



Rainer E. Zimmermann (MLS)

System, Materie, Information. Probleme der Grundlegung ihrer Begriffe

Vortrag auf dem Kolloquium „Emergente Systeme. Information und Gesellschaft“
am 10.12.2015

Veröffentlicht: 16.03.2018

Zusammenfassung (Abstract)

Die Arbeit der letzten vier Jahre zusammenfassend, sollen die Begriffe von System, Struktur, Netzwerk, Raum, Materie und Information in ein korrektes Verhältnis gebracht und zu einer weitestgehend präzisen und zureichend konsistenten Definition zusammengeführt werden, welche die Interdisziplinarität des systemtheoretischen Ansatzes zu verdeutlichen imstande ist. Der unmittelbare Verweisungszusammenhang zwischen der Grundlegung der Begriffe einerseits, einer in der Hauptsache philosophischen Aufgabe, und der Betrachtung ethischer Konsequenzen im Rahmen einer politischen Praxis andererseits, wird dabei besonders hervorgehoben. Nähere Ausführungen zum Thema kann man in (Zimmermann, 2017) finden sowie in (Zimmermann und Díaz Nafría, 2012) und (Díaz Nafría und Zimmermann, 2013). Im übrigen soll auch der Nutzen der Mathematik betont werden, die bisher, abgesehen von historischen Betrachtungen, in der Philosophie eine eher untergeordnete Rolle spielt, wodurch ihre wesentlich heuristische Funktion für die Philosophie noch nicht erschlossen ist. Insofern können mathematische Ergebnisse als methodische Analogie verwendet werden, die geeignet sind, die philosophischen Einsichten zu befördern. Umgekehrt gilt gleichfalls, dass es eben diese letzteren sind, welche auch geeignet sein können, naturwissenschaftliche und geisteswissenschaftliche Einsichten zu befördern.

1. Aspekte der Definitionen

Unser Ausgangspunkt ist die von mir selbst in (Zimmermann, 2015) vorgeschlagene Definition eines Systems: „Wir nennen *System* ein Netzwerk wechselwirkender Agenten, die einen Raum mit einem wohldefinierten Rand produzieren, welcher offen ist im Sinne der Thermodynamik.“ Hierbei sind Agenten ihrerseits im Sinne von (Stuart Kauffman, 2000) definiert: „Autonome Agenten sind selbstreproduzierende Systeme, die zumindest einen thermodynamischen Arbeitszyklus vollführen können.“ Zudem wird die Gültigkeit der Thermodynamik als fundamental vorausgesetzt. Sie umfasst auch jenen Satz, den Stuart Kauffman gewöhnlich als den „4. Hauptsatz der Thermodynamik“ bezeichnet: „Systeme maximieren die Erforschung des angrenzend Möglichen (adjacent possible)“ [und damit ihre Komplexität]. In der früheren Manuskriptfassung seines Buches gibt Stuart Kauffman eine ausführlichere Fassung der Definition an: „Agenten sind selbstreproduzierende, autokatalytische Systeme, die eine neue Art von Geschlossenheit erzeugen in einem gegebenen Raum katalytischer und Arbeits-Aufgaben, indem sie Arbeit aus Nicht-Gleichgewichts-Zuständen verbreiten und natürliche Spiele im Rahmen ihrer Umweltbedingungen spielen.“

Damit können wir zunächst folgendes sagen:

1. *Agenten sind selbst Systeme.* Alles beginnt mit elementaren Fundamentalagenten, und die Evolution (der beobachtbaren Welt) versteht sich dann als eine fortwährende Superposition der Fundamentalagenten zu immer komplexeren Agenten bzw. Systemen.
2. *Agentenaktivitäten werden durch physikalische Arbeit ausgedrückt.* Damit bestimmen wir das universelle Substrat der beobachtbaren Welt (philosophisch entspricht das der ursprünglichen Urstoff-Konzeption). Wir drücken dieses Substrat nämlich durch zwei Komponenten aus, die wir als Komposita *Energie-Masse* und *Entropie-Struktur* nennen. (Der eher unkonventionelle vierte Bestandteil dieser Komponenten wird noch näher zu erörtern sein.)

