzipiellen Offenheit der Zukunft – das Phänomen eines währenden, also andauernden Zufallsexperiments, einen Zustand/ein Ereignis/einen Prozess, beschreibt, vereint die Größe  $S^\#$  in dem Quotienten  $I_{\text{pot.}}/I_{\text{akt.}}$  das momentane Porträt eines binarischen Realen (Seienden), eine zeitlich perfekte komplexe Merkmalsausprägung aus zwei Komponenten: erstens aus dem Wirklichen/Faktischen (mit dem mittleren Informations(gehalt)  $I_{\text{akt.}} = f = I_{\text{ges.}}$ ) und zweitens dem, mit ihm ursächlich verschränkten, Möglichen/Zukünftigen ( $I_{\text{pot.}} = \sigma_{\text{Inf.}}$ ).

„Die Auffassung der Welt als eines *Komplexes* von *Wirklichkeit* und *Möglichkeiten* und folglich die Ausstattung des Möglicheins mit einem von der Wirklichkeit unterschiedenen Seins- oder Realitätsgrad (HdV. – LGF), ist das modalitätstheoretische Korrelat eines Weltbegriffs, der die Substanzen als ursprünglich und wesentlich bewegte, sich verändernde und also die Welt im ganzen als einen dauernden Prozeß der Umgestaltung denkt.“ (Holz 1996, S. 8)

Der Begriff Wirklichkeit bedeutet eine Realität, die auf solche Entitäten beschränkt ist, die in Wechselwirkung mit bereits als real erkannten Entitäten stehen, d.h. auf das, was als Gegenstand des individuellen Bewusstseins aufgefasst werden kann. Anzusprechen ist, dass schon *Immanuel Kant* die intelligible Welt, die a priori im Menschen liegt, in diese Realität einschließt.

Sowohl die Faktizität der Vergangenheit als auch die Offenheit der Zukunft ergeben sich aus dem 2. Hauptsatz der Physik, aus der Irreversibilität der Prozesse/Ereignisse. Diese Konstellation zweier zeitlicher Modalitäten, dem Perfektem/Gewordenem (dabei gleichzeitig Formierten) und dem Andauernden/Werdenden (sich dabei im Möglichkeitsfeld gleichzeitig Formierenden, gegebenenfalls in der systemischen Beschaffenheit (Qualität) nicht Vollkommenen – qualitativ Imperfekten) widerspiegelt semantisch und mathematisch den Symmetriebruch der Zeit, der die Irreversibilität herbeiführt, in deren Folge Systemveränderungen in der Zeit nicht umkehrbar sind, ohne prinzipiell bleibende Wandlungen in der Systemumgebung zu hinterlassen.

Die Bildung, der Erhalt sowie die evolutionäre und radikale Veränderung funktionstragender Strukturen gehört historisch und aktuell zu den herausragenden Motivationen und Problemen der Forschung und Entwicklung – in besonderer Weise in den Natur- und Technikwissenschaften. An hunderten Beispielen aus der strukturanalytischen Rheologie unterschiedlicher viskoelastischer Biopolymere mit strukturbildenden Sol-Gel-Übergängen wurde das effektive entropisch-informationelle Bewertungssystem aus generell formal dimensionslosen Größen erfolgreich verifiziert.

Die *Strukturierung* der Gelatine vom Lyosol zum Lyogel (vgl. Fleischer 2008, S. 64) verläuft nach einer lag-Phase über die intermolekulare Nucleation zu helikalen Dreierketten, die Herausbildung und dem Wachstum von junction zones sowie einem länger währenden, weiter strukturierenden Anneling (Gele sind nie „fertig“, nicht vollkommen – perfekt imperfekt). Die Ketten erstrecken sich von einer Netzstelle (junction) zu den nächsten Knoten im Netzwerk mit prozessbedingt abnehmender Maschenweite. Auf diese im Netzwerk verknüpften, flexiblen Ketten ist aus molekularer Sicht die Entropie-Elastizität zurückzuführen. Die Rheogramme und Zeitreihen aus Oszillationsmessungen lassen sich generalisieren und so vereinheitlicht bewerten. Die dimensionslose Entropie  $S^\# \approx S_{BP}/k_B = -\sum p_i \cdot \ln p_i = -\ln \prod (p_i^{p_i})$  bildet in dem Konzept die zentrale Zufallsvariable:  $S^\# \geq 0$ . Die innere Struktur der stetigen Zufallsveränderlichen  $S^\# = I_{\text{pot.}}/I_{\text{akt.}}$  – einer quantifizierenden statistischen Funktion des Wahrscheinlichkeitsraums – wurde erörtert und als perfekte Imperfektion<sup>21</sup> gedeutet.

