

# **Irreduzible Parallelität - eine Begriffsgeschichte Sprachliche Ermittlungen im Reich des Komplexen**

**Joachim Paul**

**How to cite:**

Joachim Paul, Irreduzible Parallelität - eine Begriffsgeschichte,  
Sprachliche Ermittlungen im Reich des Komplexen  
eJournal: [www.vordenker.de](http://www.vordenker.de) Neuss, 30.03.2025, J. Paul (Ed.), ISSN 1619-9324  
URL: < [https://www.vordenker.de/jpaul/jp\\_Irreduzible\\_Parallelitaet.pdf](https://www.vordenker.de/jpaul/jp_Irreduzible_Parallelitaet.pdf) >

English version:

URL: < [https://www.vordenker.de/jpaul/jp\\_Irreducible\\_Parallelism.pdf](https://www.vordenker.de/jpaul/jp_Irreducible_Parallelism.pdf) >

Copyright Joachim Paul 2025  
*Citation is mandatory // vordenker.de*

# Irreduzible Parallelität - eine Begriffsgeschichte Sprachliche Ermittlungen im Reich des Komplexen

## - ein Debattenbeitrag zum Thema künstliche Intelligenz

**Joachim Paul**

Forschen, das heißt, regelmäßig Ausflüge an die Grenzen des eigenen Verstehens zu machen, alles andere ist Verwalten.

Ich fange mit einem Gedanken an und schaue, wohin es mich trägt.

### **Abstract**

Wie lässt sich der Begriff der Komplexität besser fassen? In diesem Essay gehe ich der Geschichte des Begriffs "irreduzible Parallelität" nach und versuche zu zeigen, dass er einem tieferen Verständnis komplexer Systeme dienen kann. Ausgehend von einer anekdotischen Kritik an der unpräzisen Verwendung des Begriffs der Komplexität sowie einer Diskussion der verbreiteten Anthropomorphisierungen insbesondere von KI-Systemen untersuche ich, wie sich parallelisierte, prinzipiell serielle algorithmische Prozesse künstlicher Intelligenz von der massiven Parallelität biologischer Prozesse unterscheiden. Dieses Vorgehen führt an die Wurzeln der Sequenzialität in Sprache, Philosophie und Mathematik und reißt alternative logische und mathematische Ansätze an, die nicht auf einem Konzept der Linearität beruhen. Dabei werden Begriffe wie Selbstreferenzialität, Selbstorganisation und Ultrametrisität erörtert, um Grenzen und Möglichkeiten der Berechenbarkeit und Formalisierung von Beschreibungen lebender Systeme aufzuzeigen. Abschließend werden einige Definitionen vorgeschlagen.

**Keywords:** Algorithmus, Autopoiesis, Berechenbarkeit, Formalisierung, Künstliche Intelligenz, Kybernetik, Neuronale Netzwerke, Proemialrelation, Selbstorganisation, Selbstreferenzialität, Turing-Maschine.

### **Einleitung über einen Widerspruch**

Auf einer Tagung des Bundes deutscher Architektinnen und Architekten, BDA, 2016, bemerkte Doris Thut mit Bezug auf ihre Berufsgruppe, dass "*Architekten [...] keine theoretisch exakt denkenden Menschen sind, nicht exakt denken.*" Von daher, so die Vortragende, schlichen sich immer Begriffe ein, die "*eigentlich ungeklärt*" seien, "*zum Beispiel der Begriff Komplexität, das wird heute eigentlich für alles verwendet, das ein bisschen schwierig ist ...*". Die zahlreichen Lacher im Publikum schienen sie zu bestätigen.<sup>[1]</sup>

Das nicht exakte Denken betrifft in gewisser Weise uns alle, es ist gelebte Praxis und kann als Element unserer Alltagskommunikation gelten. Es kann jedoch auch sein, dass in dieser Nicht-Exaktheit ein exakt bestimmbarer Zweck steckt, und zwar als denkerische, sprachlich tastende Suchbewegung im Randbereich des Verstandenen und auf dem Weg zu neuen intellektuellen Problemlösungen. (Die Verwendung von Begriffen wie *Randbereich* setzt selbstverständlich eine Raumvorstellung voraus.)

Gleichwohl ist, wie von Doris Thut explizit geäußert, in fachlichen Bezügen eine Forderung nach Präzisierung bestimmter Begriffe gerechtfertigt und sogar notwendig, um unsere Erkenntnis sowie unsere wissenschaftliche Erkenntnisfähigkeit zu erweitern. Möglicherweise zeigt sich gerade hier die von Julian Jaynes unterstellte Eigenschaft der Sprache als Wahrnehmungsorgan.[<sup>2</sup>]

Was ein paar kontextbezogene Spezialanwendungen des Begriffs Komplexität angeht, z.B. in der Komplexitätstheorie als Teilgebiet von Mathematik und Informatik, ist diese Präzisierung bereits geleistet. Ein konkretes Beispiel, ein Spezialfall, ist der Begriff der Kolmogorov-Komplexität. Zur recht weit verbreiteten synonymen Verwendung der Attribute "komplex" und "besonders kompliziert", wie von Thut angedeutet, steht eine Präzisierung jedoch noch aus.

In der Wikipedia ist der Begriff "Komplexität", abgeleitet vom Lateinischen "complexum", Partizip Perfekt Passiv von complecti "umschlingen", "umfassen" oder "zusammenfassen" und unter Rückgriff auf Duden Online 2016 umschrieben als *"eine große Anzahl und Unterschiedlichkeit von Elementen, die untereinander in vielfältigen Wechselbeziehungen, Strukturen und Prozessen in einem Gesamtzusammenhang stehen"*. [<sup>3</sup>]

Es lässt sich also sagen, dass Komplexität in dieser Verwendung einen Container mit Black Box-Charakter bezeichnet. Weitere Eigenschaften jenseits der *"vielfältigen Wechselbeziehungen [...] in einem Gesamtzusammenhang"* sind weder gegeben noch ableitbar.

In der aktuellen, in den Medien von Fachmagazinen bis in die Feuilletons und den Boulevard-Bereich hinein geradezu massiv geführten Debatte um "Künstliche Intelligenz" ist auffallend häufig von Komplexität die Rede und noch häufiger wird das Attribut "komplex" verwendet. KI-Systeme, so wird gesagt, basieren auf *"komplexen Algorithmen und neuronalen Netzen"* [<sup>4</sup>], wobei die Art und Weise, wie diese KI-Systeme zu ihren Ergebnissen, häufig *"Entscheidungen"* genannt, gelangen, oft schwer nachvollziehbar sei.

Das kann als ein wesentlicher Grund für die Zuschreibung *komplex* für KI-Systeme gelten. Schwer nachvollziehbar ist nahezu gleichbedeutend mit undurchsichtig, intransparent, folglich passt das zum zuvor genannten Begriff der Black Box.

Im Gegensatz dazu wissen wir aber, dass ein Algorithmus bestimmte Eigenschaften hat. Er besteht aus einer seriellen Liste von Anweisungen und ist grundsätzlich abbildbar auf eine universelle Turing-Maschine (UTM). Im Prinzip kann der Begriff Algorithmus in ganz allgemeiner Bedeutung als synonym zum Begriff der Turing-Maschine gelten. Weiterführende theoretische Konzepte wie das der sogenannten nicht-deterministischen Turing-Maschine sind hier ausdrücklich nicht gemeint.

Die künstliche neuronale Netze (artificial neural networks, ANNs) genannten konnektionistischen Modelle sind als Algorithmen auf einem Computer simulierbar und damit Turing-berechenbar. Diese Algorithmen können aufgrund der zahlreichen, jeweils voneinander unabhängigen Matrizenoperationen in Teilstränge zerlegt werden, die auf entsprechende Hardware verteilt, Prozessor-netzwerke oder GPUs (graphics processing units), zeitlich parallel ablaufen können. Das ändert jedoch nichts an ihrem ganz prinzipiell seriellen Charakter.

*"Komplexe Vernetzung"* hingegen, so Jörg Rainer Nönnig in seiner Dissertation *"Architektur - Sprache - Komplexität"* [<sup>5</sup>], *"erhöht Synchronizität und führt damit zur stetigen Aufweichung der Ursache-Wirkungsketten; die Verknüpfungen der Ereignisse lassen sich immer weniger klar*

konstruieren. Was im naturwissenschaftlichen Prinzip des Kausalnexus übersichtlich "aufgefädelt" werden konnte", hier schiebt Nönnig ein Zitat aus dem Eintrag zum Begriff Kausalität eines bekannten Philosophielexikons ein, "Ursache und Wirkung bilden eine aus der Vergangenheit kommende, durch die Gegenwart hindurchlaufende und in der Zukunft verschwindende Kette" [6] werde "nun auf punkthafte Singularitäten verdichtet."

Dieser Absatz Nönnigs verdient eine separate kritische Erörterung, die an den Begriffen "erhöhte Synchronizität" und "stetige Aufweichung der Ursache-Wirkungsketten" festgemacht werden kann. Hier sei nur vermerkt, dass mit der o.g. "immer weniger klar"-en Konstruierbarkeit implizit darauf hingewiesen ist, dass es um ein Problem der (formalen) Beschreibung eines Systems geht und nicht um den Sachverhalt selbst. Schon die Verwendung des Begriffs System weist auf den Aspekt der Konstruktion hin, Altgr. σύν histánai = zusammen (hin)stellen, aufstellen.[7] Ein System ist also etwas Zusammengeselltes und damit ein Begriff, der - als Begriff - den Prozess des Beschreibens mit enthält.

Im Prinzip ist hier schon gesagt, dass Komplexität als Eigenschaft eines Systems algorithmisch nicht fassbar ist, denn dass setzt eine vollständig serielle Beschreibbarkeit des zu beschreibenden - und algorithmisch zu simulierenden - Systems voraus.

Daraus folgt aber im Umkehrschluss, dass KI-Systeme wie künstliche neuronale Netzwerke, die - in Software umgesetzt - auf Computern seriell ablaufen, niemals die Zuschreibung *komplex* verdienen. Das gilt auch für die Parallelisierung dieser Algorithmen für entsprechende Hardware wie Mehrprozessorsysteme oder Netzwerke aus GPUs.

### **Zur Entwicklung der Metaphern Gehirn - Computer, Computer - Gehirn**

Daran ändern auch die Aufsätze und Forschungsberichte von David Rumelhart, James McClelland, Geoffrey Hinton und der PDP Research Group nichts, die 1986 erschienen unter dem Titel "*Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition*".[8] Das seinerzeit begeistert aufgenommene 2-bändige Werk fasste neben vielen anderen Überlegungen und Fragen zum Thema die bis dato realisierbaren Parallelisierungen algorithmischer Verfahren zur Daten- und Signalverarbeitungen gut zusammen und avancierte schnell zu einer Hauptreferenz der Vertreter konnektionistischer Ansätze.[9]

Des Weiteren hebt Donald A. Norman in seinem Fazit am Ende des zweiten Bandes hervor, dass ein Wandel in der interdisziplinären Zusammenarbeit stattgefunden habe und es nun ernsthafte Forschungsk Kooperationen über viele Disziplingrenzen hinweg gebe.[10] Das Resultat benennt er als "*a new form of model for understanding the mechanisms of human (and animal) information processing*"[11]. Ergänzend kritisiert er, dass Modelle der psychologischen Verarbeitung von unserem Verständnis des Computers inspiriert seien, diese Aussage sei jedoch schon immer falsch gewesen. Tatsächlich, so Norman, sei die sogenannte Von-Neumann-Architektur des modernen Digitalcomputers stark von der naiven Vorstellung der Menschen über die Funktionsweise des Geistes beeinflusst. Er betont, dass mit den vorliegenden neuen Modellen diese Diskussion endlich beiseite gelegt werden könne.[12]

Zur Einordnung in die Begriffsgeschichte sei in diesem Zusammenhang daran erinnert, dass in der IT-Frühzeit vom Ende der 40er-Jahre bis etwa zur Mitte der 60er die sogenannten Rechenmaschinen gern als "*Elektronengehirne*" bezeichnet wurden.[13] Metaphorator ist hier das bio-

logische (menschliche) Gehirn, Metaphorand die Rechenmaschine. Im Laufe der Zeit in nicht einmal 20 Jahren drehte sich die Metaphorisierungsrichtung um 180 Grad. Seit Mitte der 80er wird nicht selten vom Gehirn als einem biologischen Computer gesprochen.<sup>[14]</sup>

Das Neue sieht Norman in seinem Fazit wesentlich in der massiven Parallelität, die bedeutet, dass *"a sequence that requires millions of cycles in a conventional, serial computer can be done in a few cycles when the mechanism has hundreds of thousands of highly interconnected processors."* Weiter heißt es: *"These neurologically inspired computational processes pose new requirements on our understanding of computation, suggest novel theoretical explanations of psychological phenomena, and suggest powerful new architectures for the machines of the future."*<sup>[15]</sup>

Dieser Satz ist hier in voller Länge wiedergegeben, um zu zeigen, dass die soeben erst ad acta gelegte Computer-Gehirn-Metapher sogleich durch die Hintertür wieder hereinkommt in Form von *"neurologically inspired computational processes"*. Diese Hintertür liegt im leider nicht weiter ausdifferenzierten Begriff der Parallelität.

Sicher ist es daher neben anderem <sup>[16]</sup> auch diesem Werk anzulasten, dass in den meisten populärwissenschaftlichen Publikationen und in Folge dazu in vielen Feuilleton-Beiträgen zum Thema der Künstlichen Intelligenz deskriptiv, erklärend und argumentativ nach wie vor mit einer - gleichwohl groben - Analogie Computer - Gehirn gearbeitet wird. Dies begünstigt jedoch das Entstehen von Anthropomorphismen, die nicht selten als Treibriemen oder Hintergrundfolie für allerlei Projektionen dienen, die weitere Erkenntnisprozesse verschleiern oder verzerren können. Wenn sich andererseits Metaphern als sprachliche Tastwerkzeuge für Versuche zur Erweiterung des menschlichen Verständnisses von Sachverhalten begreifen lassen, dann haben natürlich auch Missgriffe, Fehlinterpretationen usw. ihre Daseinsberechtigung, und zwar als Chancen für Lernprozesse. Lernen bedeutet aber, dass selbst Metaphern, die auf den ersten und zweiten Blick scheinbar gut funktionieren, hinterfragt werden können und müssen.

Wir Menschen lernen unter anderem über die technische Konstruktion. Der Philosoph Gotthard Günther schrieb dazu: *"Wenn der Mensch sich selbst – und um damit irgendwo einen Anfang zu machen – seinen Körper als freibewegliche Existenz innerhalb der Umwelt verstehen will, bleibt ihm nichts anderes übrig, als diesen Körper als Maschine zu wiederholen. Wir wissen zwar auch ohne Technik, dass wir laufen, aber wie wir laufen, verstehen wir erst dann adäquat, wenn uns der Mechanismus von Gelenk und Hebel kein Geheimnis mehr vorenthält."*<sup>[17]</sup> Und Geoffrey Hinton, Nobelpreisträger für Physik 2024, Mitentwickler der Konzepte der Boltzmann-, der Helmholtz-Maschine und des Backpropagation-Algorithmus, bestätigt genau das, wenn er sagt: *"My feeling is, if you want to understand a really complicated device like a brain you should build one."*<sup>[18]</sup> Nebenbei bemerkenswert ist, dass Hinton vom Gehirn als einem *"complicated device"* spricht und nicht von einem complex device.

### **Paralleles und Synchrones in den Netzen**

Es ist nun nachvollziehbar, wenn wir mit der explizit erklärten Absicht antreten, unser Zentralnervensystem - wenn auch zunächst nur in Teilen oder in einzelnen Funktionen - technisch nachzubauen und auch, dass wir dabei mit Gehirn-Computer- und Computer-Gehirn-Analogien arbeiten. In diesem Zusammenhang ist einer der Metaphoratoren die von Norman hervorgehobene massive Parallelität der Neuronenaktivitäten in biologischen Systemen bei gleichzeitig sehr

niedrigen Taktraten. Man nimmt hier wieder eine Eigenschaft aus der Biologie als Vorbild. Die maximale Feuerfrequenz eines menschlichen Neurons liegt bei etwa 300 Hz. Demgegenüber arbeiten Mikroprozessoren und GPUs mittlerweile im GHz-Bereich. Hierbei sind die parallel arbeitenden Prozessorkerne oder die Grafikprozessoren synchronisiert über einen zentralen Taktgeber (clock generator). Einen solchen sucht man allerdings in biologischen Systemen vergeblich. Gleichwohl gibt es ganze Gruppen von sogenannten "*fast-spiking interneurons*", die im Verdacht stehen, Synchronisationsaufgaben zu übernehmen.<sup>[19]</sup> Aber allein diese Tatsache ist ein hinreichender Hinweis darauf, dass die parallele Prozessualität der computersimulierten auf der einen und der biologischen Neuronennetze auf der anderen Seite gänzlich andere Eigenschaften haben muss.