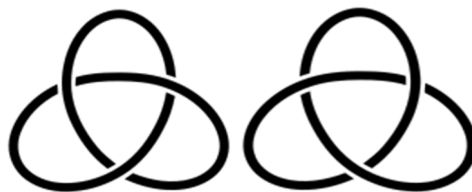
Wegen des zweiten hier dargestellten Korollars der Eingangsdefinition wird zugleich die Gültigkeit des Lagrange-Formalismus (bzw. des Hamilton-Formalismus) impliziert (neben der bereits erwähnten Thermodynamik).

2. Ontologische Differenz

Die Eigenheit des methodischen Formalismus impliziert eine Abbildungstechnik, die sich in dem formalen *Graphismus* ausdrückt, welcher wesentlich auf der Isomorphie zu den (mathematischen) Kategorien beruht. Mithin verweist diese Abbildungstechnik immer auch auf eine sprachliche Verfassung von Theorien und Modellen. Daher sind die Begriffe *System, Struktur, Emergenz, Komplexität*, aber auch: *Raum, Zeit, Energie, Masse, Entropie, Struktur epistemologischer, nicht ontologischer* Natur. Die Konsequenz ist eine *implizite Selbstreferenz von Systemen* (die ihrerseits bedingt ist durch die Selbstreferenz der Agenten, welche das Netzwerk als dynamischen Kern des Systems bilden): Es geht also vor allem um Systeme, die ihre Umwelt beobachten, in welcher sie selbst implizit sind.

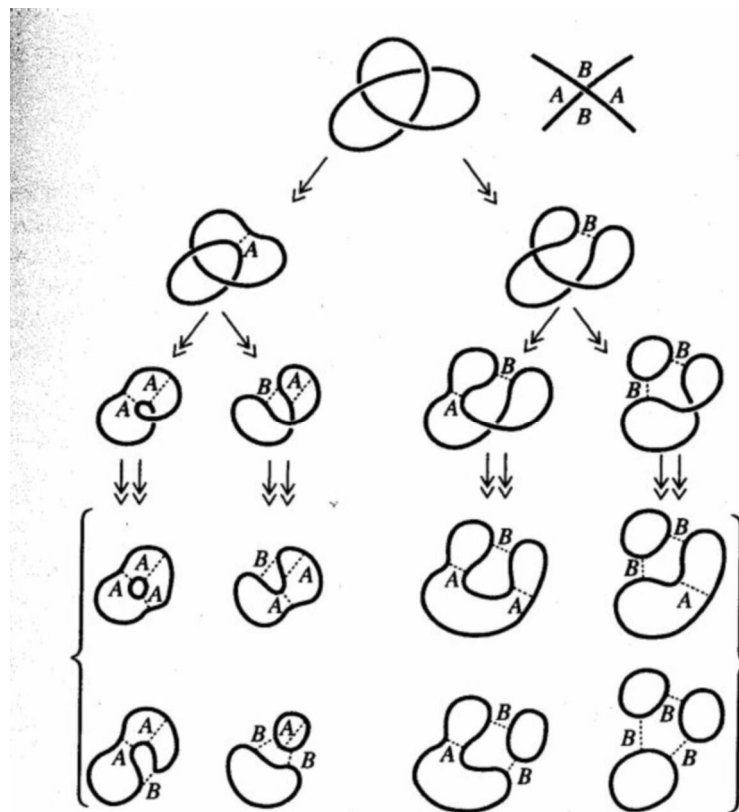
An dieser Stelle treffen wir auf das, was wir (ausnahmsweise in der Nachfolge Heideggers) *ontologische Differenz* nennen: Das bezeichnet letztlich den Umstand, dass der Grund des Beobachtbaren selbst unbeobachtbar ist. Dieser Sachverhalt spiegelt sich in den verschiedenen Aspekten der modernen Emergenztheorie und Dekohärenztheorie wider.¹ Auf diese Weise ist man in der Lage, das zentrale Problem der (philosophischen) Kategorien zu bezeichnen: Es besteht wesentlich in der Notwendigkeit, eine neue Form der Konzeptualisierung zu entwickeln, also praktisch nach einer angemessenen Sprache zu suchen, welche die Möglichkeiten der formalen und gestalthaften Sprachen, die gegenwärtig für die wissenschaftliche Konzeptualisierung verwendet werden, zu übersteigen geeignet ist – denn im Grunde muss sie imstande sein, etwas zu beschreiben, was mit Mitteln der üblichen Sprache nicht beschreibbar ist (weil die vorgenannten Kategorien lediglich epistemologischen Charakter haben).