Die Wahrscheinlichkeitsdichte  $f_\lambda(S^\#)$  fungiert als elementarer Evaluationsparameter des Modellsystems. Generell gilt:  $f_\lambda(S^\#) = \lambda \cdot \exp(-\lambda \cdot S^\#)$  [mit dem Erwartungswert  $1/\lambda$  und dem Median  $\ln 2/\lambda$ ]. Im Folgenden wird die inhaltlich nicht einschränkende Ereignisrate  $\lambda = 1$  genutzt:  $f_1(S^\#) \rightarrow f(S^\#)$ . Als Maßzahl vertritt  $f$  – ebenso wie  $I_{\text{akt.}}$  – die gesamte exponentielle Verteilungsfunktion. Logisch und zudem anschaulich stellt der normierte Strukturfaktor  $f$  (Ordnungsgrad, Strukturierungsgrad, energetischer Wirkungsgrad) mit dem Wertebereich  $0 < f \leq 1$  sowie den „dimensionslosen Abstand“ zum thermodynamischen (statischen) Gleichgewicht (GG) dar. Folgerichtig wird zugleich der normierte Gesamtaufwand beim Strukturieren  $I_{\text{ges.}} = I_{\text{akt.}}$  in spezifischer Form erfasst und die statistische Überlebenswahr-

---

21 Im Latein und in den romanischen Sprachen lässt sich mit dem *Imperfekt* sprachlich eine „unvollendete Vergangenheit“ kennzeichnen. Dieser Imperfekt weist auf eine begonnene und noch nicht abgeschlossene – als aktuell wahrgenommene – Handlung bzw. einen derartigen Prozess hin (damit unterscheidet sich diese Zeitform vom früher in der deutschen Sprache ebenso bezeichneten, heutigen Präteritum).

scheinlichkeit quantifiziert. Im Gleichgewicht führen die asymptotischen Skalenparameter zu  $f \rightarrow 0$  und  $S^\# \rightarrow \infty$ . Die komplementäre Größe  $f^*(S^\#) = 1 - f(S^\#)$  bemisst den normierten Dissipationsfaktor (energetischen Wirkungsgrad) mit dem Wertebereich  $0 \leq f^* < 1$ .

Die dimensionslose Entropie  $S^\# \geq 0$  lässt sich mit diesem Dissipationsfaktor als Potenzreihe darstellen:  $S^\#(f^*) = \sum (f^*)^n / n$  (und  $n = 1, 2, \dots, \infty$ ), womit die obwaltende Nichtlinearität erkennbar wird. Offenkundig ist  $f^*(S^\#) = 1 - \exp(-S^\#) = F_S(S^\#)$  die Verteilungsfunktion der Wahrscheinlichkeitsdichte  $f(S^\#)$  exponentiell verteilter dimensionsloser *Eigenschaften aller Art* (vgl. Naue/Bärwolff 1992, S. 62ff.). Während für die Strukturindikatoren die *konverse* Funktion  $f(S^\#) + f^*(S^\#) = 1$  gilt, ist die *inverse* Funktion von  $f \rightarrow 1/f(S^\#) = \mathbf{D}(\text{isorder})$  ein Desorganisations-, Kompliziertheitsgrad, der die Unvollkommenheit  $\approx$  Unordnung/Fehlordnung quantifiziert. Auf diesen wesentlichen Unterschied zum komplementären Dissipationsfaktor  $f^*$  sei ausdrücklich hingewiesen.  $f^*$  äußert sich als Irreversibilität phänomenologisch im Übergang arbeitsfähiger Energien in Wärme bzw. in systemischen Temperaturerhöhungen.