Und zwar handelt es sich bei der An-, bzw. Abwesenheit eines zentralen Taktgebers um einen qualitativen Unterschied zwischen Biologischem und Technischem. Darauf wird zurückzukommen sein. Weitere qualitativ zu nennende Unterschiede liegen in den Strukturen. Computersimulierte neuronale Netzwerke haben eine vergleichsweise einfache Struktur. Man denkt sich die einzelnen Neuronen (Knoten) in aufeinander-folgenden Ebenen oder Räumen (2d und 3d-Struktur) angeordnet. Der Signalfluss z.B. für ein Netz, das graphische Muster oder Bilder erkennen soll, läuft von einer Eingabeebene (input layer) über eine oder mehrere dazwischen liegende verborgene Ebenen (hidden layers) zur Ausgangsebene. Gibt es im Modell mehrere hidden layers, spricht man von deep learning.<sup>[20,21]</sup> Synaptische Verbindungen (Gewichte) zwischen den Neuronen (Knoten) gibt es in der Regel nur zwischen Neuronen verschiedener Ebenen. Jüngste hochauflösende bildgebende Verfahren, durchgeführt an einem Kubikmillimeter Hirngewebe aus dem menschlichen Neocortex, förderten zutage, dass die Strukturen dort ungleich viel komplizierter - um nicht zu sagen komplexer - sind.<sup>[22]</sup>

Bei der aktuell populärsten Variante künstlicher neuronaler Netzwerke werden während des Trainingsvorgangs die synaptischen Gewichte ausgehend vom Output rückwärts durch das Netz - daher rührt der Name des Verfahrens, Backpropagation - korrigiert, bis der gewünschte Output des Netzes erreicht ist, bzw. das Netz die gewünschte Klassifikation z.B. eines Bildes produziert. Man nennt dieses Verfahren des Abgleichs des tatsächlichen Outputs mit dem gewünschten auch *supervised learning*. Die Modellarchitektur des Simulats, des neuronalen Netzes kann noch als ungefähr angelehnt an die biologische Struktur des sog. rezeptiven Feldes verstanden werden <sup>[23]</sup>, bei dem die Signale von ca. 120 Mio Stäbchen und 6 Mio Zapfen zu etwa einer Million Ganglienzellen laufen.

Die Methode der Backpropagation <sup>[24]</sup> genannten Rückwärtskorrektur der synaptischen Gewichte durch das Netz hat jedoch keinerlei physiologisches Vorbild. In biologischen Nervensystemen laufen die Signale grundsätzlich nur in eine Richtung, von einem Neuron über sein Axon über eine oder mehrere synaptische Kopplungen zu den Dendritenbäumen weiterer Neuronen. Die elektrochemischen Leitungseigenschaften einer Synapse sind daher grob vergleichbar mit einem Gleichrichter. Biologische Neuronennetze sind folglich reine Feed Forward-Netze. Auch hier ist der Schluss zu ziehen, dass die Parallelität in biologischen neuronalen Netzen eine ganz andere sein muss als in computersimulierten neuronalen Netzen, die sich alle auf serielle Algorithmen reduzieren lassen.

Abschließend ist der Vollständigkeit halber noch ein weiterer ganz prinzipieller Unterschied zu nennen, der nur indirekt mit Parallelität zu tun hat. Er betrifft die Anzahl der möglichen internen Zustände des technischen neuronalen Netzwerks einerseits und des biologischen andererseits. Ein künstliches neuronales Netz hat nicht zuletzt aufgrund seiner Beschaffenheit als digitales System eine endliche Anzahl von internen Zuständen. Das sind allerdings sehr viele, GPT4 von OpenAI soll ca. eine Billion Parameter enthalten, jeder davon ausgedrückt durch eine digitale Fließkommazahl, die letztlich aus einer endlichen Anzahl Bits besteht. Gegenüber einem natürlichen - analogen - Neuron stellt ein digitales Modellneuron eine nicht unerhebliche Reduktion dar. Für Netzwerke gilt das entsprechend. Auf der technischen Seite haben wir es also grundsätzlich mit einem endlichen Automaten, einer finite state machine zu tun.<sup>[25]</sup> Für die Biologie gilt das mit Sicherheit nicht.

### **Das Beschreibungsproblem paralleler Prozesse in der Biologie**

Was wir mit einiger Sicherheit sagen können ist, dass Lebewesen im weitesten Sinne Leistungen des Erkennens vollbringen, dass sie Kognitionen <sup>[26]</sup> haben. Dies umfasst nicht nur die Sinnesleistungen und denen folgende Prozesse, sondern auch Teilsysteme wie z.B. das Immunsystem, das zwischen Selbst, Fremd, usw. unterscheiden können muss.

Und ein Blick in die Biologie und Biochemie des Lebens, bzw. konkret in die interne Organisation eines Neurons, bzw. einer einzelnen lebenden Zelle, zeigt, dass dieser Unterschied in der Parallelität der Prozesse noch weitaus tiefer reicht. Er ist fundamental und betrifft das "Betriebssystem" einer jeden lebenden Zelle, um hier bewusst eine falsche Metapher zu bemühen. Falsch deshalb, weil "Betriebssystem" im Kontext Computer lediglich ein Stück Software ist. In der lebenden Zelle hingegen ist die Operationalität untrennbar in biologischer Materie gefasst, die Operationalität ist die biologische Materie.

Um diesen Unterschied der Parallelitäten zu verdeutlichen, in Diskursen diskutabel zu machen, konkretisierte sich bei mir 2014 ein stark vereinfachtes Beispiel für das Beschreibungsproblem der Zusammenhänge in der Biochemie der Lebensprozesse, das ich in einem Essay zur Transhumanismuskritik knapp festhielt: *"Die Erbsubstanz DNA dient der Information für die Synthese von Proteinen aus den Aminosäuren. Es lässt sich also sagen, dass die DNA einen Operator repräsentiert, der auf die Aminosäuren als Operanden prozesshaft einwirkt, so dass am Ende der Kette Eiweiße herauskommen. Umgekehrt wissen wir aber um die Möglichkeit der Reparatur des Genoms, etwa bei Schädigungen. Der Mechanismus des Gene-repair seinerseits besteht aus einem Einwirken von Proteinen auf die DNA-Sequenzen. Das Operator-Operanden-Verhältnis ist hier genau umgedreht. Es gibt nun kein formal widerspruchsfreies Operator-Operanden-Modell, das diese Vertauschung erlaubt bzw. das den Gesamtzusammenhang zwischen Genom und Proteinen umfassend beschreiben kann."*<sup>[27]</sup>

Und diese Operatoren-Operanden-Verhältnisse "passieren" in der Regel zugleich, je nachdem, von wo aus man das Prozesskonglomerat betrachtet. Durch die durch den Formalismus vorgegebene *"basale Trennung zwischen Signifikant und Signifikat, zwischen Designierendem und Designat, Operator und Operand, ist eine grundlegende hierarchische Struktur vorgegeben, die eine irreduzible Darstellung von Simultaneität und Parallelität ganz prinzipiell verunmöglicht und in die hierarchische Struktur der Sequenz, des Vorher und Nachher, der Linearität, der Linie zwingt."*<sup>[28]</sup>

Auf dem Jahreskongress 2014 (31c3) des Chaos Computer Clubs in Hamburg hielt der Kognitionswissenschaftler und Philosoph Joscha Bach einen Vortrag mit dem provozierenden Titel "*From Computation to Consciousness*"<sup>[29]</sup>, den ich besuchte. Denn Consciousness, also Bewusstsein, ist noch einmal etwas anderes als Kognition, obwohl beide Begriffe als miteinander assoziiert verstanden werden können. Wie auch immer man Bewusstsein be- oder umschreiben will, ein Faktum dürfte allgemein akzeptiert sein, ein Lebewesen, ein lebendes System, dem Bewusstsein zugesprochen werden kann, benötigt kognitive Fähigkeiten, also Kognition. Umgekehrt muss ein kognitives System nicht notwendigerweise zu Bewusstsein fähig sein. Die Befähigung zu Kognition wäre also Grundelement oder notwendige Voraussetzung für Bewusstsein. Aber hier suggerierte der Titel, dass es einen Weg gebe, über Berechnungen zu Bewusstsein zu gelangen.

Zum Ende des sehr humorvoll und eloquent präsentierten Beitrags gab es eine Fragerunde. Es entspann sich ein kleiner Dialog <sup>[30]</sup>, nachdem ich das o.g. Beispiel knapp schilderte, dabei auf die Verletzung der Russellschen Typenlehre durch die Operator-Operanden-Vertauschung hinwies und mit der Frage schloss, ob er glaube, dass unser derzeit verfügbares formales Konzept von Mathematik und Logik ausreiche, um zu einer wirklich konstruierten künstlichen Intelligenz zu gelangen. Bach entgegnete, dass Mathematik eine Art Sprache sei, in der man Aussagen wie die Russellsche Antinomie produzieren könne, diese Aussagen müssten aber nicht unbedingt sinnvoll sein. Er schloss mit "*Computation is basically those part of mathematics that runs*" und erntete dafür einige Lacher. Dann plädierte er für eine neue Art von Philosophie als Teilgebiet der analytischen Philosophie, "*that is computational, that relies on theories that actually run.*"<sup>[31]</sup>

Als ich auf die durch die Operatoren-Operanden-Vertauschung gebrochene Hierarchie verwies, brachte er den von den chilenischen Neurobiologen Humberto Maturana und Francisco Varela geprägten Begriff der Autopoiese <sup>[32]</sup> ins Spiel und kritisierte ihn als nicht tragfähig. Ich verwies darauf, dass Autopoiese ein vornehmlich narratives Konzept ohne einen formalen Anspruch sei, mein hauptsächlichs Interesse aber formalisierbaren Möglichkeiten gelte. Er schloss mit der Bemerkung, dass er sich nicht sicher sei, ob wir völlig neue Paradigmen brauchen. Das muss nebenbei bemerkt ein Missverständnis gewesen sein, von völlig Neuem sollte meines Erachtens gar nicht die Rede sein, eher von einer Erweiterung des Bestehenden. Denn den bestehenden Formalismen kann man ihre Erfolge ja nicht einfach absprechen.

Obwohl Bach diese Frage nach neuen Paradigmen vorsichtig offen ließ, beschlich mich der Eindruck, als ob eine Art Verdrängung am Werk sei oder es ein unausgesprochenes Frageverbot gebe dahingehend, dass außerhalb der Turing-Berechenbarkeit nichts weiter existieren könne, oder dass Turing-Berechenbarkeit die letztmögliche Grenze aller Formalisierung darstellt. Er insitierte ja auch darauf, sich auf funktionierende Konzepte zu konzentrieren, als könne nur das real sein, was wir aktuell rechnen können. Neben Bach gibt es eine ganze Reihe KI-Vertreter und noch mehr populärwissenschaftliche Autoren, die der Ansicht sind, dass die aktuelle Computer-Metapher für das Gehirn treffend ist.

Dabei sind wie gezeigt die qualitativen Unterschiede in Struktur und Parallelität zwischen Computersimulationen und lebenden Systemen offensichtlich. Aber lebende Systeme "funktionieren". Meine Enttäuschung brachte ich gegenüber Rudolf Kaehr zum Ausdruck und schilderte ihm mein Beispiel der Beziehungen zwischen Genom und Proteom einer lebenden Zelle sowie den

Dialog mit Joscha Bach. Er reagierte mit Erstaunen auf mein Beispiel, befand es für gut, gerade als Argument in Diskussionen, und riet mir, an dem Thema "dranzubleiben".<sup>[33]</sup>

### **Weiterentwicklung des Beispiels**

Das konkrete Beispiel kann ich allerdings heute allein in dieser Form nicht mehr aufrecht erhalten. Es bedarf mindestens einer Ergänzung. Zunächst muss ich nachreichen, dass die Art der Schilderung der Wechselwirkungen zwischen Genom und Proteom einem strukturellen Vorbild folgt. Es handelt sich dabei um einen konstituierenden Satz aus der Kybernetik 2. Ordnung, die nach seinem Urheber als Heinz von Foersters erste Proposition bekannt ist: "*Der Sinn (oder die Bedeutung) der Signale des Sensoriums wird durch das Motorium bestimmt, und der Sinn (oder die Bedeutung) der Signale des Motoriums wird durch das Sensorium bestimmt.*"<sup>[34]</sup> Die unterstellten zirkulären Operatoren-Operanden-Beziehungen zwischen Genom und Proteom entsprechen hier den von von Foerster unterstellten Beziehungen zwischen Sensorium und Motorium eines lebenden Systems. Im ersten Fall geht es um den Selbsterhalt des Systems, im zweiten um die Wechselwirkungen des Systems mit seiner Außenwelt.

Stark vereinfacht lässt sich natürlich sagen, dass das Genom das Proteom bestimmt und umgekehrt das Proteom das Genom erhält. Vom Standpunkt der Aktivität einer Zelle aus betrachtet sind es jedoch lediglich - so drücken es Maturana und Varela aus - "*strukturelle und enzymatische Proteine, die spezifisch an der Produktion von Proteinen, Nukleinsäuren, Lipiden, Gluciden und allen Metaboliten beteiligt sind*"<sup>[35]</sup> und damit die Zelle mit Mitteln aus der Außenwelt permanent reproduzieren. Das Genom fungiert in dieser Darstellung wesentlich als Speichermedium für Aminosäuresequenzen, also für Proteine.

Der britische Physiologe und Pionier der Systembiologie Denis Noble interpretiert das Genom als eine Ansammlung von Schaltern mit Codes für Aminosäuresequenzen zur Produktion bestimmter Proteine und ausdrücklich nicht als eine Art Programm. "*What you've got is a series of switches, because it is true that each sequence that can be used to make an RNA a protein has a place where it can be switched on or off, sure. But that's the switch, it's not the if-then-logic, the logic is not there.*"<sup>[36]</sup> Noble wendet sich damit klar gegen die Computermetapher in der Genetik und damit auch gegen den genetischen Determinismus. Diese relativ junge Auffassung ist zudem eine harsche Kritik am Neodarwinismus, dessen Vertreter das Genom in das Zentrum der Betrachtung stellten.<sup>[37]</sup>

### **Zwei Werke, zwei Kontakte**

Ende 2023 empfahl mir Ulrich Kramer (ehemals Autolab, FH Bielefeld) anlässlich eines meiner Blogbeiträge das Werk von Jobst Landgrebe und Barry Smith, "*Why Machines Will Never Rule the World - Artificial Intelligence without Fear*"<sup>[38]</sup> und stellte auf meinen Wunsch Kontakt zum Autor Jobst Landgrebe her. Die Autoren beziehen einen klaren Standpunkt. Es wird die These aufgestellt, dass eine künstliche Intelligenz, die der menschlichen Intelligenz ebenbürtig oder überlegen sein soll, üblicherweise als künstliche allgemeine Intelligenz, bzw. artificial general intelligence (AGI) bezeichnet, unmöglich ist, und zwar aus logisch-mathematischen Gründen. Für diese Behauptung werden zwei wesentliche Gründe angeführt:

"1. *Human intelligence is a capability of a complex dynamic system - the human brain and central nervous system.*" und "2. *Systems of this sort cannot be modelled mathematically in a way that allows them to operate inside a computer.*"<sup>[39]</sup>

Man könnte aufgrund des ersten Satzes und dessen Fokus auf dem Zentralnervensystem auf die Idee kommen, das Autorenpaar vertrete eine cerebrozentristische Sichtweise, die indirekt die Computermetapher unterstützt. Sie wenden sich jedoch klar gegen die neocartesianische Position und sprechen durchgehend vom "*mind-body continuum*".<sup>[40]</sup> Das weist die Autoren als Monisten und entschiedene Kritiker transhumanistischen Gedankenguts wie z.B. dem des Uploadings aus.<sup>[41]</sup> Die beiden Autoren liefern eine logisch-mathematisch begründete präzise Sammlung dessen, was als berechenbar gelten kann und was eben nicht. Dazu referenzieren sie wiederholt auf Alonzo Church und Alan Turing: "*That both symbolic and perceptron (neural network) logic are Turing-computable has been known to mathematicians and computer scientists since the 1950s, and this makes the whole debate look naïve at best.*"<sup>[42]</sup> Selbst dem Mythos des Hypercomputing widmen sie ein kurzes Kapitel und berufen sich dabei auf die kritischen Arbeiten des Logikers Martin Davis.<sup>[43, 44]</sup>

Jonathan Harth nahm Ende 2023 Kontakt zu mir auf, er und Werner Vogd hatten unlängst ein größeres Werk veröffentlicht mit dem Titel "*Das Bewusstsein der Maschinen – die Mechanik des Bewusstseins - Mit Gotthard Günther über die Zukunft menschlicher und künstlicher Intelligenz nachdenken*"<sup>[45]</sup>. Im April 2024 kam es dann zu einem Treffen. Sie referenzieren zwar ebenso auf Alan Turing und sehen eines seiner Vermächnisse darin, "*gezeigt zu haben, dass kognitive Prozesse so zu modellieren sind, dass die uns vertraute syntaktische Ebene von Symbolen verlassen wird, und es für die Problemlösung hinreicht, wenn Computer mathematisch-logischen Regeln folgend Einsen und Nullen verarbeiten.*"<sup>[46]</sup> Aber unter Berücksichtigung von Gotthard Günthers Sicht auf die Welt als Netz verteilter Subjektivitäten gehen Vogd und Harth vorwiegend von philosophischen und soziologischen Gesichtspunkten aus. Sie gelangen dabei zu Interpretationen, die in ihrer Essenz durchaus zur Deckung zu bringen sind mit den Schlussfolgerungen von Landgrebe und Smith. So schreiben Sie gleich in der Einleitung: "*Eine künstliche Intelligenz [...] wird niemals ein objektives Bild der Zusammenhänge der Welt zeichnen können. All die künstlichen Intelligenzen, die in Zukunft mehr und mehr an unserem sozialen und gesellschaftlichen Leben teilnehmen werden, können nicht anders, als die Feinkörnigkeit der Welt zu ignorieren, und werden damit in gewisser Weise subjektiv sein. Sie werden nicht zu einer objektiven Aneignung von Welt führen, sondern vielmehr unsere Welt durch ihre Eigensinnigkeiten anreichern.*"<sup>[47]</sup>

Natürlich ließe sich hier ebenfalls ein auf Turing-Maschine und Berechenbarkeit zurückgreifender Begründungsansatz finden. Aber über die Formulierung "*in gewisser Weise subjektiv*" bringen die Autoren implizit zum Ausdruck, dass die den ChatBots zugrunde liegenden großen Sprachmodelle, die *large language models* (LLMs), von menschlichen Individuen als Kommunikationspartner wahrgenommen und genutzt werden, ein sprachlicher Tribut an eine häufige Praxis des menschlichen Umgangs mit diesen Systemen. In diesem Zusammenhang ist der Term "subjektiv" relational und nicht ontologisch zu verstehen. Er ist - als reiner Relationsbegriff - sicher vertretbar, wenn er auf die Wahrnehmung der Maschine durch das menschliche Gegenüber bezogen wird.