Hier bietet sich, wie bereits erwähnt, die neuere Mathematik (Topos-Theorie) als eine pragmatische Parallele an: Den Ausgangspunkt finden wir in den Arbeiten von *Louis Kauffman*, namentlich in seinem Aufsatz (Kauffman, 1998): Dort zielt dieser vor allem darauf ab zu zeigen, dass die Binoridentität von Spin-Netzwerken, die Strangidentität des Klammer-Polynoms und die Spuridentität der zu $SL(2, \mathbb{C})$ korrespondierenden Quantengruppe praktisch isomorph sind. Er bezieht sich dabei auf die von ihm selbst wesentlich mitgestaltete Knotentheorie, die sich zunächst als wichtiges Instrument erweist, um anhand von Invarianzen spezieller Knotenstrukturen Aussagen über die Symmetrien von Gestalten zu treffen. Der am häufigsten diskutierte Knoten ist in diesem Zusammenhang die „Kleeblattschlinge“, deren Symmetrie man zwei verschiedene Zustände ausdrücken kann:



Wenn aber die Verschlingungsweise topologisch signifikant ist, dann stellt der initiale Vorgang der Verschlingung so etwas wie die „Geschichte“ der resultierenden Gestalt dar, indem nicht nur die faktische Verschlingung generiert wird, sondern zugleich auch alle Möglichkeiten der Verschlingung aufgelistet werden, welche zu dem fraglichen Knoten führen. Umgekehrt kann die „Entschlingung“ des Knoten als Reduktion auf einen „Unknoten“ aufgefasst werden, derart, dass der Unknoten nichts weiter ist als eine geschlossene Kurve:

¹ Ich habe in meiner Antrittsvorlesung vor dem Plenum der Leibniz-Sozietät Einiges dazu ausgeführt (vgl. Zimmermann, 2014a).



In diesem Diagramm sind die A, B ihrer Konvention gemäß oben rechts für je eine Überkreuzung dargestellt. *Insofern speichert die Form (der Knoten) Information über ihre eigene Generierung.* Das heißt, eine systematische Rekonstruktion des Zustandekommens einer Struktur erschließt im Prinzip Information über diesen Prozess. Mithin kann man Strukturen im allgemeinen als gespeicherte Information interpretieren. Die enthaltene Information ist potentieller Art, sie kann mittels einer geeigneten Rekonstruktion aktualisiert werden. Diese Idee geht in der Hauptsache auf eine Theorie der Formenerzeugung zurück, die Michael Leyton (2001) bereits vor einiger Zeit vorgelegt hat.² Man muss dieses Vorgehen auch mit einer Neubetrachtung des 2. Hauptsatzes der Thermodynamik zusammenführen, denn die Behandlung von Strukturen (sowohl topologisch als auch geometrisch betrachtet) impliziert zugleich eine neuerliche Einsichtnahme der üblichen thermodynamischen Bilanzen, vor allem im Hinblick auf die Frage möglicher Erhaltungssätze (vgl. Duncan, 2004).

Louis Kauffman hat im Kontext der Knotentheorie das sogenannte Jones-Polynom modifiziert, um so etwas wie die (wesentlich kombinatorische) Bilanz für die Verschlingungsgeschichte von Knoten zu liefern. Auf seine Theorie der „Behälter“ und „Enthälter“ referierend (siehe auch Zimmermann, 2007), kann er auf diese Weise Verschlingungsgeschichten in eine algebraische Form bringen, etwa von der Art:

² Weil Leyton den Anwendungsbereich seines Ansatzes im wesentlichen in der Theoretischen Architektur angesiedelt hat, habe ich seine Ergebnisse im Zusammenhang mit meinem Buch (Zimmermann 2014b) über urbane Sozialraumtheorie genutzt.