Zum konsistenten physikalisch-mathematischen Modellsystem gehören nach pragmatischen Gesichtspunkten definierbare oder bereits existierende Größen: insbesondere die vorn ausführlicher interpretierten normierte Informationsentropie:  $\sigma_{\text{Inf}} = -f \cdot \ln(f) = S^\# \cdot \exp(-S^\#) = I_{\text{pot.}}$  – analog zur Beschreibungskomplexität<sup>22</sup> formaler Sprachen – und die normierte Entropieproduktion:  $\sigma_{\text{prod.}} = -f \cdot (\ln f - 1) = (S^\# + 1) \cdot \exp(-S^\#) = I_{\text{pot.}} + I_{\text{akt.}}$  als Maß für die Effektivität strukturbildender Prozesse sowie für die zur Selbstorganisation oder Fremdorganisation erforderlichen Entropieexporte, die die Entropieproduktion zumindest kompensieren müssen. Aus der Sicht der *Zuverlässigkeitstheorie* wächst mit der Entropieproduktion ( $\sigma_{\text{prod.}} \rightarrow 1$ , weil für  $S^\# < 1$   $I_{\text{pot.}} \rightarrow 0$  und  $I_{\text{akt.}} \rightarrow 1$  gilt) infolge der stabilisierenden Strukturbildung die Überlebenswahrscheinlichkeit [reliability function  $R_S(S^\#) = \sigma_{\text{prod.}}$ ] und damit die Zuverlässigkeit des Systems. Im Falle viskoelastischer Stoffsysteme, wie Sole und Gele aus Biopolymeren, sind die Strukturindikatoren  $f$  und  $f^*$  von rheologischen Modulverhältnissen bzw. trigonometrischen Funktionen charakterisiert:  $\mathbf{f} := (G')^2 / (|G^*|)^2 = \cos^2 \delta$  und  $\mathbf{f}^* := (G'')^2 / (|G^*|)^2 = \sin^2 \delta$ . Für den komplexen rheologischen Modul aus dem Speicher- und dem Verlustmodul gilt  $G^* = G' + i \cdot G''$  und für den Verlustwinkel in der Gaußschen-

22 Sie repräsentiert im Modell des Verfassers – LGF – die Wahrscheinlichkeitsdichte einer zur Exponentialfamilie gehörenden Gammaverteilung  $\Gamma(2,1)$  für die Zufallsgröße  $S^\#$  mit dem Gestaltungsparameter 2, dem Skalenparameter 1, dem Modalwert  $S^\# = 1$  bzw.  $f = \exp(-1) = 0.3678$ .

Zahlenebene mit  $iG''$  vs.  $G'$ ,  $\delta = \text{atan}(G''/G')$   $G'$  wird als mechanisches Grundmodell von einer (ideal elastisch verformbaren) Feder und  $G''$  von einem (reibungsbefaheten) Dämpfer/Zylinder mit bewegtem Kolben repräsentiert. Die bereits interpretierte Summe  $f^* + f = 1$  folgt mathematisch aus dem Theorem  $\sin^2 \delta + \cos^2 \delta = 1$ . Für die dimensionslose Bildungsentropie  $\Delta_B S^\#$  eines Gemisches (einer „Mischphase“) kann analog zur Thermodynamik der idealen Mischphasen gesetzt werden:  $\Delta_B S^\# = -[(f \cdot \ln(f) + f^* \cdot \ln(f^*))] = S^\#_M$ . Infolge der Idealisierung verschiebt sich das Maximum der Gemischentropie  $S^\#_M$  im Vergleich mit der Informationsentropie  $\sigma_{\text{inf.}} = I_{\text{pot.}}$ .