Mittlerweile ist das eine gelebte aber auch kritikwürdige Tradition, die sich im Konzept des Turing-Tests niedergeschlagen hat. Der Philosoph Daniel Martin Feige bemerkt hierzu: Denn Alan Turing

*"hat die Frage, ob Maschinen denken können, durch die Frage ersetzt, ob wir den Unterschied zwischen den Textausgaben eines Menschen und einer Maschine erkennen können."*<sup>[48]</sup> Damit ist allerdings eine in formaler Exaktheit bislang unbeantwortete Frage - etwa, was ist Denken? - durch eine beantwortbare ersetzt. Eine Strategie, die auch im Reich der exakten Mathematik und Logik ihre Parallelen findet.

Letztlich führte - zumindest bislang - jede neue Technologie zu Lernprozessen und zum Aus- und/oder Umbau der Fähigkeiten von uns Menschen. Vogd und Harth setzen darauf, wenn sie schreiben: *"Mit der Zeit werden wir Menschen dabei mehr und mehr die Mechanismen unseres eigenen geistigen Prozesses durchschauen lernen. Wir werden sehen können, wie sprachfähige künstliche Intelligenz unser Denken entäußert, um auf diese Weise die Routinen und institutionalisierten Formen unserer Denkprozesse verstehen und aufbrechen zu können. Wir werden die prinzipiellen Grenzen der Berechenbarkeit (und damit des kausalen Denkens) wahrnehmen und verstehen lernen – etwa indem wir feststellen, dass selbst die Prognosen der elaboriertesten und schnellsten Elektronengehirne sich als falsch herausstellen können."*<sup>[49]</sup>

Darin steckt auch ein Moment der Ent-täuschung - hier mit Heideggers Ge-stell-Bindestrich -, der Erfahrung der Grenzen des Maschinellen. Bislang schauen wir freudig und/oder erschreckt auf die Outputs der großen Sprachmodelle, Bildgeneratoren und Musik-KIs. Es wird aber Zeit, sich jenseits unserer spontanen Verblüffung zu fragen, was die Outputs über die Muster in unseren Kulturgütern, in Text-, Bild- und Tonmedien aussagen, die zum Training der künstlichen neuronalen Netze verwendet wurden: *"Maschinelles Lernen beruht darauf, mittels multidimensional angelegter Vergleiche von Merkmalskombinationen statistische Korrelationen auszubilden, um hieraus Muster abzuleiten."*<sup>[50]</sup>

Vogd und Harth sehen in Gotthard Günthers Werk *Das Bewußtsein der Maschinen* auch *"eine subtile Kritik am technischen Machbarkeitswahn. Zwar werden die Menschen immer mehr in der Lage sein, kognitive Maschinen nach ihrem Ebenbild zu bauen."* Aber gerade mit Günther, so die Autoren, werde ja deutlich, *"dass keine noch so elaborierte (künstliche) Intelligenz jemals einen Gottesstandpunkt einnehmen können wird, von dem aus die Verhältnisse der Welt objektiv beherrschbar wären."*<sup>[51]</sup>

Das ist wie bei Landgrebe und Smith eine klare Absage an jedwede Idee einer Singularität und mehr noch, an die einer Superintelligenz.<sup>[52]</sup> Ein Vergleich der beiden Werke miteinander würde beiden m.E. nicht gerecht. Für mich sind die Aussagen beider Autorenpaare durchaus kompatibel zueinander, sie produzieren keine größeren Widersprüche, und das trotz unterschiedlichster Begründungswege. Ob Landgrebe und Smith dieser Ansicht zustimmen würden, muss ich allerdings bezweifeln, denn sie sind beide im Raum des Positivsprachlichen unterwegs, wohingegen Vogd und Harth Begrifflichkeiten und Zuschreibungen verwenden, die undialektisch gedacht leicht als Anthropomorphismen interpretiert werden können.

### **Irreduzible Parallelität, eine Korrektur**

Dankbar nahm ich die Gelegenheiten wahr, im Frühjahr 2024 in einem Telefonat mit Jobst Landgrebe sowie einem Treffen mit Werner Vogd und Jonathan Harth den Themenbereich Künstliche Intelligenz, die Werke der Autoren sowie meine eigenen Ideen dazu diskutieren zu können. Dabei gab es zu meinem Beispiel aus der Biologie und dem davon abgeleiteten Begriff

irreduzible Parallelität eine deutlich positive Resonanz aller drei Autoren. Unter irreduzible Parallelität ist hier eine prinzipielle Eigenschaft der nicht auf Algorithmen, bzw. eben die seriell arbeitende Turing-Maschine abbildbare Prozessualität des Biologischen gemeint, wobei anzumerken ist, dass eben Teilprozesse in biologischen Systemen durchaus seriell dargestellt werden können. Ich konnte den Begriff als eine allgemeine Kerneigenschaft komplexer Zusammenhänge sowie im Besonderen der komplexen Lebensprozesse argumentativ vertreten und deutlich machen. Alle drei Autoren fragten mich, ob dieser Begriff auf meine Urheberschaft zurückgehe, was ich bejahte, und ob dazu etwas publiziert sei, was ich verneinte.

Heute muss ich dazu Abbitte leisten, denn beide Antworten sind falsch. Dies stellte sich ein paar Monate später durch Recherchen anlässlich der Abfassung eines anderen Textes heraus. Dass ich in meiner Publikation aus 2014 die Unmöglichkeit einer *irreduziblen Darstellung von Simultaneität und Parallelität* <sup>[53]</sup> inklusive des Beispiels aus der Biologie erwähnt hatte, war mir zum Zeitpunkt der Gespräche längst nicht mehr präsent, ebenso, dass ich den Begriff bereits in einer weiteren Publikation in ähnlichen Kontexten erwähnt hatte.<sup>[54]</sup> Offensichtlich lag mein damaliger Fokus im Zusammenhang mit dem Nachdenken über komplexe Systeme auf anderen Zuschreibungen und Begrifflichkeiten. Erst in den letzten Jahren schob sich der Begriff allmählich in den Vordergrund als ein zusammenfassendes Kerncharakteristikum komplexer Systeme, als deren Nicht-Abbildbarkeit auf serielle Verfahren wie das der Turing-Maschine.

Wo ein Irrtum vorliegt, kann es auch weitere geben. Insofern ist die Frage nach der Urheberschaft ein impliziter Rechercheauftrag. Wie sich herausstellen sollte, geht das konkrete Beispiel sowie dessen Verwendung in diesem Zusammenhang auf meine Urheberschaft zurück, nicht jedoch der Begriff selbst.

### **KI-Recherchen zu irreduzibler Parallelität**

Die KI perplexity.ai basiert auf dem Sprachmodell GPT-3.5 von OpenAI sowie einem eigenen großen Sprachmodell (LLM) mit integrierten Computerlinguistik-Fähigkeiten. Die Pro-Version hat Zugriff auf GPT-4, Claude und ein eigenes experimentelles Modell.<sup>[55]</sup> Jüngst kamen für die Pro-Version noch zwei Reasoning-Modelle hinzu, o3-mini von OpenAI und in Klon des chinesischen Modells DeepSeek R1, der in den USA gehostet wird.<sup>[56]</sup> Die KI besaß als erstes öffentlich zugängliches System den Vorzug, die URLs von Quellen aus dem Internet zwecks Überprüfung explizit anzugeben.

Eine aktuell durchgeführte Recherche mit dem einfachen Prompt "Was versteht man unter irreduzibler Parallelität?" ergab die Aussage "*Der Begriff "irreduzible Parallelität" ist in der Mathematik nicht eindeutig definiert*", gefolgt von einer Ergänzung, dass zur Erläuterung der beiden Konzepte die Begriffe *Irreduzibilität* und *Parallelität* doch getrennt zu betrachten seien.<sup>[57]</sup> Zusätzlich gab es eine Liste von ausschließlich mathematischen Aussagen mit Definitionscharakter der Art "*Ein Element eines Rings gilt als irreduzibel, wenn ...*", "*ein irreduzibler topologischer Raum ...*", "*in der Geometrie bezeichnet Parallelität ...*", usw. Die einfache Abfrage schließt mit einer mit Zusammenhang betitelten Spekulation: "*Obwohl "irreduzible Parallelität" kein etablierter mathematischer Begriff ist, könnte man spekulieren, dass er sich auf eine grundlegende, nicht weiter reduzierbare Form der Parallelität beziehen könnte. Dies könnte beispielsweise in bestimmten geometrischen Strukturen oder algebraischen Systemen relevant sein, wo Parallelität eine fundamentale, nicht weiter zerlegbare Eigenschaft darstellt.*"<sup>[58]</sup> Die Antwort ist schlüssig. Ihr

folgte noch einmal ein Hinweis darauf, dass die beiden Konzepte in der Mathematik normalerweise getrennt seien.

Derselbe Prompt an die Pro-Version von perplexity.ai gerichtet liefert im Prinzip identische, gleichwohl ausführlicher formulierte Aussagen und einen verblüffenden, in drei Abschnitte gegliederten Spekulationsteil:

"Wenn wir diese Konzepte kombinieren, könnte *"irreduzible Parallelität"* Folgendes bedeuten:

1. *Fundamentale Gleichzeitigkeit: Ein Zustand oder Prozess, bei dem mehrere Elemente oder Vorgänge gleichzeitig ablaufen, ohne dass diese weiter in sequentielle oder hierarchische Strukturen zerlegt werden können.*
2. *Untrennbare Koexistenz: Parallele Systeme oder Prozesse, die so eng miteinander verwoben sind, dass sie nicht voneinander getrennt oder auf einfachere Komponenten reduziert werden können, ohne ihre wesentlichen Eigenschaften zu verlieren.*
3. *Emergente Parallelität: Ein Phänomen, bei dem die parallele Struktur oder Funktion eine fundamentale Eigenschaft des Systems ist und nicht auf die Eigenschaften seiner Einzelteile reduziert werden kann.*"<sup>[59]</sup>

Das System lieferte gleich drei weitere, recht brauchbare Begriffskombinationen zuzüglich ihrer Definitionen. Das ist eine wirklich respektable Antwort. In den Antworten ist die Quelle wikipedia sehr häufig vertreten.

Eine vor einiger Zeit durchgeführte einfache indexbasierte Google-Suche mit dem Suchstring *"irreduzible Parallelität"* lieferte auch in einer aktuellen Wiederholung lediglich Links zu zwei meiner eigenen Textproduktionen. Erst die Eingabe auf Englisch, *"irreducible parallelism"*, förderte zahlreiche Links zu einen einzelnen neuen Kontext zutage. Dabei handelt es sich um einen Spezialbegriff aus einem Teilgebiet der Sprachwissenschaften, aus der sog. Phonologie, der u.a. von dem Phonologen John J. McCarthy diskutiert wurde.<sup>[60]</sup>

Die Pro-Version perplexity.ai findet diese Information selbst dann nicht, wenn man die Frage auf Englisch stellt: *"What is meant by irreducible parallelism?"* Das ist sicher darauf zurückzuführen, dass im Trainingsdatensatz keinerlei speziellere Texte aus der Phonologie enthalten waren.

### **Peter Molzberger: Informatik, Selbstorganisation, Denken und irreduzible Parallelität**

Eine zusätzliche 2024 erfolgte Volltextsuche nach *"Irreduzible Parallelität"* durch mein eigenes digitales Archiv lieferte die PDF-Version eines Buches zurück, das ich mir 2017 anlässlich der Erstellung des digitalen Archivs von Rudolf Kaehr (1942-2016) beschafft hatte. Es handelt sich um den Band 304 der von W. Brauer im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI) herausgegebenen Reihe *"Informatik-Fachberichte"*. Der Band, herausgegeben von Wolfgang Niegel und Peter Molzberger, *"Aspekte der Selbstorganisation"* fasst die Beiträge einer im Frühjahr 1989 an der Universität der Bundeswehr München durchgeführten Ringvorlesung zu eben diesem Thema *"Selbstorganisation"* zusammen.<sup>[61]</sup>

Er enthält neben Beiträgen von Wissenschaftlern verschiedenster Fachrichtungen und dem dort erstpublizierten Aufsatz von Kaehr *"Vom 'Selbst' in der Selbstorganisation -"*<sup>[62]</sup> einen den Sammelband abschließenden und meiner Aufmerksamkeit bis dato leider entgangenen Text Molzbergers,

"Ist es sinnvoll, dass Informatiker das Phänomen Selbstorganisation behandeln?"<sup>[63]</sup> Molzberger schildert darin seine wechselnden Zweifel und Überzeugungen bezüglich der erwartbaren Leistungsfähigkeit von KI-Systemen und kommt für sich zu folgender Erkenntnis: "Wir haben uns an die Sequentialisierbarkeit von Parallelität so gewöhnt", gemeint sind hier natürlich die Arbeiten von Rumelhart, McClelland und anderen, "daß jeder Gedanke, daß das irgendwo auf Schwierigkeiten stoßen könnte, absurd erscheint. Allerdings haben nicht erst die Informatiker mit diesem Denken begonnen. Das sequentielle Denken, das Denken mit unserer linken Hirnhälfte, dominiert in unserer gesamten Kultur. Es fällt mir schwer, ein Beispiel für "irreduzible, d.h. nicht-sequentialisierbare Parallelität" zu finden. Bereits unsere Sprache ist so angelegt, daß wir so etwas nicht ausdrücken können. Das macht es schwer, wenn nicht unmöglich, einen Beweis für meine These vorzulegen, denn Beweisen ist immer nur innerhalb eines geschlossenen und gesicherten Kontextes möglich. Irreduzible Parallelität, wenn sie existiert, ist aber offensichtlich etwas, was über den derzeitigen wissenschaftlichen Kontext, das geltende Paradigma, hinausgeht."<sup>[64]</sup>

Dies ist die älteste Publikation, in der ich "irreduzible Parallelität" als festen Begriff, also als Adjektiv und Substantiv direkt nebeneinander stehend finden konnte.

Zum Kontext muss noch erwähnt werden, dass im Aufsatz von Molzberger und im gesamten Band der Begriff der Selbstorganisation in den Fokus gebracht wird, ein etwa seit Anfang der 60er des vorigen Jahrhunderts aufgekommener Sammelbegriff<sup>[65]</sup>, der verschiedenste qualitativ unterschiedliche Prozesse der in der unbelebten und belebten Natur auftretenden spontanen Strukturbildung umfasst und dessen Popularität wesentlich auf die Arbeiten des Physikochemikers und Nobelpreisträgers Ilya Prigogine zurückzuführen ist.<sup>[66]</sup> Zur Klassifikation der Prozesse sei auf die einschlägige Literatur verwiesen.<sup>[67,68]</sup> Neuzeitlich lässt sich die Verwendung des Begriffs aber "mindestens bis Kant zurückverfolgen, der sich in der 'Kritik der Urteilskraft' von 1790 mit der internen Zweckmäßigkeit in der Natur, also ihren systemischen Eigenschaften auseinandersetzte."<sup>[69,70]</sup>

Molzberger springt assoziativ weit - vielleicht zu weit - in seinem Beitrag, wenn er Denken mit dem Attribut sequentiell versieht, es sogleich als dominierend in unserer Kultur und als "das Denken mit unserer linken Hirnhälfte" anatomisch verortet.