$$\begin{aligned} \langle \text{G} \rangle &= A \langle \text{H} \rangle + A^{-1} \langle \text{I} \rangle = \\ A^2 \langle \text{J} \rangle + \langle \text{K} \rangle + \langle \text{L} \rangle + A^{-2} \langle \text{M} \rangle &= \\ A^2 (-A^{-2} - A^{-2}) + 2 + A^{-2} (-A^{-2} - A^{-2}) &= -A^{-4} - A^{-4}. \end{aligned}$$

Das gleiche Vorgehen lässt sich auf der fundamentalen Ebene der Physik auf das Spin-Netzwerk von Penrose selbst anwenden: Je sechs Schleifen kooperieren in diesem Sinne, um ein Hexagon des Netzwerkes zu bilden.

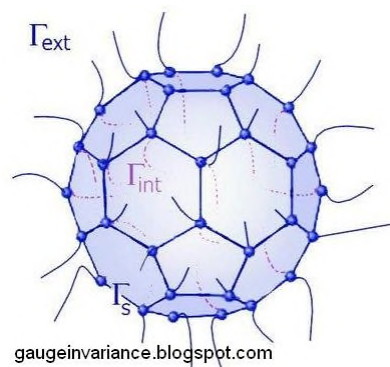


Bild. A black hole spin network (Quelle: Blog Gauge Invariance von Mohammad H. Ansari vom 9.1.2007)

Alternativ kann dieser Vorgang durch eine Zustandssumme ausgedrückt werden, die im Wesentlichen einem Feynman-Integral entspricht von der Form

$$Z = \int D\phi \exp(-S[\phi]),$$

so dass

$$Z = \sum_J N(J) \sum_e \prod_{f \in J} \dim a_f \prod_v A_v(e).$$

Hierbei bedeuten die Indizes v, e, f die Knoten (vertices), Kanten (edges) und Flächen (faces) des Diagramms. Die letzteren werden benötigt, um die zeitliche Entwicklung des Netzwerkes zu beschreiben (aus dem Spin-Netzwerk wird dann ein *Spin-Schaum*). Das Funktional S bezeichnet die Wirkung (action), in der sich die Lagrange-Funktion verbirgt. In einer symbolischen Operatorschreibweise kann dieser Sachverhalt durch die Beziehung

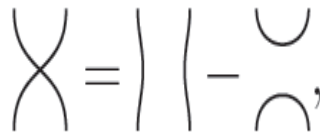
$$Z_k = \langle \text{cup} \mid M \mid \text{cap} \rangle,$$

mit den Kurations- und Annihilations-Operatoren:

$$\text{cup} := \mid a \rangle : C \rightarrow V \otimes V \text{ und } \text{cap} := \langle b \mid : V \otimes V \rightarrow C$$

ausgedrückt werden, wobei hier die von Paul Dirac eingeführte Konvention der Quantenphysik gilt. Das Produkt \otimes bezeichnet das Tensorprodukt des maßgeblichen Vektorraumes mit sich selbst, C ist

die Menge der komplexen Zahlen. In der Sprache der Knotentheorie lässt sich dieser Ansatz auch durch die besagte Binoridentität beschreiben:



Wir können daher drei verschiedene Perspektiven der Theorie zu einem gemeinsamen Ansatz zusammenführen: Zum einen die *Knotentheorie*: die von der ursprünglichen Arbeit Reidemeisters her (1932) ermöglicht, ein Polynom als Zustandssumme von Knoten darzustellen und damit die topologische Invarianz (und auch Äquivalenz) von Knoten. Zum anderen die Theorie der *Spin-Netzwerke*: die von Penrose her (1971) die Beschreibung der spontanen Emergenz der Eigenschaften des dreidimensionalen Raumes (auf einem rein kombinatorischen Hintergrund) ermöglicht. Schließlich die Theorie der für die klassische und quantentheoretische Physik gleichermaßen prominenten Gruppe $SL(2, C)$, bei der von Baez und Christensen (2000) auf die Theorie der Quanten-Information verwiesen werden kann (vgl. ebenso (Penrose, 1971) sowie (Reidemeister, 1932).