Alle erörterten Größen sind Variablen, die das Ergebnis eines währenden Zufallsexperiments unter bestimmten Aspekten beschreiben und wesensgemäß mit der elementaren syntaktischen Informationen sowie der Kontingenz korrelieren.

In Abbildung 1 sind die charakterisierten Zusammenhänge für eine kühlungsinduzierte Gelbildung veranschaulicht: B-Gelatine ( $\approx$  alkalisch prozessierter Abzug 217 809) X:  $= m_W/m_{OG} = 14$  (6·2/3 Masseprozent Gelatine – OG) in einem Glycerin-Wasser-NaCl-Puffer, Kühlung  $40^\circ\text{C} \rightarrow 20^\circ\text{C}$  mit  $\Delta T/\Delta t = -1\text{K}/\text{min}$ ,  $\text{gap} = 1\text{mm}$ , Kreisfrequenz  $\omega = 3.14\text{ rad/s}$ .

Die rheologisch mit  $G'$  und  $G''$  registrierbare Strukturbildung (Sol  $\rightarrow$  Gel) beginnt für diese Kühlrate bei der *Induktionszeit*  $t_0 = 593\text{ s}$ ,  $\theta_{0,\text{gem.}} = 30.21^\circ\text{C}$ ,  $\theta_{0,\text{ber.}} = 30.12^\circ\text{C}$  und verläuft im Bild von rechts nach links. Die Messwerte sind mit Symbolen markiert und haben einen Abstand von  $\Delta t = 6\text{ s}$ . Die geschlossenen Graphen für  $I_{\text{akt.}} = f$ ,  $I_{\text{pot.}} = \sigma_{\text{inf.}}$  sowie  $I_{\text{akt.}} + I_{\text{pot.}} = \sigma_{\text{prod.}}$  entsprechen den Gleichungen des Modellsystems. Der empirische Gelbildungspunkt wird herkömmlich als crossover mit  $G'' = G'$ ,  $f = 1/2$ ,  $\delta = 45^\circ$ ,  $S^\# = S^\#_M = \ln 2 = 0.6932$  (Median der Exponentialverteilung mit  $\lambda = 1$ ) angegeben. Im theoretisch fundierten Experiment resultiert für den Gelbildungspunkt  $S^\# = 1$  (Erwartungswert der Exponentialverteilung mit  $\lambda = 1$ ),  $f = (\sigma_{\text{inf.}} = \text{Max.}) = \exp(-1) = 0.3678$  und einem Verlustwinkel von  $\delta_{\text{cr.}} = 52.7^\circ$ .

Die Experimente wurden für das gleiche Stoffsystem 217 809 und identische rheologische Bedingungen, einheitlich bei  $\theta = 40^\circ\text{C}$  beginnend, aber mit variierten Kühlraten zwischen  $\Delta T/\Delta t = -0,5\text{ K}/\text{min}$  bis  $\Delta T/\Delta t = -12\text{ K}/\text{min}$  realisiert. Alle resultierenden Zeit-Plots sind für die *dimensionslose Gelbildungszeit*  $\tau_{\text{diml.}} := \tau/\tau_{(S^\#=e)}$  (mit  $\tau_{(S^\#=e)}$  als *Abklingzeit* von  $S^\#(\tau=0) = e^2$  auf  $S^\# = e = 2.7183$ ) als Verlaufskordinate bis  $\tau_{\text{diml.}} \approx 5.5$  (fast 8 Halbwertszeiten  $\tau_{1/2} = \ln 2 \cdot \tau_{\text{diml.}}$ ) gut superponiert, daher in einer Masterkurve darstellbar. Es gilt:  $\tau := (t - t_0)$  mit der *Gesamtprozesszeit*  $t$  und der *Induktionszeit*  $t_0$  – dem Anfangspunkt der Gelbildung  $G' \geq 0$  – und für die Reaktionsgeschwindig-



