

Artikel

Ein kategorientheoretisches Modell für menschliche Kommunikation und Erfahrung

Cătălin Zaharia ^{1,*}, Omar Gelo ^{2,3}, Günter Schiepek ⁴ und Giulio de Felice ⁵

¹ Europäische Vereinigung für Neurolinguistische Psychotherapie, A-1090 Wien, Österreich

² Fachbereich für Human- und Sozialwissenschaften, Universität Salento, 73100 Lecce, Italien;omar.gelo@unisalento.it oder omar.gelo@sfu.ac.at

³ Fakultät für Psychotherapiewissenschaften, Sigmund-Freud-Universität Wien, 1020 Wien, Österreich

⁴ Institut für Synergetik und Psychotherapieforschung, Paracelsus Medizinische Universität, 5020 Salzburg, Österreich; guenter.schiepek@ccsys.de

⁵ Fachbereich für Human- und Sozialwissenschaften, Universitas Mercatorum, 00186 Rom, Italien; giulio.defelice@unimercatorum.it

* Korrespondenz: catalin@nlpt.ro

Zusammenfassung

Diese Arbeit untersucht die Anwendung eines Modells der Kategorientheorie und plädiert für ein Paradigma zum Verständnis der menschlichen Erfahrung und des Kommunikationsprozesses eines komplexen Systems aus der Perspektive eines lebendigen antizipatorischen Systems. In Anlehnung an die von Robert Rosen für das antizipatorische System und damit verbundene Modelle entwickelten Prinzipien – Modelle, die die Prinzipien der Imprädikativität, Antizipation und Geschlossenheit gegenüber der effizienten Ursache (CLEF) berücksichtigen – schlagen wir das Performance–Resilience–Sustainability (PRS)-Modell vor. Dieses neue Modell führt eine neue Methode ein, um zu erklären, wie antizipatorische Systeme die in Praxis und Forschung beobachteten Variabilitätsanteile aufklären können. Die Theorie der antizipatorischen Systeme legt nahe, dass Modelle wie PRS ein erhebliches Potenzial besitzen, dynamische Phänomene zu ergänzen und zu erklären, die in der Kommunikations- und Erfahrungsentwicklungsforschung sowie in praktischen Anwendungen beobachtet werden, was das transformative Potenzial für beide Bereiche unterstreicht. Diese Klasse von Modellen für komplexe Systeme könnte eine neue Dimension emergenter Kausalität und deren Auswirkungen auf aktuelles Verhalten einführen, die bisher nicht berücksichtigt wurde.

Schlüsselwörter: relationale Modellierung; vorausschauendes System; imprekative Systeme; Kommunikation; Veränderung; Erfahrung; Entwicklung

1. Einleitung

In den letzten Jahren wurde die Forschung zu dynamischen Systemen (DSR) zunehmend auf konkrete Fälle menschlicher Interaktion angewendet, und zwar innerhalb von Rahmenkonzepten, die das Wesen des Menschen als komplexe Systemstruktur und dessen Dynamik im Zeitverlauf erfassen und mittels der Theorie dynamischer Systeme (DST) untersuchen. Der in diesem Rahmen behandelte Kommunikationsprozess zielt darauf ab, ein besseres Verständnis dafür zu gewinnen, wie die Interaktion in Verbindung mit der Erfahrung des Individuums funktioniert, und versucht, Modelle für Struktur und Veränderung vorzuschlagen. Diese Bemühungen haben sich hauptsächlich auf die Untersuchung der Schwankungen der intrapersonalen [1] und interpersonalen Synchronisation (H-L-Sync) sowie der Stabilität und Flexibilität von Prozessvariablen (S-F-Schwankungen) konzentriert [1,2].