Denn erstens wird auch heute noch nicht deutlich auf einer Trennung zwischen Denkinhalt und Denkprozess insistiert, denn "Denkinhalte bilden immer eine Sequenz von Gedanken – im Gegensatz zum Denkprozess, der sich grundsätzlich nicht sequentiell, d.h. in einer Abfolge von Zuständen abbilden lässt und daher der menschlichen Wahrnehmung prinzipiell nicht unmittelbar zugänglich ist."<sup>[71]</sup> Letzteres kann mit fMRT-Verfahren<sup>[72]</sup> nachgewiesen werden und lässt sich leicht aus den in der Regel hoch verteilten neurophysiologischen Aktivitäten des Neocortex schließen. Zwischen beiden, so Eberhard von Goldammer, muss also eine Unterscheidung getroffen werden.<sup>[73]</sup>

Zweitens lässt sich Molzbergers Aussage eine seit den späten 50er Jahren bekannte Tatsache entnehmen. Aus Untersuchungen zur Performance der einzelnen Hirnhemisphären mittels des sogenannten Wada-Tests und an Split-Brain-Patienten wissen wir, dass das Sprachverständnis sowie das Vermögen zum aktiven Sprechen bei nahezu allen Menschen unilateral in der linken Hirnhälfte verortet werden kann.<sup>[74]</sup> Das Denken der rechten Hirnhemisphäre muss aber deshalb nicht zwangsläufig anders beschaffen sein. Zwar konnte nachgewiesen werden, dass die rechte Hirnhälfte

wesentlich besser und schneller in der Erkennung von Mustern wie z.B. Gesichtern sowie in der visuell-räumlichen Orientierung ist. Allgemein wird damit ein eher 'ganzheitliches' Erfassen von Welt assoziiert. Das heißt aber nicht, dass beim sogenannten 'Denken in Bildern' die Denkinhalte nicht auch Sequenzen bilden können.

Worauf Molzberger aber wesentlich anspielt, ist die Sequenzialität von gesprochener und geschriebener Sprache, oder, anders gewendet, die Sequenzialität in Sprache und Schrift externalisierter Denkinhalte, mit deren Hilfe sich die mit irreduzibler Parallelität gelabelten Zusammenhänge in den angesprochenen selbstorganisierenden Systemen zwar als solche bezeichnen, aber eben nicht beschreiben lassen. Das Denken in Sprache hilft uns dort nicht weiter und wir stoßen auf Probleme bei der Beschreibung der Prozessualität in biologischen Systemen.

### **Sequentialität(en), eine Spurensuche**

Ein möglicher Einstiegspunkt kann im Versuch bestehen, die Entstehung von Sprache und Schrift zu beleuchten, also die Frage, wie es in der Evolution des Menschen zu derartigen sequenziellen Zeichensystemen gekommen ist, die heute Grundlage und Medium unseres wissenschaftlichen Arbeitens bilden und sich darüber hinaus sowohl in das theoretische Konzept der Turing-Maschine als auch in die ingenieurstechnische - gemeint ist hier die sog. von-Neumann-Architektur - Konstruktion von Computern eingeschrieben haben.

So eröffnet Jacques Derrida in seinen sprachanalytischen Untersuchungen in seinem Werk 'Grammatologie' eine neue Sicht auf Serialität und Linienhaftigkeit in den Sprachen. "*Die 'Linie', wie privilegiert sie auch sei*", stelle, so der Philosoph, "*nur ein partikulares Modell dar; ein Modell, das Modell geworden<sup>[i]</sup> ist und als solches unzugänglich*" bleibe.<sup>[75]</sup> Unter der Voraussetzung, dass "*die Linearität der Sprache nicht ohne den vulgären und weltlichen Begriff der Zeitlichkeit [...] auskommt*", argumentiert er, könne "*die Betrachtung der Schrift nicht länger von der Dekonstruktion der Geschichte der Philosophie getrennt werden.*"<sup>[76]</sup>

Zur Linie und ihrem speziellen Verhältnis zu Erkenntnis und Erkenntnisvermögen gelangt Derrida dann zu folgender Aussage: "*Das rätselhafte Modell der Linie <sup>[ii]</sup> ist also gerade das, was die Philosophie, als sie ihren Blick auf das Innere ihrer eigenen Geschichte gerichtet hielt, nicht sehen konnte. Diese Nacht hellt sich in dem Augenblick ein wenig auf, wo die Linearität – die nicht der Verlust noch die Abwesenheit, sondern die Verdrängung des mehrdimensionalen symbolischen Denkens ist – ihre Unterdrückung lockert, weil sie allmählich die lange Zeit von ihr begünstigte technische und wissenschaftliche Ökonomie zu sterilisieren beginnt.*"<sup>[77]</sup>

Derridas Hinweis auf das philosophische Nicht-Sehen-Können der eigenen Geschichte ist zugleich ein Hinweis auf die Unmöglichkeit, die Linie von einer Linie aus zu sehen. Als sinnlicher Hinweis mag hier dienen, dass eine graphische Linie erst dann sichtbar ist, wenn sie kontrastiert vor oder auf dem Referenzgrund einer Fläche optisch wahrgenommen werden kann. Im Anschluss spricht er von der Verdrängung des "*mehrdimensionalen symbolischen Denkens*" und ausdrücklich nicht von einem Verlust. Das impliziert, dass wir diese Fähigkeit noch besitzen, dass sie nur überdeckt, bzw. eben verdrängt ist.

---

i Das Wort 'geworden', 'devenu', ist im frz. Original und allen Übersetzungen hervorgehoben durch Kursivsetzung.

ii 'Linie', 'ligne' Hervorhebung ebenso.

Es muss hervorgehoben werden, dass Derrida auf einer empirischen Grundlage argumentiert, er referenziert mehrfach und sehr dicht auf die akribischen Forschungsarbeiten des Archäologen und Anthropologen André Leroi-Gourhan. Der vor allem paläoanthropologisch tätige Wissenschaftler schreibt von einer *"Verengung des Denkens"*. Er sieht den Prozess des Übergangs vom von ihm mythologisch genannten Denken zum rationalen Denken *"in einem kräftigen Schub und vollkommen synchron"* zur Evolution der Stadt und der Metallurgie, und das in einem Zeitraum von etwa drei Jahrtausenden im geographischen Raum zwischen Mesopotamien und dem antiken Griechenland.<sup>[78]</sup>

Gleichwohl bleibt der graphische, flächige und räumliche Ausdruck erhalten, gewissermaßen *"widersteht diese Darstellungsform dem Erscheinen der Schrift"* und übt parallel *"einen beträchtlichen Einfluß"* auf sie aus. Leroi-Gourhan führt weiter aus, dass sie eine *"vorrangige Bedeutung"* behalte *"in jenen Wissenschaften, in denen die Linearität der Schrift ein Hindernis"* darstelle. Seiner Auffassung nach vermögen *"die algebraische Gleichung und die Formeln der organischen Chemie den Zwang zur Eindimensionalität in Figuren zu überwinden"*. Hier werde die serielle Phonetisierung nur noch als Kommentar wirksam, *"die symbolische Anordnung"* hingegen *"spricht"* aus sich selbst heraus.<sup>[iii][79]</sup>

Leroi-Gourhan zeigt dabei die Linearisierung des Denkens als ein Prozessbündel, das sich parallel und verwoben mit den Prozessen der Schriftentwicklung und Schriftproduktion ereignet hat. Das läßt sich folgendermaßen interpretieren. Die Überwindung des von ihm benannten *Zwangs zur Eindimensionalität* durch *Figuren* in den modernen wissenschaftlichen Medien entspricht der *Lockerung der Unterdrückung durch die Linearität* bei Derrida, bzw. dem Beginn der *Sterilisierung* der bislang von der *Linearität* begünstigten *technischen und wissenschaftlichen Ökonomie*. Mit den *Figuren* Leroi-Gourhans wiederum korrespondiert die Idee des Technobildes in der Medien- und Kulturtheorie Vilém Flussers.<sup>[80]</sup> Auch wenn diesbezügliche Nennungen oder Zitate im Werk Flussers nicht zu finden sind, darf angenommen werden, dass die Arbeiten Leroi-Gourhans großen Einfluss auf sein Denken gehabt haben.

### **Irreduzibles, eine erweiterte Spurensuche**

Da die Suche nach der Zeichenkette *"irreduzible Parallelität"* lediglich den Aufsatz Molzbergers fand, stellte sich die Frage, welche weiteren Begriffe sich im Zuschreibungsraum des Irreduziblen finden lassen. Die auf mein eigenes Archiv beschränkte Suche nach *"irreduzi"*, um neben dem Substantiv *"Irreduzibilität"* auch die Formen *"irreduzibel"* und *"irreduzible"* zu finden, lieferte dazu einige Quellen.

In den einleitenden Worten des ersten Kapitels *"Die Komplexität des Materiellen und das Versagen der Sprache"* ihrer Dissertation *"Zählen und Erzählen"* weist die Philosophin und Feministin Eva Meyer darauf hin, dass es *"ein wachsendes Bewusstsein von den Grenzen der Sprache und deren Notationssystemen"* gebe. Sie sieht Philosophie, Logik und Semiotik davon betroffen.<sup>[81]</sup>

Der Untertitel von Meyers Dissertation hat zudem den Charakter eines Plädoyers, er lautet *"Für eine Semiotik des Weiblichen"*. Diesem folgend und zugleich darüber hinausweisend geht es der Autorin darum, *"eine Erweiterung des begrifflich Möglichen einzuleiten."*<sup>[82]</sup> Es müsse daher *"der*

---

iii "spricht", "parle", im frz. Original durch Anführungszeichen hervorgehoben

*Schauplatz eines noch nicht und nicht mehr begründenden Denkens erschlossen werden, um so die Möglichkeit zu anderen relationalen Strukturen zu eröffnen."*

Schon im Titel ihrer Arbeit ist etymologisch explizit gemacht, dass Zählen und Erzählen einen gemeinsamen Wortstamm haben und implizit ist beiden ihre Struktureigenschaft, die Linienform, die Linearität. In den westgermanischen Sprachen verhält es sich ähnlich, so leitet sich das englische Verb "to tell" vom Altenglischen "tellan" ab, gleichbedeutend mit Rechnen, Altgermanisch "taljanan"; verwandt mit deutsch "zählen" und "erzählen".<sup>[83]</sup>

Fündig wird die Autorin im antiken Griechenland, der lange Weg hin zur Dominanz der Linearität kommt dort zu einer Art Abschluss, und zwar im Übergang von der Pythagoräischen Konzeption der Zahl hin zur Aristotelischen. *"Die pythagoräische Bestimmung der Zahl in ihrer Substanz beschränkt sich nicht auf die spezifisch aristotelische Bedeutung von Substanz [...]"*<sup>[84]</sup>, sondern sie enthält darüber hinaus noch weitere Bedeutungen, die von Materie und von Eigenschaft. *"Die pythagoräische Bestimmung liegt also noch vor der Spaltung der Begriffe in Form und Materie und Eigenschaft."*<sup>[85]</sup>

Platon pflegt die Pythagoräische Zahlenkonzeption, in einem Bericht des Aristoteles ist von der *Ideenzahl*, der *mathematischen Zahl* und der *Sinnenzahl* bei Platon die Rede.<sup>[86]</sup> Für uns wird das erst verständlich, wenn wir uns verdeutlichen, dass nach der altgriechischen Auffassung die Mathematiker mit den reinen Zahlen rechnen und Kaufleute und Landwirte, wenn sie Waren und Stück Vieh zählen, mit angewandten, oder, wenn man so will, mit buchhalterischen Zahlen.<sup>[87]</sup> Das ist mit Sinnenzahl gemeint, der Landwirt nutzt seine Sinne, um Rinder usw. zu zählen. Die Zahl ist über sinnlich Wahrnehmbares bestimmt, wie bei einer Herde die Anzahl der Tiere und gehört damit gewissermaßen zum Begriff. Daneben gibt es noch die Idee der Zahl, die bei Platon in der *unbestimmten Zweiheit (aoristos dyas)* gipfelt. Der Charakter des Pythagoräischen Zahlenbegriffs zeigt sich sofort bei der ersten Zahl, denn *"die Eins repräsentiert gemäß der Pythagoräischen Lehre zugleich Grenze und Unendliches"*<sup>[88]</sup>, sie ist also doppeldeutig.

Wir sind heute gewohnt, dass unsere natürlichen Zahlen den Axiomen von Peano folgend nur jeweils einen Vorgänger und einen Nachfolger haben. Das ist aber gar nicht selbstverständlich, wenn man voraussetzt, dass schon der Begriff der Eins doppeldeutig ist. Platon selbst hat mit dem Pythagoräischen Zahlenbegriff gearbeitet, *"eine mehrlinige Zahlenfolge angenommen und sie zu entwickeln versucht."* Aristoteles, so berichtet uns Gotthard Günther, begegnete diesem Versuch im Buch M seiner Metaphysik mit einer für die damalige Zeit vernichtenden Kritik.<sup>[89]</sup>

Aristoteles hat sich also quasi für ein Verbot ausgesprochen, ein Verbot, die Zahlen aus der Reihe tanzen zu lassen.

In *"kompakter Prägnanz"*<sup>[90]</sup>, so Joachim Castella, führt Eva Meyer den Gedanken der Mehrlinigkeit, der Polylinearität in einer Fußnote aus, weshalb hier seiner Bewertung gefolgt und das Zitat ebenfalls in voller Länge wiedergegeben ist: *"Mit 'Mehrlinigkeit' ist eine zahlentheoretische Konzeption angesprochen, die nicht auf die zeitgenössischen Theorien der Mehrlinigkeit, wie sie etwa als rekursive Wortarithmetik aus der mathematischen Linguistik bekannt sind, zurückgeht. Denn während diese sich durch Gödelisierung auf der Linearität der natürlichen Zahlen abbilden lassen, handelt es sich bei jener um eine primäre, irreduzible [<sup>v</sup>] Konzeption von Mehrlinigkeit. Da*

genügt nicht eine geometrische Figur, wie sie sich veranschaulicht in der Linie, aber auch im Kreis und der Spirale, die jeweils auch nur ein Modell der Linie sind. Denn der Kreis, der ein homogenes Feld beschreibt und die Spirale, die ab ihrem Ursprung ihr Telos entrollt, bleiben durch die Eindeutigkeit ihrer Konstruktion und Definition dem Identitätsprinzip unterworfen. Für eine in sich widersprüchliche bzw. dialektische Konzeption jedoch, bedarf es nicht nur einer Figur, sondern einer Vielfalt an Figuren. Ihr einfachstes Modell ist die Mehrlinigkeit."<sup>[91]</sup>

Das einfachst mögliche Modell einer Vielfalt von Figuren ist die Mehrlinigkeit. Meyer fährt fort in ihrer Fußnote: "Nun erst versteht sich die Wirksamkeit des Begriffs der Linearisierung. Um nämlich den Zugang zu der ganz andersartigen Struktur der Mehrlinigkeit wiederzufinden, bedarf es der grundsätzlichen Problematisierung des Begriffs des Symbols und der Sprache."<sup>[92]</sup> Dazu greift sie einen Vorschlag Derridas auf, den von Leroi-Gourhan beschriebenen Prozess der Linearisierung mit der Kritik Jakobsons am linearistischen Sprachkonzept Saussures zu kombinieren. Es folgt das oben schon genannte Zitat Derridas aus der Grammatologie: "Die ‚Linie‘ wie privilegiert sie auch sei, stellt nur ein partikuläres Modell dar; ein Modell, das Modell geworden ist und als solches unzugänglich bleibt."<sup>[93]</sup>

Zum Abschluss ihrer Fußnote benennt Meyer die Voraussetzung für eine Zugänglichkeit des prozesshaft gewordenen Modells: "Die Zugänglichkeit des Modells der Linie als gewordenes, läßt sich daher nur unter der Annahme einer verdrängten irreduziblen [<sup>v</sup>] Andersheit – einer primären (pythagoräischen) Mehrlinigkeit – ins Werk setzen."<sup>[94]</sup>

Die Zuschreibung *irreduzibel* findet sich hier einmal für die Konzeption von Mehrlinigkeit sowie für Andersheit.