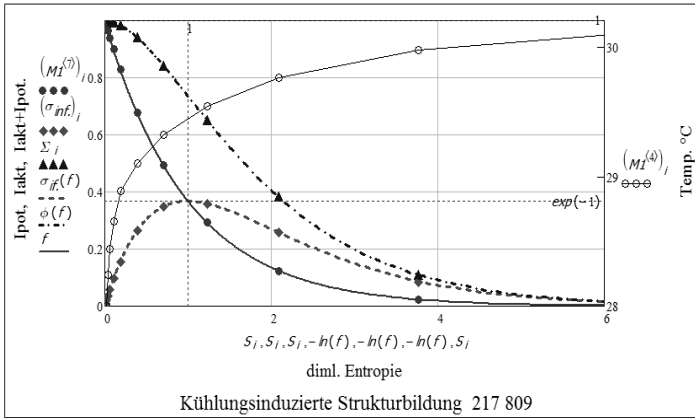


Abbildung 1: B-Gelatine Abzug 217 809

Kühlungsinduzierte Strukturbildung: Sol → Gel-Transformation mit  $\Delta T/\Delta t = -1\text{K/min}$  in normierter informationeller Darstellungsweise:  $I_{\text{akt.}} = f$  (Kreise),  $I_{\text{pot.}} = \sigma_{\text{inf.}}$  (Rhomben),  $I_{\text{akt.}} + I_{\text{pot.}} = \sigma_{\text{prod.}}$  (Dreiecke) vs. dimensionslose Entropie  $I_{\text{pot.}}/I_{\text{akt.}} = S^{\#}$ .

Im Diagramm verläuft die Strukturierung von rechts nach links, von  $S^{\#} = 6 \rightarrow S^{\#} = 0$ .

Mit Symbolen markierte, zeitdiskretisierte Messwerte (Schrittweite  $\Delta t = 6\text{s}$ ) und Graphen der Modell-Gleichungen im Vergleich. Für die empirische Temperatur  $[\theta] = ^\circ\text{C}$  gilt die rechte y-Koordinate im Diagramm.

Quelle: Archiv des Verfassers

keitskonstante  $k_1 := 1/t_0$ . In den diskutierten Experimenten folgte  $t_0 = 10 \cdot e \cdot \tau_{\text{diml.}}$ . Die Transformation ist bei  $\tau_{\text{diml.}} = 5.5$  weitgehend vollzogen. Das sich vermutlich daran anschließende Anneling verläuft wesensgemäß deutlich langsamer. Wengleich Gele faktisch nie vollkommen sind (abklingende Exponentialfunktion), führt für  $\tau_{\text{diml.}} \geq 5.5$  die kleinste Kühlrate zu den strukturell günstigsten Werten. In Abbildung 2 ist der Verlauf für die Kühlrate  $\Delta T/\Delta t = -0,5 \text{ K/min}$  – d.h. der Reversibilität näherkommende Bedingungen – dargestellt.

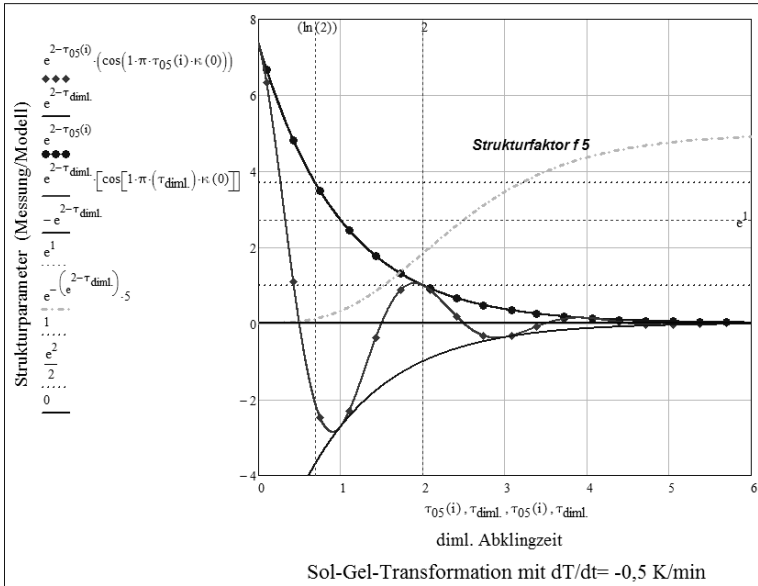


Abbildung 2: B-Gelatine Abzug 217 809

Kühlungsinduzierte Strukturbildung: Sol → Gel-Transformation mit  $\Delta T/\Delta t = -0.5 \text{ K/min}$ .