Zeitabhängige Parameter charakterisieren den menschlichen Interaktionsprozess. Daher können wir eine Perspektive nichtlinearer dynamischer Systeme nutzen, um das Verhalten des Individuums während der Kommunikation in persönlichen Entwicklungsprozessen zu interpretieren [3]. Theorie dynamischer Systeme



Wissenschaftliche Herausgeber: Maurice Yolles und Rasmus Gahrn-Andersen

Eingegangen: 20. Dezember 2025

Überarbeitet: 27. Februar 2026

Angenommen: 3. März 2026

Veröffentlicht: 4. März 2026

Copyright: © 2026 bei den Autoren.

Lizenznehmer MDPI, Basel, Schweiz.

Dieser Artikel ist ein Open-Access-Artikel,

der unter den Bedingungen der [Creative Commons Attribution \(CC BY\) Lizenz](#)

verbreitet wird.

(DST) befasst sich mit dem Bedürfnis der Forscher, die Selbstorganisation von Zuständen, die durch Attraktoren gekennzeichnet sind, sowie die dynamischen, sich verändernden Zustände dieser Attraktoren anhand von Kontroll- und Ordnungsparametern zu erklären [3].

In der Literatur wird die Variabilität des Systems häufig anhand der Shannon-Entropie operationalisiert; deren Anstieg würde eine Phase hoher Variabilität im betreffenden System anzeigen [4,5]. Eine weitere weit verbreitete Methode ist die dynamische Komplexität, die die Amplitude, die Frequenz und die Verteilung der Werte über den gesamten Skalenbereich einbezieht. Das Maß wird innerhalb eines gleitenden Fensters berechnet und zeigt Spitzenwerte der Signalinstabilität an [3]. Die Autoren betonen zudem den nicht-deterministischen Aspekt der Psychotherapie als einen spezifischen Prozess der Kommunikationsdynamik mit einem gezielten, zielgerichteten Streben nach Veränderung, verbunden mit dem Konzept der Selbstorganisation und Emergenz [6,7]. Manchmal legen sie kein explizites Modell vor, dem sie folgen, sondern verwenden diese Terminologie eher vage.

Die Übersichtsarbeit von Kolcek und Kollegen zeigt, dass die Modellierung ein noch wenig erforschter Bereich ist [8]. Vor 2019 wurden nur drei Modelle vorgeschlagen [2,9], und spätere Entwicklungen stützten sich auf Kombinationen formaler Theorien oder eine Auswahl von Variablen. Wie Kolcek andeutet, sind nicht alle Daten, die wir zu menschlichen Veränderungen sammeln, erforderlich, um eine nichtlineare Dynamik aufzuzeigen [10]. In einer weiteren Übersicht hebt de Felice (2024) [1] drei Hauptbereiche der Forschung zu dynamischen Systemen hervor, darunter die Untersuchung von Schwingungen in der Synchronisation sowie die Untersuchung von Schwankungen zwischen der Stabilität und Flexibilität von Prozessvariablen (S-F-Schwingungen) unter Verwendung mathematischer Modellierung, um den Entwicklungsprozess im Zeitverlauf zu analysieren – wobei wir anmerken, dass Studien zur mathematischen Modellierung häufig auf Differentialgleichungen beruhen [1,2,9,11]. Kürzlich wurde der Pattern Transition Detection Algorithm (PTDA) entwickelt, um Übergänge zwischen dynamischen Mustern in menschlichen Veränderungsprozessen zu erkennen. Er integriert Maße wie die dynamische Komplexität [3], Rekurrenzdiagramme und die Rekurrenzquantifizierungsanalyse [12] oder Amplituden- und Frequenzmaße in der Zeit-Frequenz-Dynamik [3].

Der Ansatz, DSR zur Interpretation der Variation und Veränderung im Kommunikationsprozess zu nutzen, half uns, eine prozessorientierte Sichtweise anstelle einer statischen zu gewinnen. Während der Fokus von DSR hauptsächlich auf der zeitlichen Entwicklung eines Systems liegt, müssen wir betonen, dass die komplexen Eigenschaften des Systems aus den Interaktionen der vielfältigen Komponenten resultieren [13]. Komplexität als Konzept gibt es jedoch in verschiedenen „Ausprägungen“ und Bedeutungen, und die derzeit in der DSR verwendete Unterscheidung zwischen einfachen und komplexen Systemen unterscheidet nicht zwischen lebenden und nicht-lebenden Systemen.