### **Fundsachen, weitere irreduzible Qualitäten**

Eine Aufgabe kann nun darin bestehen, diese verdrängte irreduzible Andersheit herauszuarbeiten. In einer Arbeit Rudolf Kaehrs gibt es eine ganze Versammlung von Begriffen, aufgereiht hinter dem Adjektiv: "Jeder Versuch auf einer basalen Ebene irreduzible [<sup>vi</sup>] Vielheit, Mehrdeutigkeit, Parallelität und Kooperation einzuführen, scheitert aufgrund dieser prinzipiellen Eindeutigkeit der Formalismen. Multiple Strukturen und Prozesse sind nur als abgeleitete theoretische Konstrukte, jedoch nicht als Grundstrukturen der Formalismen definierbar."<sup>[95]</sup>

Kaehr bezieht sich hier auf die Forderung nach Eindeutigkeit und Identität der Zeichen in mathematischen Schriftsystemen, die, wie wir wissen, prinzipiell bereits auf Aristoteles zurückgeht, der insbesondere das auch von Platon genutzte Pythagoräische Konzept der Ideenzahl kritisiert. Platon hat Ideen nur von den ersten zehn Zahlen angenommen, nicht aber von allen weiteren. Die 10 ist den Pythagoräern eine heilige Zahl, da sie gleich der Summe der Tetraktys, der Vierheit, der Zahlen von 1 bis 4 ist. Für Aristoteles ergibt sich nun die Idee der Zahl 10 nicht aus der Summe der Ideen für beispielsweise die 8 und die 2, die Ideenzahlen seien nicht durch arithmetische Operationen zu erzeugen.<sup>[96]</sup> "Es ist notwendig, konsequent zu sein".<sup>[97]</sup> Gotthard Günther gibt Aristoteles weitgehend Recht, denn man kann nicht den Zahlen von 1 bis 10 den Rang einer ontologischen Idealität zubilligen, allen weiteren jedoch nicht.<sup>[98]</sup> Dass sich Gotthard Günther durch die Entwicklung seiner Theorie der dialektischen Zahlen letztlich dennoch dafür entschieden hat, jeder Zahl "die

---

v Hervorhebung J. Paul

vi Hervorhebung J. Paul

Würde einer Idee" <sup>[99]</sup> zukommen zu lassen, ist bekannt. Kaehr räumt allerdings ein, dass damit "das wenig dialektische Moment der schlechten Unendlichkeit" zugelassen sei.<sup>[100]</sup>

Aber Aristoteles markiert einen Wendepunkt. Hier geschieht eine entgültige konzeptionelle Trennung von Zahl und Begriff. Daraus folgt unmittelbar, dass man nunmehr mit Begriffen nicht rechnen kann. Wir haben es zu tun mit einem grundlegenden Konflikt zwischen Begrifflichkeit und Berechenbarkeit. Kaehr folgert in einem 1994 entstandenen Beitrag, dass, "solange die Kluft zwischen Begriff und Zahl nicht vermittelt ist, [...] die Visionen künstlicher Intelligenz [...], wie sie von der KI-" Forschung "[...] und der Artificial-Life Forschung intendiert werden, prinzipiell unrealisierbar bleiben."<sup>[101]</sup>

Für einen Großteil der heute aktiven KI-Wissenschaftler ist das eine ungeheure Provokation. Denn sogar Programmierer sprechen jetzt selbst davon, dass Machine Learning Systeme wie künstliche neuronale Netzwerke Intelligenz nicht nur kopieren sondern intelligent sind. "Es verwandelt einen, wenn man programmiert."<sup>[102]</sup>

Gleichwohl wirft die Folgerung Kaehrs die nur allzu berechtigte Frage auf, wie dann die aktuellen großen Sprachmodelle, die LLMs, zu als durchaus sinnvoll zu bezeichnenden Antworttexten kommen können. Wir erinnern uns, der aktuelle Hype nahm am 30.11.2022 noch einmal richtig Fahrt auf, als OpenAI seine GPT Version 3 als Dialogsystem ChatGPT zur weltweit öffentlichen Nutzung freischaltete, ein Konstrukt mit 175 Mrd. Parametern, für einen menschlichen Verstand quantitativ schier unmöglich zu überblicken. Schnell wurde jedoch festgestellt, dass dieses und ausnahmslos alle teilweise wesentlich größeren Folgesysteme, gleich ob von OpenAI selbst oder von Google/Alphabet, Facebook/Meta, Anthropic, etc. erhebliche Schwächen bei der Erzeugung von logischen Begründungen besitzen. Genauer müsste es heißen, bei der Erzeugung von sinnvollen Wortketten, die als schlüssige Begründungen interpretierbar sind. Es begann das große Schrauben, um derartige Fehler durch Fine-Tuning auszumerzen.

Offensichtlich kann man der Stochastik, der *stochastikē technē*, lat. *ars conjectandi*, der "Kunst des Vermutens" mit weiteren ausgeklügelten statistischen Verfahren sowie Feinabstimmung und Reinforcement Learning derart zuleibe rücken, dass in den meisten Fällen etwas Sinnvolles und - was das Reasoning angeht - Richtiges herauskommt.<sup>[103]</sup> Auf die Maschinen bezogene Anthropomorphisierungen sollten also auch weiterhin mathematischer Ernüchterung weichen.

### **Selbstreferenzialität als irreduzible Systemeigenschaft**

In einem Aufsatz von Joseph Ditterich taucht der Begriff "*Selbstreferenzialität als irreduzible<sup>[vii]</sup> Eigenschaft eines Systems*" auf.<sup>[104]</sup> Der Autor diskutiert darin unter dem Titel "*Kontexturalität: System-Neustrukturierung für Selbstreferenz*" die für eine operative Fundierung selbstreferenzieller Systeme notwendigen Bedingungen und Elemente. Wie oben bereits erwähnt reicht hier das Konzept der Autopoiese von Maturana und Varela nicht, da es sich um eine rein narrative Beschreibung handelt. Auf den Begriff der Kontextur wird zurückzukommen sein.

Unter Selbstreferenzialität wird im Allgemeinen ein Etwas verstanden, das auf sich selbst bezogen ist oder das auf sich selbst Bezug nimmt. Der Begriff ist weit gefasst. Neben der engen, logischen Bedeutung, z.B. bei Sätzen, die sich auf sich selbst beziehen, sind für die hiesige Erörterung darüber hinaus systemtheoretische und biologische Bedeutungen des Begriffs interessant. Damit ein biologi-

---

vii Hervorhebung J. Paul

ches System, z.B. eine Zelle, stoffwechseln, wachsen und sich reproduzieren kann, muss es ganz allgemein ausgedrückt ein Verhältnis zu sich selbst haben können. Recht einfach einzusehen ist, dass daher das lebende System einen Unterschied zwischen sich und seiner Systemumgebung ziehen und manipulieren können muss, damit es sich erstens selbst erhalten und reproduzieren kann anstatt Irgendetwas zu produzieren und damit es sich zweitens gewissermaßen nicht selbst verdaut. Das System bedarf also einer *"Konzeption für das Zusammenspiel von offenen und geschlossenen Zuständen"* [105] des Systems, also seiner selbst.

Aber wo kommt diese Fähigkeit des lebenden Systems her? Mit Rudolf Kaehr können wir fragen: *"Ist es nicht vielmehr so, dass das In-der-Welt-sein lebender Systeme in sich selbst-referenziell strukturiert ist, dass nicht Teile des Systems, sondern das System selbst, das lebende System, Selbstreferenzialität konstituiert?"*[106] Er betont, dass *"sich Selbstreferenzialität immer deutlicher als eine Grundstruktur der Materie erweist"* und beruft sich dabei auf Werke von Manfred Eigen, Edgar Morin und Ernst Jantsch.[107, 108] Seiner Auffassung nach versammeln sich *"im Phänomen der Selbstreferenzialität [...] die Grundlagenprobleme nahezu aller Wissenschaften."*[109] In Anlehnung an Ilya Prigogine lässt sich sagen, dass Selbstreferenz ein Sachverhalt ist, welcher nicht *ist*, sondern *wird*.<sup>[110, 111]</sup>

"Es stellt sich nun die Frage, auf welche Weise(n) Selbstreferenzialität und der bereits genannte Begriff der Selbstorganisation zusammenhängen. *"Die Selbstorganisation eines Systems ist eine Organisationsform, in der strukturelle Selbstreferenzialität notwendig ist, um die Selbstorganisation des Systems zu realisieren."*[112]

Um nun die Selbstorganisation komplexer Systeme zu beschreiben, ist eine Strukturtheorie erforderlich, die das Zusammenwirken von Relationen und Prozessen darstellen kann, und das für jeweils mehrere Relationen und Prozesse. Für die verschiedenen Komponenten dieser Struktur, deren Teilobjekte oder Teilsysteme, bedeutet das, dass sich deren kategoriale Identitäten beim Wechsel der Relation grundlegend ändern. Ein Operator wird z.B. zum Operanden, ein Operand zum Operator. Oder anders gewendet, das parallele Fungieren der Strukturkomponenten in mehreren Relationen und Prozessen heißt, dass sie keine fixe Identität mehr haben können. Sie können als komplexe Objekte, als Strukturkomponenten komplexer Systeme in den verschiedenen Relationen parallel und 'zugleich' in ihren verschiedenen Strukturbestimmungen fungieren und ihre Bestimmungen aus ihren verschiedenen strukturellen Zusammenhängen heraus verändern. Dabei resultiert die Komplexität der Einzelobjekte aus ihren selbstreferenziell ausdifferenzierten strukturellen Funktionen im Rahmen der Selbstorganisation ihres komplexen Systems. Ihre Komplexität hängt von der Anzahl der Relationen ab, in denen sie als Strukturkomponenten wirken, d.h. nicht alle haben die gleiche strukturelle Komplexität. Für ein einfaches Protein A kann sich die Situation dermaßen darstellen, dass es sich vermittle Proteinsynthese gerade in Produktion befindet und an anderen Stellen gerade eine oder mehrere z.B. enzymatische oder strukturelle Aufgaben erfüllt. Ganz analog gilt dies für weitere Teilobjekte oder Teilsysteme.<sup>[113]</sup>

D.h. in komplexen Systemen findet an den Orten der Verknüpfung von Relationen und Prozessen beim Wechsel der Relation eine Umkehrung der o.g. Kategorien von Operator und Operand statt. Gotthard Günther bestimmt diese Verknüpfungsprozessualität durch die sog. Proemialrelation, die als Wechsel eben jener Grundkategorien dargestellt werden kann.<sup>[114]</sup>

Man sieht hier deutlich den sprachlichen Aufwand, die Wirkzusammenhänge innerhalb einer Zelle auf die - kausale - Kette zu bekommen. D.h. das o.g. genannte Modell der Linie versagt hier völlig, und dies nicht nur beim Versuch der sprachlichen Linearisierung. Analoges gilt für die Formalisierung. Ein Kalkül für Selbstreferenzialität auf der Basis der klassischen Mathematik und Logik erweist sich als unmöglich, daher plädiert Rudolf Kaehr für einen in sich selbstreferenziellen Kalkül.<sup>[115]</sup> Dies erfordert jedoch eine Erweiterung der klassischen Formalisierungsmethoden.

### Von Berechenbarkeit und deren Grenzen

Ganz analog zu der Argumentationsgeschichte von Leroi-Gourhan über Derrida zu Eva Meyer, die Linie als gewordenes vor dem Hintergrund einer Andersheit zugänglich zu machen, diesen Umstand herauszuarbeiten, kann die Vorgehensweise des Mathematikers Engelbert Kronthaler in Bezug auf die Linearität und Eineindeutigkeit in der Mathematik gesehen werden. In seiner metamathematischen <sup>[viii]</sup> Arbeit *Grundlegung einer Mathematik der Qualitäten* sagt er über die Limitationstheoreme: "*Es wäre Vermessenheit, ihre Ergebnisse, insbesondere die Grenzsätze von Gödel, Church ... anzuzweifeln, im Gegenteil: Erst der Abschluß dieser Theorien durch solche Grenzsätze erfordert/ermöglicht <sup>[ix]</sup> ihre Erweiterung.*" Das ist unzweifelhaft das Statement eines Dialektikers. Er fährt fort: "*Diese Erweiterung ist aber nicht mehr - eben wegen dieser Sätze - innerhalb des klassischen Wenn-Dann-Rahmens möglich.*"<sup>[116]</sup> Erweitert werden müsse dieses Wenn, die Prämisse, dazu "*müssen aber die Voraussetzungen der A-Formalisten <sup>[x]</sup> reflektiert werden, was bislang ein Tabu verhinderte. Diese Tabuierung*" sichere "*den Absolutheitsanspruch von A-Logik und -Mathematik und*" führe "*damit zu einer Verabsolutierung ihrer Grenzsätze.*"<sup>[117]</sup>

Werden jetzt aber die Voraussetzungen mitbetrachtet, resp. das Wenn-dann als eine Ganzheit aufgefasst, dann, so der Mathematiker sinngemäß, würden sich viele Probleme als Scheinprobleme erweisen.<sup>[118]</sup>

Er rät also zu einem Wechsel des Standpunkts, indem man quasi von außen auf das Problem und seine Voraussetzungen schaut, anstatt das Denken von vornherein auf den Innenraum des Problems zu beschränken. Zur Untermauerung des möglichen Erfolgs einer solchen Vorgehensweise führt er Beispiele aus Mathematik und Logik an, Euklids Parallelen-Axiom, die Kontinuumshypothese, das Auswahl-Axiom.

An mehreren Stellen der Werke von Kronthaler und Kaehr wird ein Satzfragment aus einer Fußnote des polnisch-amerikanischen Mathematikers und Logikers Emil Post zitiert, der damit dem o.g. Tabu einen Namen gibt. Er spricht im Hinblick auf die Grenzsätze von Gödel und insbesondere Church: "*But to mask this identification under a definition hides the fact that a fundamental discovery in the limitations of the mathematicizing power of Homo Sapiens <sup>[xi]</sup> has been made and blinds us to the need of its continual verification.*"<sup>[119]</sup>

Was im von Kronthaler und Kaehr zitierten Satzteil allein nicht deutlich wird, Post bezieht sich konkret auf eine Arbeit von Church <sup>[120]</sup> und wehrt sich gegen eine vorschnelle Verabsolutierung der

---

viii Unter Metamathematik wird die Betrachtung der Grundlagen der Mathematik verstanden.

ix erfordert/ermöglicht ist im Original übereinander gesetzt, in gewissem Sinn eine Weiche im Satz, wo der Text erst auseinander und dann wieder zusammen läuft. Kronthaler nutzt in seiner Arbeit häufig diese Durchbrochenheit der Linearität als Stilmittel, um auf die Grenzen der Linearität hinzuweisen.

x Hinweis: Das 'A-' Präfix steht für Aristoteles, bzw. das aristotelische Konzept von Logik und Mathematik.

xi Hervorhebung des zitierten Satzfragments durch J. Paul

Grenzsätze. Er kritisiert das Verbergen einer grundlegenden Entdeckung zu den Grenzen der mathematischen Fähigkeiten von uns Menschen unter einer Definition, was uns blind mache für die Notwendigkeit ihrer kontinuierlichen Überprüfung.

Kronthaler interpretiert dieses Tabu lediglich als "*Grenze eines Zeichenspiels, des Wenn-dann-Spiels der A-Mathematik.*" Das Nichteinbeziehen der Wenn-Prämisse muss umso mehr erstaunen, da das Infragestellen von Prämissen in Einzelfällen immer wieder zu Erfolgen geführt hat - wenn auch teilweise nur unter recht ausgeprägten Schwierigkeiten, so etwa bei der Entwicklung der Euklidischen Geometrie zur Topologie.[<sup>121</sup>]

Darüber hinaus möchte ich hervorheben, dass der Kronthaler-Ausdruck vom Zeichenspiel - unter anderem - auch implizit zurück auf die Argumentationsebenen von Derrida und Leroi-Gourhan führt. Denn Mathematik und Logik ereignen sich in Zeichen. Sie werden einem endlichen Zeichenvorrat entnommen und in eine Reihe, eine Sequenz gebracht, die einen Anfang und ein Ende hat.