Gedämpfte Schwingung und  $S^\#(\tau_{diml.})$  als positiver Zweig der Enveloppen vs. dimensionslose Abklingzeit  $\tau_{diml.} = \tau/\tau(S_{\#} = c)$ .

Mit Symbolen markierte, zeitdiskretisierte Messwerte (Schrittweite  $\Delta t = 6s$ ) und Graphen der Modell-Gleichungen im Vergleich. Der normierte Strukturfaktor  $f$  (strichpunktierte Linie) ist im Diagramm als Fünffaches dargestellt.

Quelle: Archiv des Verfassers

### 8 Bilanz

In seinen Tagebüchern, die in der Literaturkritik als kühle, ungefilterte Notate, Teeblätter eines Stoikers charakterisiert werden, schreibt *Lion Feuchtwanger* 1935 über sich selbst:

„Der Schriftsteller L. F. war 19mal in seinem Leben glücklich und 14mal abgründig betrübt. 584mal schmerzte und verwirrte ihn bis zur Betäubung die Dummheit der Welt, die sich durch keine Ziffer ausdrücken läßt. Dann wurde er dagegen abgestumpft. Sehr genau erkennend, daß Leistung sich nicht deckt mit Erfolg und daß der Mann sich nicht deckt mit der Leistung, würde er, falls man ihn fragte: ‚Bist Du einverstanden mit deinem bisherigen Leben?‘ erwidern: ‚Ja.

*Das Ganze noch einmal.* ‘ Auf eine bestimmte Personen bezogen lässt sich über die zitierten Quantitäten generell polemisieren; fragte man mich aber nach dem Entscheidenden, dann folgte: ‚Ja. Das Ganze noch einmal.‘“

Bei Ihnen, liebe Kolleginnen, Kollegen und sehr verehrte Gäste, bedanke ich mich noch einmal ausdrücklich für Ihr Interesse und wünsche Ihnen die Hegemonie optimistischer Erlebnisse und Ergebnisse beim Denken und Handeln. Nach *Konfuzius* hat der Mensch dreierlei Wege klug zu handeln; erstens durch Nachdenken, das ist der edelste, zweitens durch Nachahmen, das ist der leichteste, und drittens durch Erfahrung, das ist der bitterste.

Nutzen wir beim bevorzugten Nachdenken – bewusst auf Erfahrungen aufbauend und der Wissenschaft verpflichtet – die global integrierte holistische Intelligenz zum Erkunden und Erkennen der kompliziert disparaten Welt sowie für das vernünftige Handeln bei deren Umgestaltung zum *perfekt imperfekten Humanistischen*. Vor mehr als sechs Dezennien schrieb der renommierte US-amerikanische Historiker deutscher Herkunft, *Fritz Richard Stern*, bittere Erfahrungen und ähnlich komplizierte Konstellationen wie heute (wo einige mit der Vernunft und der Wahrheit wie mit zwei beliebigen Optionen unter vielen anderen beinahe willkürlich umgehen) reflektierend:

„Der Glaube an die Vernunft und an die Möglichkeiten menschlichen Fortschritts, der dem frühen historischen Denken vielfach zugrunde lag, scheint heute ungültig geworden zu sein, und doch muss die Vertiefung unserer historischen Erfahrung nicht dazu führen, dass man diesen Glauben aufgibt. Vielmehr kann sie ein stärkeres Gefühl für das Gefährdetsein der menschlichen Freiheit und eine noch größere Hingabe an sie zur Folge haben.“ (Stern 2011, S. 30)