Die Parametervariation eines Systems wird durch eine mathematische Formel erklärt, die Veränderungen der Zustandsparameter mithilfe von Differentialgleichungen darstellt. Wenn wir also die Dynamik der Variablen der menschlichen Kommunikation untersuchen, sind wir implizit auf Interpretationen eines mathematischen Apparats angewiesen, der die Systemstruktur und -dynamik beschreibt [14]. Diese mathematische Sprache und Beschreibung haben ihren Ursprung in einer Tradition der Physik, die sich mit dem Universum nicht-lebender Entitäten befasst. Da dies zudem manchmal auf den Veränderungsprozess ausgedehnt wird, gehen wir von einem System aus, das über einen kausalen Mechanismus verfügt. Diese mechanischen Systeme zeigen ein Verhalten, das durch einen berechenbaren Algorithmus simuliert und modelliert werden kann.

Dies führt zu einer impliziten Auswahl der Systemtypen und ihrer daraus resultierenden Variablen-dynamik, die wir in Kommunikationsprozessen und in der Veränderungsforschung betrachten. Tatsächlich konzentrieren sich die aktuellen Erklärungen der Variablen-dynamik im Verhalten überwiegend auf vergangenen Determinismus.

Anstatt sich daher auf mechanistische Modelle zu stützen, die die Lebewesen innewohnende Komplexität nicht erfassen können, lässt sich ein impliziter Bedarf an DSR erkennen, das systembasierte Modelle identifizieren und nutzen muss, welche dieser Komplexität wirksam Rechnung tragen, insbesondere durch die Einbeziehung zukünftiger Zustände in das Modell, wie es bei Lebewesen der Fall ist. Um

diese Einschränkungen zu beheben, schlagen wir vor, die Kommunikationsdynamik und Erfahrungsvariation durch die Linse von Robert Rosens (1979) Modell des antizipatorischen Systems zu analysieren [15].

Ein solches System beschreibt die Komplexität lebender Organismen angemessen und weist drei Hauptmerkmale auf: Imprädikativität, Antizipation und „Closed-to-Efficient-Causation“ (CLEF) [16]. Antizipatorische Systeme ermöglichen es uns, neue Modellkategorien für die Verhaltens- und Sprachforschung sowie die Praxis einzuführen. Solche Modelle lassen sich mit der universellen Sprache der Mathematik beschreiben, die als Kategorientheorie (CT) bekannt ist. Dies ermöglicht es uns, zwischen einfachen und komplexen Systemen zu unterscheiden, wie es die Dynamik von Kommunikationsvariablen und berichteten Erfahrungen erfordert, die Interaktionen zwischen lebenden Systemen voraussetzen (im Gegensatz zu mechanischen, nicht-lebenden Systemen). Darüber hinaus können neue Modelle, einschließlich solcher aus der Vergangenheit und der Zukunft, die Variabilität erklären, die wir in der Verhaltens-, neurologischen und linguistischen Forschung empirisch beobachten. Diese Modelle tragen nicht nur zur Gesamtvariabilität bei, sondern ermöglichen es auch, eine andere Art kausaler Emergenz in das Bild von Kommunikation und Erfahrungswandel einzubeziehen – und zwar über die Eigenschaften antizipatorischer Systeme.