Der Argumentationsgang Kronthalers zur Entstehung des Tabus ist von besonderem Interesse, da er wesentliche Details eines erkenntnistheoretischen Prozesses herausarbeitet. Zuerst werden die Gödelschen Unvollständigkeitssätze und deren Bedeutung für die Grenzen der Berechenbarkeit in formalen Systemen wie der Arithmetik diskutiert. Es wird dargelegt, dass solche Systeme ihre eigene Widerspruchsfreiheit nicht beweisen können. Für den in Kronthalers Werk behandelten Fall, den Grenzbereich von Mathematik, Logik und Metamathematik markieren neben den "*Unmöglichkeitssätzen*" [<sup>122</sup>] von Gödel aus dem Jahr 1931 und Church aus dem Jahr 1936 [<sup>123</sup>] sowie deren Verallgemeinerungen von Rosser [<sup>124</sup>] und Kleene [<sup>125</sup>] eine solche Grenze. Eine weitere Verfestigung des o.g. Tabus erfolgte durch ergänzende Sätze wie die von Löwenheim-Skolem, Frobenius und Pontrjagin. Kronthaler sieht in dieser Entwicklung eine allmähliche Verabsolutierung des Anspruchs der A-Konzeption, wenn man so will, ein Einfrieren der intellektuellen Haltung zu formalen Systemen. Darüber hinaus ruft er den Mathematiker Hans Hermes mit einem Zitat als Anwalt seiner Argumentation vom Tabu auf: "*Heute glaubt man allgemein, daß jedes System von Algorithmen durch rekursive Funktionen definiert werden kann, so daß damit das Gödelsche Resultat eine tiefere Bedeutung gewinnt.*"[<sup>xii, 126</sup>] Das Kapitel der historischen Betrachtung aus seiner Einführung in die Theorie der rekursiven Funktionen, aus dem das o.g. Zitat stammt, sieht Hermes selbst eher als heuristisch an.[<sup>127</sup>]

### **Rudolf Kaehrs selbstreferenzielle Monster**

Was die Selbstrückbezüglichkeit betrifft, spricht Rudolf Kaehr sogar von Monstern und deren Exorzierung und rät dazu, die Klassiker der mathematischen Grundlagenforschung mal auf die Metaphorik der Hexenverbrennung hin zu lesen. Aber Widersprüche seien "*keine Fehler oder Eigenschaften eines eh schon defekten Systems, sondern es ist ein korrektes System, das durch korrekte Anwendung von korrekten Regeln zu genauso korrekten Widersprüchen führt.*"[<sup>128</sup>] Er weist auf die einleitenden Worte Richard Howes und Heinz von Foerstern zu Francisco Varelans Calculus for Self-Reference hin, die diesen Sachverhalt ins Positive wenden: "*Etymologically speaking, correct opinion is orthodox; paradox, however, lies beyond opinion. Unfortunately, orthodox attempts to establish the orthodoxy of the orthodox results in paradox, and, conversely, the*

---

xii Zitat Hermes, Hervorhebung durch Versalien und Ausrufezeichen (GLAUBT!) im Text Kronthalers, jedes durch Hermes, hier ist die Version von Hermes wiedergegeben.

*appearance of paradox within the orthodox puts an end to the orthodoxy of the orthodox. In other words, paradox is the apostle of sedition in the kingdom of the orthodox.*"<sup>[129]</sup>

Orthodoxe Versuche, die Orthodoxie der orthodoxen Ergebnisse zu etablieren, führen zu Paradoxien, deren Auftreten innerhalb der Orthodoxie die Orthodoxie der Orthodoxie beendet. Oder anders gewendet, das Paradoxon ist der Apostel des Aufruhrs im Reich der Orthodoxie. Und da nicht sein darf, was nicht sein darf, wurden derartige *aufrühererische Eingriffe* lange Zeit als *syntaktische Pathologien*, als *gedankliche Verirrungen* abgetan und ihre Vertreter als *Spinner* oder *semantische Freaks*.<sup>[130]</sup> Kaehr sieht einen gesamtgesellschaftlichen kulturellen Zusammenhang zwischen der Tatsache, dass etwa seit den 70er Jahren die Monster-Metaphorik wieder auftaucht und nun auch in der Mathematik Widersprüche vorsichtig zugelassen werden. Es geht nicht mehr um Exorzierung sondern um Domestikation. Eine Notwendigkeit ergab sich durch die Beschäftigung mit der - bislang rein narrativen - Theorie autopoietischer Systeme. An der Realität der Selbstrückbezüglichkeiten innerhalb der lebenden Zelle und den Strukturen des Konnektoms in Nervensystemen konnte kein Zweifel mehr bestehen.

### **Mehrlinigkeit und Mehrzeitigkeit**

Das Prozesskonglomerat einer lebenden Zelle - an mehreren Stellen werden mehrere bestimmte Proteine vermittels Proteinbiosynthese produziert, eines davon ist wiederum an anderer Stelle am "Management" der Zellmembran beteiligt, ein weiteres ist Bestandteil der Pflege des Genoms, wieder ein anderes greift in den Energiehaushalt der Zelle ein, die wiederum einen Einfluss ausübt auf die Produktion bestimmter Proteine, etc. - kann so interpretiert werden, dass jeder einzelne Prozess seine eigene, zellinternen und/oder externen Erfordernissen anpassbar veränderbare zeitliche Rhythmik besitzt. Damit ergibt sich eine Gesamtsituation, die Rudolf Kaehr in einem anderen Zusammenhang knapp beschrieben hat. Das Gesamtsystem Zelle verhält sich "*nicht mehr nach Maßgabe der diskreten linearen Zeitfolgen. Es gelten mehrere Zeitfolgen zugleich.*" Das Wort 'Zugleich' heisst dabei ausdrücklich nicht gleichzeitig "*im Sinne einer übergeordneten Zeitfunktion, sondern irreduzibel parallel.*"<sup>[xiii, 131]</sup> Die Prozesse haben ihre Eigenzeit und man kann von einer Verteilung der Zeitfolgen sprechen, einer zeitlichen Mehrlinigkeit, die sich nicht mehr auf eine Skala einer Referenzzeit abbilden lässt. Dieser Sachverhalt ist durchaus vergleichbar mit z.B. der bereits erwähnten Abwesenheit eines einzigen Taktgebers in biologischen neuronalen Netzen.

Nach Kaehr ergibt sich dadurch erstens, dass die einzelnen Zeitfolgen sich in ihrer Struktur, in Takt und Chronologie unterscheiden können oder auch nicht. Zur Veranschaulichung dieses Sachverhalts lässt sich ein polyrhythmisch spielendes Percussionsensemble vorstellen, das mit unterschiedlichen Einsätzen und Pausen ohne eine gemeinsame Partitur agiert. Die Partitur entspräche in diesem Beispiel der nicht vorhandenen Referenzzeitskala.

Zweitens kann das, "*was zwischen den verschiedenen Zeiten gilt, nicht mehr unter die Belange der Zeitlichkeit versammelt werden*". Das heißt, dass die Verteilung der Zeitfolgen eben nicht wieder in einer Zeitfolge geschieht, etwa im Sinne der genannten nicht vorhandenen Partitur. Kaehr spricht von einer Gegenläufigkeit der Zeitfolgen. Das kann heißen, dass "*eine Zeitfolge auf die System bezogene Zukunft hin ausgerichtet ist*", wohingegen eine "*dazu komplementäre Zeitfolge sich auf die Vergangenheit des Systems beziehen kann.*" Kaehr identifiziert Begriffe wie *Mehrzeitigkeit* und

---

xiii Hervorhebung J. Paul

*Gegenläufigkeit als "erste Schritte einer Dekonstruktion des linearen Zeitbegriffs in Richtung einer Explikation von Zeitigung und Raumung."*<sup>[132]</sup>

Seit etwa den 80er Jahren wurde allgemein davon gesprochen und erwartet, dass die Biologie die Leitwissenschaft des 21. Jh. werden wird. In diesem eher wissenschaftshistorischen Sinn lässt sich nachvollziehen, dass die life sciences auch Einfluss auf unser bislang eher lineares von der klassischen Physik geprägtes Alltagsverständnis von Zeit nehmen werden.

Das zuvor Gesagte hat erhebliche Konsequenzen für den Zustandsraum <sup>[xiv]</sup> eines biologischen Systems. Wenn nun die Zeitfolgen der einzelnen Prozesse sich nicht mehr auf eine gemeinsame Zeitskala beziehen lassen, dann ist der Zustandsraum nicht mehr hierarchisierbar, d.h. es gibt kein Distanzmaß, keine Metrik in diesem Raum. Das ist gleichbedeutend mit einer Verletzung der Dreiecksungleichung.

### **Ultrametritizität**

Einem Raum oder Zustandsraum eine Metrik zuzuordnen oder einen solchen Raum überhaupt zu definieren erfordert prinzipiell, dass dort Distanzmaße zwischen den Raumpunkten gelten müssen, für die die sogenannte Dreiecksungleichung gilt.

$$d(A,B) + d(B,C) \geq d(A,C)$$

Diese Beziehung ist aus der Anschauung unmittelbar einzusehen. Sie besagt, dass die Summe der Distanz zwischen zwei Raumpunkten A und B und der Distanz von B zu einem weiteren Raumpunkt C immer größer oder gleich der Distanz zwischen den Punkten A und C sein muss. Liegt der Sonderfall der Gleichheit vor, d.h. gleicht die Summe der Distanzen zwischen A und B und B und C der Distanz von A nach C, dann liegt der Punkt B genau auf der Strecke zwischen A und C. Das Dreieck ist quasi 'in sich zusammengefallen'. Hieraus wird deutlich, dass die Dreiecksungleichung auch für Punkte auf einer Achse wie z.B. einer Zeitachse gelten muss. Das gilt für metrische Räume. Die sogenannte Ultrametritizitätsbedingung ist noch etwas strenger:

$$\max [d(A,B), d(B,C)] \geq d(A,C)$$

Ein Abstand, der die ultrametrische Variante der Dreiecksungleichung erfüllt, wird ultrametrischer Abstand genannt, ein Raum, der mit einem ultrametrischen Abstand ausgestattet ist, ultrametrischer Raum. Der Ursprung dieser Form der Dreiecksungleichung liegt in den Arbeiten Kurt Hensels (1861-1941) zur Zahlentheorie, in der er den Begriff der p-adischen Zahlen einführte.<sup>[133]</sup> Ganz allgemein und verkürzt gesprochen sind darin Abzählbarkeiten und Klassen, also Hierarchien in Räumen natürlicher und rationaler Zahlen formalisiert, die über das gemeinhin bekannte und übliche Ordnungsprinzip, die Größe einer Zahl, hinausgehen.<sup>[134, 135]</sup>

Augenfällig ist die Ähnlichkeit zwischen der Dreiecksungleichung und dem Transitivitätsgesetz der klassischen Logik.

$$(A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow C) \rightarrow (A \rightarrow C)$$

Diese Beziehung drückt das sogenannte Transitivitätsgesetz der klassisch-logischen Implikation aus, gelesen (wenn A, dann B) logisch UND (wenn B, dann C) daraus folgt (wenn A, dann C).

---

xiv Hinweis: Unter Zustandsraum wird allgemein die Erweiterung des Phasenraums um die Zeit verstanden.

Beide haben jenseits der optischen Ähnlichkeit noch etwas gemeinsam, die Ultrametritätsbedingung und das Transitivitätsgesetz der klassischen Logik etablieren beide eine Hierarchie.

Außerhalb der Mathematik fand das Konzept der Ultrametrität als erstes Eingang in die Taxonomie. Hier sind insbesondere die hierarchischen Klassifikationsbäume von Pflanzen und Tieren zu nennen. Je nach Anwendungsfall sind unterschiedliche Ultrametrien verwendbar. Die Abstände der Objekte voneinander können dort durch die bekannten Abstammungslinien aber auch durch weitere Kriterien wie z.B. durch quantifizierbare Ähnlichkeiten bestimmter Eiweiße gegeben sein.

Darüber hinaus wurde die Eigenschaft der Ultrametrität neben der Beschreibung entarteter physikalischer Zustandssysteme bei den sog. Spin-Gläsern schon früh auch in der KI-Forschung zur Beschreibung der Zustände in künstlichen neuronalen Netzen und für Modelle assoziativer Speicher herangezogen.<sup>[136, 137]</sup> Für die weitere Erörterung wird auf den Grundlagenaufsatz von Rammal, Toulouse und Virasoro, *Ultrametricity for Physicists*, verwiesen.<sup>[138]</sup>

Aus kybernetischer Perspektive repräsentieren die Algorithmen neuronaler Netzwerke klassische Input/Output-Systeme mit implementiertem Feedback (Backpropagation), die ultrametrisch organisiert sind.<sup>[139]</sup> 1984 lieferte Jean-Paul Benzécri einen strengen Beweis für den Zusammenhang zwischen indizierten Hierarchien und Ultrametrität, die in den bereits erwähnten taxonomischen Klassifikationsbäumen besonders deutlich sichtbar sind.<sup>[140]</sup> Vom logischen Standpunkt aus betrachtet ist die Beziehung noch enger, Ultrametrität entspricht daher unmittelbar dem Transitivitätsgesetz der klassischen Logik.

Bisher führen alle in der Literatur diskutierten neuromorphen Modelle zu Ultrametrität als einfachstmöglicher nicht-trivialer Organisation von Zuständen.<sup>[141]</sup> Folglich, so Kaehr und von Goldammer in einem Statement ihrer Publikation 1989, stellen alle diese Netze hierarchisch strukturierte Modelle dar <sup>[142]</sup>. Auch in jüngsten Publikationen wird nicht der leiseste Zweifel daran geäußert, das selbst in sehr großen large language models, wie z.B. in OpenAI's ChatGPT die Ultrametrität regiert, die einzige Frage gilt nicht der Vergleichbarkeit mit real existierenden neuronalen Netzwerken sondern einer auf die Modelle bezogenen stochastischen Reduktion auf eine nicht zu große praktikable Anzahl von Ordnungsparametern: "*One big question is whether we will be able to elaborate a statistical physics of deep network which is based on a not-too-large number of order parameters that can be controlled statistically, as was done in spin glasses.*" Dies wird verknüpft mit der Absicht, die Theorie der Spingläser auf ein nächstes Level weiterzuentwickeln.<sup>[143]</sup>

## **Offene Fragen**

Bezüglich der hier diskutierten irreduzibel parallelen Phänomene kann nun folgendes festgehalten werden. Die den Sachverhalten der Mehrlinigkeit und Mehrzeitigkeit zugrundeliegende irreduzible Parallelität ist gleichbedeutend, bzw. muss assoziiert werden mit einer Verletzung der Ultrametritätsbedingung. Es kann keine Hierarchie, weder metrisch noch ultrametrisch, etabliert werden.

Was bedeutet das für das Vorhaben, basale Prozessnetzwerke der Zellbiologie oder biologische neuronale Netzwerke formal beschreiben zu wollen? Der Formalismus ist, wie gesagt wurde, seit seinen Anfängen in der Antike an die Linearität der Schriftzeichen gebunden. Wie steht es also um die Möglichkeiten einer operativen Fundierung von Systemen, die Selbstreferenzialität etablieren?

Es ist lediglich ein durch physiologische Untersuchungen motiviertes künstliches neuronales Netzwerk - quasi auf dem Papier - konstruiert worden, von dem sein Autor Warren McCulloch sagt, dass es sich einer klassischen Formalisierungsweise entzieht, da es sich - bedingt durch seine Topologie - nicht dem Transitivitätsgesetz unterordnet.<sup>[144]</sup> Und Kaehr und von Goldammer haben gezeigt, dass über das Werk Gotthard Günthers, über seine Polykontexturale Logik, ein Weg zur Formalisierung und Operationalisierung solcher Netzstrukturen gegeben ist. Dieser allerdings setzt andere Computerarchitekturen jenseits der vorherrschenden rigorosen Binarität voraus.<sup>[145]</sup> Verdichtete Zugänge zum Werk Gotthard Günthers <sup>[146]</sup> liefern der Beitrag *Einübung in eine andere Lektüre* von Rudolf Kaehr und Joseph Ditterich sowie der Aufsatz *Polykontextualitätstheorie* von Eberhard von Goldammer.<sup>[147, 148]</sup>

Ein weiterer Weg mag durch ein immer wichtiger werdendes Gebiet der modernen Mathematik selbst gegeben sein, der Topologie. So weist in einem 2009 erschienenen Kompendium mit dem Titel *Raumwissenschaften* der Mathematiker Markus Banagl darauf hin, dass es Situationen geben kann, in der eine "*topologische Intuition*" zur Lösung eines Problems beitragen kann, dass jedoch "*im formalen Sinn*" ein topologischer Raum fehlt. Von Alexander Grothendieck wurde der Begriff des Topos eingeführt.<sup>[149]</sup> "*Die klassische axiomatische Untermauerung der Mathematik ist die Mengenlehre. Die Kategorie der Mengen bildet einen Topos; es existieren aber auch andere Topoi, und es steht dem Mathematiker frei, einen exotischen Topos als Rahmen für seine Arbeit zu wählen. Für Konstruktivisten mag interessant sein, dass es Topoi gibt, in denen das Auswahlaxiom der Mengenlehre oder das tertium non datur der Logik nicht gilt.*" Darüber hinaus sind weitere Topoi möglich, u.a. punktfreie Topologien, bei denen mit offenen Mengen als fundamentale Objekte und deren sog. Verbänden gearbeitet wird.<sup>[150]</sup>

Man denke z.B. an McCullochs topologischen Vorschlag. Wohlgedemerk, diese Topoi gelten laut Banagl als "*exotisch*", sind aber mittlerweile zugelassen. Von einer bedingungslosen Exorzierung derartiger selbstwidersprüchlicher Mathematik-Monster (Kaehr) wird nunmehr abgesehen. Dieses Vorgehen entspricht der Forderung Kronthalers, die Prämissen der Regeln eines Systems mitzureflektieren.

### **Vorschläge zum Begriff der irreduziblen Parallelität**

Irreduzible Parallelität scheint mir eine geeignetes Kriterium zur narrativen Beschreibung komplexer Systeme zu sein. Der Begriff verweist auf deren Binnenstruktur und bewegt sich auf einer allgemeineren Ebene, da er von der Nutzung des Adverbs *zugleich* und der missverständlichen Verwendung der Adjektive *gleichzeitig*, *synchron*, *simultan* und *instantan* befreit. Insbesondere das Adjektiv *instantan* enthält keinerlei Hinweis auf die raumzeitliche Binnenstruktur eines Geschehens.