Aus der Sicht von Louis Kauffman (1993, 1995), der seine Knotenlogik wesentlich unter dem Einfluss des Ansatzes von George Spencer-Brown entwickelt hat, kann die Generierung von Formen auf sehr allgemeinem Niveau dargestellt werden. Ein berühmtes Beispiel ist die „Ableitung“ der Gestalt des DNA-Moleküls unmittelbar aus vorgegebenen Knoten (tatsächlich der Quantengravitation), ohne einen Umweg über die Chemie oder Biologie nehmen zu müssen. Der Begriff der topologischen Information gewinnt hierbei an zentraler Bedeutung. Einen vergleichbaren Ansatz, allerdings eher aus logischer Perspektive, hat für die Chemie speziell Walter Fontana (1992) vorgelegt, der seinerzeit noch dem Santa-Fe-Institut angehörte.

3. Ausblick

In der Knotentheorie, wie sie Louis Kauffman wesentlich präsentiert, gelingt die Darstellung jenes philosophisch relevanten Zusammenhanges, der auf eine Verbindung von Ontologie und Epistemologie im Sinne von (Sandkühler, 1990) abhebt. Denn dessen Grundidee besteht ja darin, die Seinsweise des Menschen (ontologisch) mit dem permanenten Prozess der Erkenntnisgewinnung bzw. Reflexion (epistemologisch) gleichzusetzen. Wegen der intrinsischen Selbstreferenz der in der Knotentheorie verwendeten Methodik kann dieser Aspekt auf erhellende Weise verdeutlicht werden, denn formal spiegelt sich diese Selbstreferenz in der Rekursion wider: Louis Kauffman und Ranulph Glanville haben, dabei auf Vorarbeiten von Heinz von Foerster referierend, die Begriffe von Selbstreferenz und Rekursion im Zuge der Einsichtnahme von *Eigenformen* zusammengeführt. Die wesentliche Erkenntnis besteht dabei in der Formulierung eines Fixpunkt-Satzes, der bei jeder Art von Beobachtung einfach durch die immanente Objektdefinition seine Gültigkeit bewahrt: „Jede Rekursion besitzt einen Fixpunkt.“ Werde eine solche Rekursion durch $X' = F(X)$ dargestellt, dann folgt daraus für eine Sequenz

$$J = F(F(\dots)) \Rightarrow F(J) = F(F(F(\dots))) = J$$

(vgl. Kauffman und Varela 1980).

Die onto-epistemologische Signifikanz der *Topos-Theorie* besteht nun gerade darin, durch die Eigenschaften der Topoi die hier geschilderten Zusammenhänge auf einen formalen Kern zu bringen, der eine Fülle von Anwendungsmöglichkeiten eröffnet und Gegenstand andauernder Forschungsarbeiten ist (siehe z. B. Johnstone, 2002/2003). Die Hauptsache dabei ist, dass Topoi auf fünf verschiedene Weisen aufgefasst werden können, die somit struktural vereinheitlicht werden, denn es gibt *Topoi als Kategorien*, *Topoi als 2-Kategorien*, *Topoi als Räume*, *Topoi als Theorien*, *Topoi als mathematische Universen*. Insbesondere die hier kursivierten Begriffe verweisen auf die im Vorliegenden vorgestellte Perspektive (siehe auch Zimmermann und Wiedemann, 2012).

Es ist gerade dieser umfassende Gesamtzusammenhang (H. H. Holz), der nicht nur eine allgemein philosophische Vorgehensweise der Reflexion ermöglicht, sondern zugleich die ethische Relevanz der Grundlagen und der Grundbegriffe hervorzuheben imstande ist: Wenn wir die oben erwähnte ontologische Differenz berücksichtigen, kann es nicht verwunderlich sein, dass das methodische Ausgreifen auf die Umwelt menschliche Agenten dazu befähigt, im Rahmen der ihnen vorgegebenen kognitiven Kapazität die Welt so abzubilden, dass sie der technischen Anwendung zugänglich wird – ohne, dass dabei zugleich über metaphysische Wahrheit verhandelt werden muss. Andererseits verweist die Diskrepanz, welche durch die ontologische Differenz aufgefaltet wird, auf einen Verhaltensspielraum, der im Abgleich von Möglichkeit und Wirklichkeit einen neuen Begriff von Angemessenheit zu definieren geeignet ist, von dem aus jede Ethik ihren Ausgang nimmt. Anders gesagt: Es ist von vornherein die explizite Wahl der Grundlagen, welche das Gelingen einer künftigen Ethik in Aussicht stellt, die freilich auch scheitern kann.