## Literatur

- Banse, G.; Hauser, R. (2010): Technik und Kultur – ein Überblick. In: Banse, G.; Grunwald, A. (Hg.): Technik und Kultur: Bedingungs- und Beeinflussungsverhältnisse. Karlsruhe, S. 17–40
- Deleuze, G.; Guattari, F. (1977): Rhizom (aus dem Französischen übersetzt v. D. Berger). Berlin
- Ebeling, W. (1989): Chaos, Ordnung und Information. Leipzig, Frankfurt/M.
- Ebeling, W. (1994): Selbstorganisation und Entropie. In: Beckenbach, F.; Diefenbacher, H. (Hg.): Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie. Marburg, S. 29–45
- Ebeling, W.; Engel, H.; Herzel, H. (1990): Selbstorganisation in der Zeit. Berlin
- Ebeling, W.; Feistel, R. (1984): Physik der Selbstorganisation und Evolution (2. Aufl.). Leipzig

- Ebeling, W.; Feistel, R. (1994): Chaos und Kosmos. Prinzipien der Evolution. Heidelberg, Berlin
- Eigen, M. (1971): Molekulare Selbstorganisation und Evolution (Self organization of matter and the evolution of biological macro molecules). In: Die Naturwissenschaften, Bd. 58/Heft 10, S. 465–523
- Feistel, R.; Ebeling, W. (1982): Models of Darwinian Processes and Evolutionary Principles. In: BioSystems, Vol. 15, pp. 291–299
- Fleischer, L.-G. (2008): Verallgemeinertes technologisches Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen im Stoffmodul der Materialtechnik zur Konstituierung einer allgemeinen Stofftheorie – Tendenzen und Probleme. In: Banse, G.; Reher, E.-O. (Hg.): Allgemeine Technologie – verallgemeinertes Fachwissen und konkretisiertes Orientierungswissen zur Technologie. Berlin, S. 41–70 (Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften zu Berlin, Bd. 99)
- Fuchs-Kittowski, K. (1997): Information – Neither Matter nor Mind – On the Essence and on the Evolutionary Stage Conception of Information. In: World Futures, Vol. 50/No. 1–4, pp. 551–570
- Hawking, S. (2017): Web Summit 2017: KI kann eine Bedrohung der Menschheit sein. In: heise online News, Nr. 11
- Holz, H. H. (1996): Leibniz und das commune bonum. In: Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Bd. 13/Heft 5, S. 5–25
- Hüttl, M. T (2001): Datenanalyse in der Biologie. Berlin u.a.O.
- Krahe, W. (2017): Terror Sapiens I: Von der Einfalt zur Vielfalt. Hamburg
- Naue, G.; Bärwolff, G. (1992): Transportprozesse in Fluiden. Leipzig
- Powell, R. R. (2004). Wabi Sabi Simple: Create beauty. Value imperfection. Live deeply, Avon, MA USA
- Pross, H. (1981): Zwänge. Essay über symbolische Gewalt. Berlin
- Ropohl, G.(2005): Allgemeine Systemtheorie als transdisziplinäre Integrationsmethode. In: TA-TuP –Technikfolgenabschätzung-Theorie und Praxis, Nr. 2, S. 24–31
- Simondon, G. (2012): Die Existenzweise technischer Objekte [1958] (aus dem Französischen v. M. Cuntz; 2. Aufl.). Zürich
- Stern, F. (2011): Varieties of History. Einleitung zur amerikanischen Buch-Erstaussgabe 1956. In: Stern, F.; Osterhamme, J. (Hg.): Moderne Historiker. Klassische Texte von Voltaire bis zur Gegenwart. München, S. 13–41
- Wesson, P; Williams, P. (1995): Evolution and Human. Amsterdam
- Wilde, O. (1987): Aphorismen (hg. v. F. Thissen). Frankfurt/M.
- Woronski, A. K. (2003): Die Kunst, die Welt zu sehen. Ausgewählte Schriften 1911–1936. Essen