Definitionsvorschläge:

Sind die Prozesse, die ein System konstituieren, irreduzibel parallel, d.h. entziehen sie sich einer vollständigen klassischen Beschreibung in Logik und Mathematik, dann ist dieses System komplex.

Irreduzible Parallelität ist gleichbedeutend mit einer Verletzung der Dreiecksungleichung, der Ultrametritizitätsbedingung.

Eva Meyer: Ein System heißt komplex, wenn es nicht mehr nur von einem einzigen Standpunkt beschrieben wird, sondern von einer Vielheit von sich gegenseitig ergänzenden (komplementären) und sich gegenseitig ausschließenden (supplementären) Standpunkten, die miteinander vermittelt werden müssen.[<sup>151</sup>]

Eberhard von Goldammer: Ein komplexes System ist ein System, dessen formale Beschreibungskriterien sich nicht auf eine Kontextur reduzieren lassen.[<sup>152</sup>]

Gotthard Günther: Unter dem Begriff der Kontextur wird ein logisch zweiwertiger Strukturbereich verstanden, dem zwar durch seine Zweiwertigkeit eine strukturelle Schranke gesetzt ist, dessen Inhaltskapazität und Aufnahmefähigkeit jedoch unbegrenzt ist.[<sup>153</sup>]

Joachim Paul: Unter Komplexität versteht man eine bestimmte Systemeigenschaft, bei der in der formalen Beschreibung des Systems die Elemente des Systems und ihre Wirkgefüge nicht durch über die Zeit konstante eineindeutige Operatoren-Operanden-Zuordnungen beschrieben werden können. Es treten Rollenwechsel auf entsprechend der Ordnungsrelationen, Umtauschrelationen und Identitätsrelationen in Günther'schen mehrstelligen Logiksystemen. Die systeminternen Prozesse sind irreduzibel parallel.

In diesem Sinne sind die heutigen KI-Systeme nicht komplex.

In den positivsprachlichen Wissenschaften ist es allgemein üblich, dass das Subjekt aus den Texten und Aussagen hinausexpediert wird. Allerdings ist es das Subjekt, das sich Kraft des eigenen Willens entschließt, einen Sachverhalt zu beschreiben und ggf. dazu einen formalen Zusammenhang zu erstellen.

Abschließend will ich es daher Gotthard Günther überlassen, den Formalisierungsprozess selbst zu beschreiben:

*"Fragen wir aber danach, woher das Ich die Kraft nimmt zu denken, so müssen wir, wie schon Fichte wußte, sagen: Der Anfang des Denkens besteht nicht darin, daß ich denke, sondern daß Es in mir denkt. Wo aber das Es in mir denkt, dort bin ich nicht von der Welt geschieden und das Denken ist Subjekt und Objekt zugleich. Das aber ist nichts anderes als das dialektische Denken, das also aller Formalisierung vorausgehen muss. Daraus aber ergibt sich, daß alle Formalisierung grundsätzlich hinter dem Strukturreichtum dessen, was sie formalisiert, zurückbleiben muss. Zwar gehört es zur Kraft der Dialektik, daß sie Formalisierungen ihrer selbst aus sich entlassen kann, aber sie hat auch die Kraft jeder Formalisierung vorauszuweichen und unerreichbares Ziel des formalen logischen Prozesses zu bleiben."*[<sup>154</sup>]

Tyson Yunkaporta, Angehöriger des Apalech Clans und Dozent für Indigenes Wissen an der Deakin University in Melbourne, hat mit *Sand Talk* ein aktuelles philosophisch-literarisches Werk als eine Brücke geschaffen, die uns als Annäherung an und als Übungsprogramm für ein nicht die Sequenzialität von Sprache und Schrift spiegelndes Denken dienen kann.[<sup>155</sup>]

Diese metaphorische Brücke im gedanklichen Nebel muss in beide Richtungen begehbar sein. Als weiterer Hinweis auf die Parallelen und Verbindungen in den von Leroi-Gourhan so eindrucksvoll geschilderten Entwicklungen von Schrift und Bild, von Linearem und Flächigem, Parallelem mag die Kindheitserzählung des deutschen Schriftstellers Axel Brauns dienen. Er berichtete, dass er sich – als nicht sprachbegabter Autist - die Sprache über geometrische Zusammenhänge der Worte unter-

einander und über das Zählen erschlossen habe. Denn seine Eltern betrieben ein Rätselbüro für Kreuzworträtsel. *"Ich bin Schriftsteller geworden, weil das mit Geschichten zu tun hat, und in Geschichten stecken Schichten, und diese Schichten sind wie die Sandschichten am Strand, und Körner kann man "er"-zählen."*<sup>[156]</sup>

## 1 Literatur und Anmerkungen

12. BDA-Tag in Karlsruhe - *Meine Experimente mit dem Wohnen*, Bund Deutscher Architektinnen und Architekten, Karlsruhe 2016, <https://www.bda-rheinland-pfalz.de/2016/07/meine-experimente-mit-dem-wohnen-12-bda-tag-in-karlsruhe-erfolgreich/>  
externer Videoinhalt via Vimeo, Vortrag Doris Thut ab 00:07:50
- 2 Julian Jaynes, *Der Ursprung des Bewusstseins durch den Zusammenbruch der bikameralen Psyche*; Reinbek 1988, p. 67, orig. *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*; Houghton Mifflin, Boston 1976
- 3 <https://de.wikipedia.org/wiki/Komplexität>, letzter Aufruf 22.01.2025
- 4 "Aus welchem Grund wird im Zusammenhang mit dem Thema "Künstliche Intelligenz" häufig das Attribut komplex genannt?" war eine am 24.01.2025 an die KI perplexity.ai gestellte Frage. Der Ausdruck "komplexe Algorithmen und neuronale Netze" tauchte in einem Absatz der Antwort auf. Als Quellenangabe wurde auf ein Dokument der Allianz Industrie 4.0 des Landes Baden-Württemberg verwiesen, "*Einsatzfelder von Künstlicher Intelligenz im Produktionsumfeld*", Fraunhofer IPA, Fraunhofer IAO, im Auftrag des Landes Baden-Württemberg 2019
- 5 Jörg Rainer Nonnig, *Architektur, Sprache, Komplexität - Acht Essays zur Architekturepistemologie*; Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur an der Fakultät Architektur der Bauhaus Universität Weimar, Weimar 2006, p. 93f  
[https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt\\_derivate\\_00042434/Noennig\\_pdfa.pdf](https://www.db-thueringen.de/servlets/MCRFileNodeServlet/dbt_derivate_00042434/Noennig_pdfa.pdf)
- 6 Heinrich Schmidt, *Philosophisches Wörterbuch*, Neu bearb. von Georgi Schischkoff (Hg.), 21. Auflage, Stuttgart 1982 p. 354 (Lex. Eintrag: Kausalität)
- 7 <https://www.duden.de/rechtschreibung/System#herkunft>
- 8 David Rumelhart, James McClelland (eds.), and the PDP Research Group; *Parallel Distributed Processing - Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol 1&2, MIT Press, Cambridge, Mass., London UK, 1986
- 9 Lutz Ellrich, *Die Computertechnik als Gegenstand philosophischer Reflexion*, Neuss 2023, J. Paul (Ed.), www.vordenker.de ISSN 1619-9324 [https://www.vordenker.de/ellrich/le\\_computertechnik\\_phil\\_reflexion.pdf](https://www.vordenker.de/ellrich/le_computertechnik_phil_reflexion.pdf)  
Eine stark gekürzte Fassung des Textes ist erschienen mit dem Titel *Medienphilosophie des Computers*, in: Mike Sandbothe/Ludwig Nagl (Hg.): *Systematische Medienphilosophie*, Berlin: Akademie-Verlag 2005, p. 343-358
- 10 Donald A. Norman, in: David Rumelhart, James McClelland 1986 [7], Volume 2, p. 534
- 11 a.a.O., p. 533
- 12 a.a.O., p. 534
- 13 Ellrich 2005, a.a.O.
- 14 Jaynes 1988, a.a.O., p.65ff - Jaynes nennt in Analogie zum Begriffspaar Operator - Operand in der Mathematik den Gegenstand, über den etwas gesagt wird, Metaphorand und den Ausdruck, der die Sprache erweitert, Metaphorator.
- 15 Donald A. Norman, in: David Rumelhart, James McClelland 1986 [7], Volume 2, a.a.O., p. 535
- 16 In der Tat geht ein Teil der Metaphorik auf den Titel eines unvollendeten Werks von John von Neumann zurück: John von Neumann, *The Computer and the Brain*, New Haven/London: Yale University Press, 1958
- 17 Gotthard Günther, "*Die zweite Maschine*" Erstveröffentlichung in Edition und Nachwort zu Isaac Asimov, *Ich, der Robot*, Düsseldorf und Bad Salzbig 1952, Abdruck in: "*Beiträge zu einer operationsfähigen Dialektik*", Band 1, p.91-114, Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1976, p. 109  
[https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg\\_zweite-maschine.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_zweite-maschine.pdf)
- 18 Geoffrey Hinton, <https://www.youtube.com/watch?v=19RWTMNnvi4> , timecode 02:09, 2018
- 19 Arvind Kumar, Lihao Guo; *Functional consequences of fast-spiking interneurons in striatum*, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.09.17.613386v1.full>
- 20 Yoshua Bengio, *Learning Deep Architectures for AI, Foundations and Trends in Machine Learning*, Vol. 2, No. 1, (2009) 1–127
- 21 Yann LeCun, Yoshua Bengio, Geoffrey Hinton: *Deep Learning*. Nature, 521 (7553), 2015, p. 436–444
- 22 Alexander Shapson-Coe, Michał Januszewski, Daniel R. Berger, et al, *A petavoxel fragment of human cerebral cortex reconstructed at nanoscale resolution*, Science, 10 May 2024, Vol 384, Issue 6696, doi: 10.1126/science.adk4858
- 23 Jerome Lettvin, Humberto Maturana, Warren McCulloch und Walter Pitts: *What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain*. In: Proceedings of the Institute of Radio Engineers. Band 47, Nr. 11, 1959, p. 1940–1959, reprinted in: Warren McCulloch, *Embodiments of Mind*, MIT Press, Cambridge, Mass., London, UK, 1965, 1970, p. 230-255
- 24 backpropagation ist eine Kurzform für backward propagation of error, also etwa Fehlerruckfuhrung
- 25 Arthur Gill, *Introduction to the Theory of Finite State Machines*, New York: McGraw-Hill 1962
- 26 Duden online, Kognition, die Gesamtheit aller Prozesse, die mit dem Wahrnehmen und Erkennen zusammenhängen, Herkunft: lat. cognitio = Kennenlernen, Erkennen, zu: cognoscere (2. Partizip: cognitum) = erkennen <https://www.duden.de/rechtschreibung/Kognition>, <https://de.wikipedia.org/wiki/Kognition>
- 27 Joachim Paul, *Rethinking Leibniz – Transhumanismus in der Dekonstruktion*, in: Sven Kluge, Ingrid Lohmann, Gerd Steffens, (Red.) – Jahrbuch für Pädagogik 2014, – *Menschenverbesserung – Transhumanismus*, Jahrbuch für Pädagogik (Band 29), Verlag Peter Lang, Frankfurt a.M., 2014, p. 191-203, p. 196,

<https://www.vordenker.de/blog/1024/rethinking-leibniz-transhumanismus-in-der-dekonstruktion/>

- 28 Ebd.
- 29 Joscha Bach, *From Computation to Consciousness - How computation helps to explain mind, universe and everything*, Hamburg 31c3, 2014, [https://media.ccc.de/v/31c3 - 6573 - en - saal 2 - 201412281130 - from computation to consciousness - joscha //](https://media.ccc.de/v/31c3_-_6573_-_en_-_saal_2_-_201412281130_-_from_computation_to_consciousness_-_joscha//)  
alternativ auf youtube: <https://www.youtube.com/watch?v=lKQ0yaEJjok>
- 30 Ebd. timecode 45:12
- 31 Ebd.
- 32 Humberto R. Maturana, Francisco J. Varela; *Autopoiesis and Cognition - The Realization of the Living*, Dordrecht, Holland, 1980
- 33 Rudolf Kaehr, private Kommunikation 2014/2015
- 34 Heinz von Foerster, *Kybernetik einer Erkenntnistheorie*, Vortrag auf dem 5. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik, Sektion Biokybernetik, Nürnberg, 28.-30. März 1973, nachgedruckt in: Heinz von Foerster, *Sicht und Einsicht - Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie*, Wiesbaden 1985, p. 65-79, p. 66
- 35 Maturana, Varela, 1980, p. 92
- 36 Denis Noble, *Why Dawkins is wrong*, Interview, Institute of Arts and Ideas IAI, 2023, <https://www.youtube.com/watch?v=dCLRKP9NW8I> // timecode 10:45
- 37 Denis Noble, *Dance to the Tune of Life - Biological Relativity*, Cambridge Univ. Press 2017
- 38 Jobst Landgrebe, Barry Smith; *Why Machines Will Never Rule the World - Artificial Intelligence without Fear*, Routledge, New York 2023
- 39 Landgrebe, Smith, 2023, Half Title
- 40 Landgrebe, Smith, 2023, u.v.a., i.e. Chapter 12, *Digital Immortality*, 3. *Transhumanism*, p. 287
- 41 Mind uploading bezeichnet die transhumanistische Idee der Kopie des Selbst (mind), hier verstanden als aktuelle Prozessualität des eigenen Hirns, in einen Computer. Folglich impliziert der Transhumanismus eine dualistische Weltsicht.
- 42 Landgrebe, Smith, 2023, a.a.O., p. 12
- 43 Landgrebe, Smith, 2023, a.a.O., p. 264
- 44 Martin Davis, *The myth of hypercomputation*, in: Christof Teuscher (Ed.), *Alan Turing: Life and Legacy of a Great Thinker*, Berlin, 2004, pp. 195–212.
- 45 Werner Vogd, Jonathan Harth, *Das Bewusstsein der Maschinen – die Mechanik des Bewusstseins - Mit Gotthard Günther über die Zukunft menschlicher und künstlicher Intelligenz nachdenken*, Weilerswist 2023, open access: <https://www.velbrueck.de/Programm/Theorie-der-Gesellschaft/Das-Bewusstsein-der-Maschinen-die-Mechanik-des-Bewusstseins.html>
- 46 Vogd, Harth, 2023, p. 127
- 47 a.a.O., p. 15
- 48 Daniel Martin Feige, *Kritik der Digitalisierung - Technik, Rationalität und Kunst*; Hamburg 2025 p.10
- 49 Vogd, Harth, 2023, a.a.O., p. 325
- 50 a.a.O., p. 328
- 51 a.a.O., p. 372
- 52 Nick Bostrom: *Superintelligenz*, Berlin 2016
- 53 Paul, 2014, Ebd.
- 54 Joachim Paul, *TRANS- // Reflexionen über Menschen, Medien, Netze und Maschinen* (collected essays and scientific essays), Berlin, 2013, p. 355, 381
- 55 <https://de.wikipedia.org/wiki/Perplexity.ai>
- 56 <https://www.perplexity.ai/>, Selbstauskunft auf der Suchseite
- 57 Abfrage auf Deutsch an die einfache Version von perplexity.ai mit dem Prompt: "Was versteht man unter irreduzibler Parallelität?", 04.02.2025
- 58 Ebd.
- 59 Abfrage auf Deutsch an die Pro-Version von perplexity.ai mit dem Prompt: "Was versteht man unter irreduzibler Parallelität?", 04.02.2025
- 60 John J. McCarthy, *Irreducible Parallelism and Desirable Serialism*, Univ. of Mass., Amherst, 2013, URL: <https://bpb-us-e2.wpmucdn.com/websites.umass.edu/dist/b/18881/files/2013/08/Irreducible-Parallelism-Slides.pdf>  
Anmerkung: Der Autor ist nicht verwandt mit dem Computerwissenschaftler John McCarthy.
- 61 Wolfgang Niegel, Peter Molzberger (Hrsg.), *Aspekte der Selbstorganisation*, Informatik-Fachberichte 304 Hrsg. W. Brauer im Auftrag der Gesellschaft für Informatik (GI), Springer Berlin, New York, 1992
- 62 Rudolf Kaehr, *Vom 'Selbst' in der Selbstorganisation — Reflexionen zu den Problemen der Konzeptionalisierung und Formalisierung selbstbezoglicher Strukturbildungen*, erstpubliziert in: Wolfgang Niegel & Peter Molzberger 1992, p. 170-183, vordenker.de (Sommer Edition 2017) J. Paul (Hg.)  
URL: [https://www.vordenker.de/rk/rk\\_vom-selbst-der-selbstorganisation\\_1992.pdf](https://www.vordenker.de/rk/rk_vom-selbst-der-selbstorganisation_1992.pdf)
- 63 Peter Molzberger, *Ist es sinnvoll, dass Informatiker das Phänomen Selbstorganisation behandeln?*, in: Wolfgang Niegel & Peter Molzberger 1992, p. 184-197
- 64 a.a.O., p. 190