Literatur

- Baez, John C.; Christensen, Dan (2000): Spin foams and gauge theories. <http://jdc.math.uwo.ca/spin-foams/baez-mail>.
- Díaz Nafría, José; Zimmermann, Rainer E.: Emergence and Evolution of Meaning: The General Definition of Information (GDI) Revisiting Program - Part 2: The Regressive Perspective: Bottom-up. *Information* 4(2): 240-261 (2013).
- Duncan, Todd I.; Semura, Jack S. (2004): The Deep Physics Behind the Second Law: Information and Energy as Independent Forms of Bookkeeping. *Entropy* 6, 21-29.
- Fontana, Walter (1992): Algorithmic Chemistry. In: C. G. Langton (ed.), *Artificial Life II*, Addison-Wesley, Reading (PA), 159-210.
- Johnstone, Peter T. (2002/2003): *Sketches of an Elephant: A Topos Theory Compendium*. 2 vols. Oxford Science Publications.
- Kauffman, Louis H. (1993): *Knots and Physics*. World Scientific. Singapore etc. Sowie:
- Kauffman, Louis H. (1995): Knot Logic. In: id. (ed.), *Knots and Applications*. World Scientific, Singapore etc., 1-110.
- Kauffman, Louis H. (1998): Spin Networks and Topology. In: S.A.Huggett et al. (eds.), *The Geometric Universe, Science, Geometry, and the Work of Roger Penrose*. Oxford University Press, 277-289.
- Kauffman, Louis H.; Francisco J. Varela (1980): Form dynamics. *J. Soc. Biol. Struct.* 3, 171-206.
- Kauffman, Stuart (2000): *Investigations*. Oxford University Press.
- Leyton, Michael (2001): *A Generative Theory of Shape*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Penrose, Roger (1971): Angular Momentum: An Approach to Combinatorial Space-Time. In: Ted Bastin (ed.), *Quantum Theory and Beyond*. Cambridge University Press, 151-180.
- Reidemeister, Kurt (1932): *Knotentheorie*. Reprint Edition, Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 1974.
- Sandkuehler, Hans Jörg (1990): Onto-Epistemologie. In: id. (ed.), *Europäische Enzyklopaedie zu Philosophie und Wissenschaften, Meiner, Hamburg*, Vol. 3, 608-615.
- Zimmermann, Rainer E. (2007): Topological Aspects of Biosemiotics. (Contribution to: *Gathering in Biosemiotics* 6, July 2006, Salzburg) tripleC [Alte Folge], special issue, 5(2), 49-63.
- Zimmermann, Rainer E. (2014a): Aktuelle Implikationen der Naturphilosophien Schellings und Blochs. <http://leibnizsozietaet.de/wp-content/uploads/2014/03/zimmermann.pdf>
- Zimmermann, Rainer E. (2014b): H NEA ΠΟΛΥ. Neue Stadtbegriffe auf dem Weg in die Heimat. LIT, Berlin.

- Zimmermann, Rainer E. (2015): *Metaphysics of Emergence I, On the Foundations of Systems*, xenomoi, Berlin, 27.
- Zimmermann, Rainer E. (2017): *Onto-Epistemic Foundations of Matter and Information. Information Studies and the Quest for Transdisciplinarity*, World Scientific Series in Information Studies, Vol. 9, 191-214.
- Zimmermann, Rainer E.; José M. Díaz Nafría, José (2012): *Emergence and Evolution of Meaning: The General Definition of Information (GDI) Revisiting Program - Part I: The Progressive Perspective: Top-Down*. *Information* 3(3): 472-503.
- Zimmermann, Rainer E.; Wiedemann, Simon M. (2012): *Kreativität und Form (Glasperlenspiel)*, Berlin-Heidelberg, Springer-Verlag.

Adresse des Verfassers: Lehrgebiet UIG, FB 2 (Informatik), Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Wilhelminenhofstr. 75 A, 12459 Berlin / Clare Hall, UK – Cambridge,
rainer.zimmermann@hm.edu