- 65 Rainer Paslack, *Urgeschichte der Selbstorganisation, zur Archäologie eines wissenschaftlichen Paradigmas*, Braunschweig, Wiesbaden, 1991, p. 1
- 66 Ilya Prigogine, *Vom Sein zum Werden. Zeit und Komplexität in den Naturwissenschaften*, München/Zürich 1979
- 67 Erich Jantsch, *Selbstorganisation des Universums*, München, 1986, p. 49ff
- 68 Gottfried Jetschke, *Mathematik der Selbstorganisation : qualitative Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme und gleichgewichtsferner Strukturen in Physik, Chemie und Biologie*, Braunschweig, Wiesbaden, 1989, p. 13ff
- 69 Paslack 1991, p. 20f
- 70 Immanuel Kant, *Kritik der Urteilskraft*, 65, B 291 f.
- 71 Eberhard von Goldammer, *Polykontextualitätstheorie*, publiziert auf vordenker.de, April/Mai 2019, p. 6  
URL: [https://www.vordenker.de/vgo/vgo\\_pkt-wik-06.pdf](https://www.vordenker.de/vgo/vgo_pkt-wik-06.pdf)
- 72 Frank Schneider, Gereon Fink; *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie*; Berlin Heidelberg 2006, 2013
- 73 vgl. von Goldammer 2019, a.a.O., p. 31, Fußnote 29
- 74 Michael p. Gazzaniga, Richard B. Ivry, George R. Mangun, *Cognitive Neuroscience - The Biology of the Mind*, 5th edition, New York 2019, Chapter 4 - *Hemispheric Specialization*, p. 124ff
- 75 Jacques Derrida, *Grammatologie*, Frankfurt a. M., 1974, p. 153
- 76 ebd.
- 77 ebd.
- 78 André Leroi-Gourhan, *Hand und Wort - Die Evolution von Technik, Sprache und Kunst*, Frankfurt a.M. 1980, orig.: *Le Geste et la Parole*, Paris 1964, dt. Ausgabe 1980, p. 263ff
- 79 a.a.O. p. 248-249
- 80 Vilém Flusser, *Kommunikologie*, Frankfurt a.M. 1998, p. 74-231
- 81 Eva Meyer, *Zählen und Erzählen - Für eine Semiotik des Weiblichen*, Wien, Berlin, Medusa 1983, p.15
- 82 a.a.O., p. 155
- 83 <https://www.etymonline.com/search?q=tell>
- 84 Eva Meyer 1983, a.a.O., p. 158
- 85 zitiert von Meyer, Gottfried Martin, *Klassische Ontologie der Zahl*, in: Kantstudien Heft 70, Köln 1956
- 86 vgl. Gottfried Martin, *Platons Lehre von der Zahl und ihre Darstellung durch Aristoteles*, Zeitschrift für philosophische Forschung, Bd. 7, H. 2 (1953), pp. 191-203, URL: <https://www.jstor.org/stable/20480623>
- 87 ebd.
- 88 Gotthard Günther, *Das Rätsel des Seins*, erstmals veröffentlicht in: Civitas Bd. 24, 1969, 521-530, Abgedruckt in: *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik*, Band 2, p.171-180, Felix Meiner Verlag, Hamburg, 1979, p. 175, URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg\\_raetsel-sein.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_raetsel-sein.pdf)
- 89 vgl. ebd.
- 90 Joachim Castella, Gotthard Günther: *Innen wie Außen*, first published in: www.thinkartlab.com, www.vordenker.de, Hg, Joachim Paul, 2007, p. 10, URL: [https://www.vordenker.de/pkl/jc\\_innen-wie-aussen.pdf](https://www.vordenker.de/pkl/jc_innen-wie-aussen.pdf)
- 91 Eva Meyer 1983, a.a.O., Fußnote 5, p. 158, p. 209f
- 92 ebd.
- 93 Derrida 1974, p. 153
- 94 Eva Meyer 1983, ebd.
- 95 Rudolf Kaehr: *Diskontextualitäten: Wozu neue Formen des Denkens? Zur Kritik der logischen Voraussetzungen der Second Order Cybernetics und Systemtheorie*. in: www.vordenker.de, Sommer Edition, Neuss, 2017, (Hg. J. Paul), p. 3, URL: [https://www.vordenker.de/rk/rk\\_wozu-neue-formen-des-denkens\\_1994.pdf](https://www.vordenker.de/rk/rk_wozu-neue-formen-des-denkens_1994.pdf)
- 96 vgl. Gottfried Martin 1956, a.a.O., p. 30ff
- 97 Gotthard Günther, Maschinenschriftlich an Rudolf Kaehr 1981, zitiert in: Rudolf Kaehr, *Einschreiben in Zukunft*, erstpubliziert in: Zeta01 – Zukunft als Gegenwart – Rotation Zukunft, Berlin 1982, URL: www.vordenker.de (März 2000), J. Paul (Ed.), URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr\\_einschr-in-zukunft.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr_einschr-in-zukunft.pdf), p. 32-33
- 98 vgl. ebd.
- 99 Rudolf Kaehr, *Einschreiben in Zukunft*, erstpubliziert in: Zeta01 – Zukunft als Gegenwart – Rotation Zukunft, Berlin 1982, URL: www.vordenker.de (Edition: März 2000), J. Paul (Ed.), URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr\\_einschr-in-zukunft.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr_einschr-in-zukunft.pdf), p. 32f
- 100 ebd.
- 101 Rudolf Kaehr 2017, ebd.
- 102 Martin Burckhardt, Im Gespräch mit ... Elena Esposito - *Die Kunst des Vergessens und die Phantasien der Künstlichen Intelligenz*, Podcast 26.08.2024, URL: <https://martinburckhardt.substack.com/p/im-gesprach-mit-elena-esposito>
- 103 Edward Yeo, Yuxuan Tong, Morry Niu, Graham Neubig, Xiang Yue; *Demystifying Long Chain-of-Thought Reasoning in LLMs*, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.03373>
- 104 Joseph Ditterich, *Kontextualität: System-Neustrukturierung für Selbstreferenz*, in: vordenker.de, Ed. Joachim Paul, Neuss 2019, originally written in English 1991, *Contextuality: System-Reframing for Self-Reference* previously unpublished, revised by the author 2019, URL: [https://www.vordenker.de/jditterich/jd\\_Kontextualitaet.pdf](https://www.vordenker.de/jditterich/jd_Kontextualitaet.pdf), p. 5
- 105 ebd.
- 106 Rudolf Kaehr, *Kalküle für Selbstreferentialität oder Selbstreferentielle Kalküle?*, in: www.vordenker.de (Sommer Edition, 2017) J. Paul (Ed.) URL: [https://www.vordenker.de/rk/rk\\_Kalkuele-der-Selbstreferentialitaet\\_1990.pdf](https://www.vordenker.de/rk/rk_Kalkuele-der-Selbstreferentialitaet_1990.pdf) —

- originally published in: Forschungsberichte 288, p.16-36, FB Informatik, Universität Dortmund 1990, p.1
- 107 Rudolf Kaehr, *Neue Tendenzen in der KI-Forschung: Metakritische Untersuchungen über den Stellenwert der Logik in der neueren Künstlichen-Intelligenz-Forschung.*, in: [www.vordenker.de](http://www.vordenker.de) (Sommer Edition, 2003) J. Paul (Ed.), URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/rk\\_meta.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/rk_meta.pdf), p. 14  
erstpubliziert in: Stiftung Warentest & BMFT, Berlin 1980, 64 p.
- 108 Manfred Eigen und Ruthild Winkler, *Das Spiel*, München 1975 // Edgar Morin, *La Methode. 1. La Nature de la Nature*, Paris 1977 // Ernst Jantsch, *Die Selbstorganisation des Universums*, München 1979
- 109 Kaehr 1980, ebd.
- 110 Rodrigo Jokisch, *Logik der Distinktionen*, Wiesbaden 1996, p. 226
- 111 Prigogine, 1979
- 112 Joseph Ditterich, private Kommunikation, März 2025
- 113 Dieser Absatz entstand in Diskussion mit Joseph Ditterich im März 2025.
- 114 Entsprechende Darstellungen der Proemialrelation finden sich in:  
a) Gotthard Günther, *Erkennen und Wollen – Cognition and Volition*, deutsche Übersetzung d. gekürzten Fassung, in: Türk, K. (Hrsg.), *Handlungssysteme*, Opladen 1978, p. 162-174  
(vollständige Fassung in "*Das Bewusstsein der Maschinen*", AGIS Verlag, Baden Baden, 3. Auflage, 2002)  
URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/e\\_und\\_w.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/e_und_w.pdf), p. 26ff  
b) Thomas Mahler, *Morphogrammatik: Eine Einführung in die Theorie der logischen Form*, in: [www.vordenker.de](http://www.vordenker.de) (Sommer Edition, 2017) J. Paul (Ed.),  
URL: [http://www.vordenker.de/rk/tm-rk\\_Morphogrammatik\\_Buch\\_1993.pdf](http://www.vordenker.de/rk/tm-rk_Morphogrammatik_Buch_1993.pdf), p. 35ff  
originally published in: *Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion*, (A. Bammé, P. Baumgartner, W. Berger, E. Kotzmann, Eds.), Heft 65, Klagenfurt 1993
- 115 Kaehr 1990, ebd.
- 116 Kronthaler, Engelbert; *Grundlegung einer Mathematik der Qualitäten*, Frankfurt 1986, p.1
- 117 ebd.
- 118 ebd.
- 119 Emil Post, *Finite Combinatory Processes-Formulation 1*, in: *The Journal of Symbolic Logic*, Vol. 1, No. 3 (Sep., 1936), pp. 103-105
- 120 Alonzo Church, *An Unsolvability Problem of Elementary Number Theory*, in: *American Journal of Mathematics*, Vol. 58, No. 2 (Apr., 1936), pp. 345-363
- 121 vgl. Kronthaler 1986, ebd.
- 122 Kronthaler 1986, a.a.O., p. 131f
- 123 Church 1936
- 124 J. Barkley Rosser, *Extensions of Some Theorems of Gödel and Church*, *The Journal of Symbolic Logic*, Vol. 1, No. 3 (Sep., 1936), pp. 87-91
- 125 Stephen Cole Kleene, *General recursive functions of natural numbers*. In: *Mathematische Annalen*. Band 112, 1936, p. 727-742, URL: [https://gdz.sub.uni-goettingen.de/download/pdf/PPN235181684\\_0112/PPN235181684\\_0112.pdf](https://gdz.sub.uni-goettingen.de/download/pdf/PPN235181684_0112/PPN235181684_0112.pdf)
- 126 Hans Hermes, *Aufzählbarkeit Entscheidbarkeit Berechenbarkeit - Einführung in die Theorie der rekursiven Funktionen*, 3. Aufl. (Heidelberger Taschenbücher; Bd. 87: Sammlung Informatik), Berlin, Heidelberg, New York, 1978, p. 31
- 127 vgl. a.a.O. p. 33
- 128 Kaehr 1990, a.a.O. p.6
- 129 Richard H. Howe, Heinz von Foerster, *Introductory Comments to Francisco Varela's Calculus for Self-Reference*, *Int. J. General Systems*, 1975, Vol. 2, p. 1
- 130 ebd.
- 131 Rudolf Kaehr, *Skizze\_0.9.5-medium - Strukturierungen der Interaktivität – Grundriss einer Theorie der Vermittlung – Towards a General Model of TransComputation*, ThikArt Lab Glasgow 2004, [vordenker.de](http://vordenker.de) (Sommer Edition 2017) J. Paul (Ed.), URL: [https://www.vordenker.de/rk/rk\\_SKIZZE-0.9.5-medium\\_2004.pdf](https://www.vordenker.de/rk/rk_SKIZZE-0.9.5-medium_2004.pdf), p. 144
- 132 ebd.
- 133 Kurt Hensel, *Zahlentheorie*, Berlin, Leipzig 1913
- 134 Dieudonné, Jean; *Abrege d' histoire des mathematiques*, Paris 1978
- 135 Rammal, R.; Toulouse, G; Virasoro, M. A.; *Ultrametricity for Physicists*, *Rev.Mod.Phys.*58 (1986) 765-788
- 136 P. Érdi, *On the Ultrametric Structure of Semantic Memory: Scope and Limits*; in: Ed.: Trappl, R.; *Cybernetics and Systems '88*, p. 329-336
- 137 Teuvo Kohonen, *An Introduction to Neural Computing*; *Neural Networks (INNS)*, 1, 1988, p. 3-16
- 138 Rammal et al, 1986, ebd.
- 139 Rudolf Kaehr, Eberhard von Goldammer, *Poly-Contextural Modeling of Heterarchies in Brain Functions*, first published in: *Models of Brain Functions* (R.M.J. Cotterill, ed.), Cambridge University Press 1989, p. 483-497, URL: [https://www.vordenker.de/ics/downloads/poly\\_mod\\_heter.pdf](https://www.vordenker.de/ics/downloads/poly_mod_heter.pdf)
- 140 Jean-Paul Benzecri, *L'analyse des donnees 1, La taxinomie*, Dunod, Paris 1984
- 141 Giorgio Parisi, *Facing Complexity*, *Physica Scripta* 35, 1987, p.123-124.
- 142 Kaehr, von Goldammer, 1989

- 143 Marco Mézard, *Spin glass theory and its new challenge: structured disorder*, Indian Journal of Physics, October 2024, 98(11): p. 3757–3768, <https://doi.org/10.1007/s12648-023-03029-8>
- 144 Warren S. McCulloch, 'A Heterarchy of Values Determined by the Topology of Nervous Nets', Bull. Math. Biophys., 7, 1945, p. 89-93, Abdruck in: W.S. McCulloch, *Embodiments of Mind*, MIT Press, Cambridge Mass., 1970
- 145 Rudolf Kaehr, Eberhard von Goldammer, *Again, Computers and the Brain*, Journal of Molecular Electronics, Vol 4, 1988, p. 31-37, URL: [https://www.vordenker.de/ics/downloads/again\\_cb.pdf](https://www.vordenker.de/ics/downloads/again_cb.pdf)
- 146 Gotthard Günther, Bibliographie Online, URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg\\_bibliographie.htm](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_bibliographie.htm)
- 147 Rudolf Kaehr und Joseph Ditterich, *Einübung in eine andere Lektüre*, Philosophisches Jahrbuch, 86. Jhg. 1979, p. 385 - 408, vordenker.de (Edition, 29. März 2000) J. Paul (Ed.), URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr\\_einuebung.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/kaehr_einuebung.pdf)
- 148 Eberhard von Goldammer, *Polykontextualitätstheorie*, vordenker.de Apr/Mai 2019, URL: [https://www.vordenker.de/vgo/vgo\\_pkt-wik-06.pdf](https://www.vordenker.de/vgo/vgo_pkt-wik-06.pdf)
- 149 Michael Artin, Alexander Grothendieck, Jean-Louis Verdier, *Théorie des topos et cohomologie étale des schémas*, Vol 1, Berlin 1972
- 150 Markus Banagl, *Mathematik/Topologie*, in: *Raumwissenschaften*; Hg. Stefan Günzel, Frankfurt a.M. 2009, p. 242 - 258, URL: <https://www.mathi.uni-heidelberg.de/~banagl/worddocs/raum.doc>
- 151 Eva Meyer, *Zählen und Erzählen - Für eine Semiotik des Weiblichen*, Wien, Berlin, Medusa 1983, p. 24
- 152 Eberhard von Goldammer, private Kommunikation 2011
- 153 Gotthard Günther, *Die Theorie der "mehrwertigen" Logik*, in: R. Berlinger und E. Fink (Hrsg.), *Philosophische Perspektiven*, 1971, Bd. 3, p. 110-131, abgedruckt in: Gotthard Günther, *Beiträge zur Grundlegung einer operationsfähigen Dialektik*, Bd. 2, Felix Meiner, Hamburg 1979, p. 181-202, p. 187f // URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg\\_theorie-mehrwert-logik.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_theorie-mehrwert-logik.pdf), p. 6f
- 154 Gotthard Günther, *Das Ende des Idealismus und die letzte Mythologie*; Unveröffentlichtes Manuskript (Aus dem Fragment geht hervor, dass es nach Warren S. McCullochs Tod im September 1969 entstanden sein muss.) – im Besitz der Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz, Nachlass 196, Handschriftenabteilung, Berlin, URL: [https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg\\_ende-idealismus.pdf](https://www.vordenker.de/ggphilosophy/gg_ende-idealismus.pdf), p. 61
- 155 Tyson Yunkaporta, *Sand Talk - Das Wissen der Aborigines und die Krisen der modernen Welt*, Berlin 2021, aus dem Englischen, *Sand Talk - How Indigenous Thinking Can Save the World*, 2019
- 156 Axel Brauns, *Buntschatten und Fledermäuse - Leben in einer anderen Welt*, Hamburg 2002 // Zitat aus der NDR-Talkshow 3 nach 9 am 15.03.2002