Robert Rosens Rahmenkonzept der relationalen Biologie stellt reduktionistische Ansätze infrage, indem es aufzeigt, dass lebende Systeme eine organisatorische Geschlossenheit aufweisen, die sich mit rein mechanistischen Modellen nicht erfassen lässt. Sein zentrales Konzept, das (M,R)-System (Metabolismus–Reparatur), beschreibt Organismen anhand ihrer Geschlossenheit gegenüber der effizienten Kausalität: Stoffwechselprozesse (M) produzieren Komponenten, während Reparaturmechanismen (R) den Stoffwechsel selbst aufrechterhalten, wodurch eine zirkuläre Kausalität entsteht, in der Komponenten gleichzeitig Ursachen und Wirkungen sind. Diese impredikative Organisation – bei der Funktionen anhand dessen definiert werden, was sie hervorbringen – bedeutet, dass Organismen im technischen Sinne Rosens komplex sind: Kein einzelnes formales Modell kann sie vollständig abbilden. Folglich sind lebende Systeme nicht zerlegbar; eine Zerlegung zerstört wesentliche relationale Eigenschaften. Rosen charakterisierte Organismen ferner als antizipatorische Systeme, die interne Vorhersagemodelle enthalten, welche das aktuelle Verhalten auf der Grundlage erwarteter zukünftiger Zustände lenken, wodurch er sie grundlegend von reaktiven Maschinen unterscheidet und inhärente Grenzen der computergestützten Simulation biologischer Organisation aufzeigt [15].

Aufbauend auf Rosens Konzept der Geschlossenheit schlägt unsere theoretische Arbeit einen neuartigen Ansatz vor, der nicht-prädikative Modelle verwendet, um Dynamiken zu erklären, die die zukünftigen Zustände des Systems bestimmen, und diese relationalen Prinzipien dann erweitert, um menschliche Kommunikation und Veränderungen der Erfahrung vorherzusagen.

Um dies zu erreichen, fasst der folgende Abschnitt aktuelle Systemtheorien und die im Bereich der menschlichen Veränderung und Entwicklung angewandten Modelle zusammen. Abschnitt 3 schlägt das neue antizipatorische System vor und beschreibt es im Detail. Abschnitt 4 beschreibt ein spezifisches Modell antizipatorischer Systeme, Performance–Resilience–Sustainability (PRS), und dessen Realisierungen. Abschnitt 5 schließt mit möglichen Anwendungen in Forschung und Praxis. Die Schlussfolgerungen heben die Grenzen und das Potenzial dieser neuen Perspektive hervor.

2. Systeme: Ein theoretischer Rahmen für Kommunikation und menschliche Veränderung

Eine wissenschaftliche Betrachtung des menschlichen Verhaltens, von Verhaltensänderungen und gelebter Erfahrung ist unweigerlich auf die Entwicklung von Theorien angewiesen. Frühe Arbeiten in den Naturwissenschaften – geprägt von den Annahmen der klassischen Physik – neigten dazu, reduktionistische, lineare Modelle zu verwenden, die darauf abzielten, Variablen in experimentellen Settings zu isolieren, und auf der Prämisse einer unidirektionalen Kausalität beruhten. Diese Sichtweise brach jedoch angesichts komplexer Phänomene zusammen, was zur Einführung der Allgemeinen Systemtheorie (GST) als neue Perspektive auf die Natur führte, die Organisationsprinzipien betont, die sich aus dem Ganzen und nicht aus isolierten Teilen ergeben [17]. Aus der Perspektive der GST sind Organismen offene Systeme. Sie tauschen Energie, Materie und Informationen mit ihrer Umgebung aus. Daher können wir ihre Organisation nicht vollständig beschreiben, indem wir

allein auf Mechanismen geschlossener Systeme [18]. Die Kybernetik baute auf dieser Idee auf. Sie formalisierte Konzepte wie Rückkopplung und Steuerung. Dies zeigt, dass die Regulierung in komplexen Systemen durch negative (stabilisierende) Rückkopplung und positive (verstärkende) Rückkopplung erfolgen kann [19]. Die Informationstheorie lieferte uns Werkzeuge zur Messung von Unsicherheit, Redundanz und Kanalkapazität in der Kommunikation [20]. Zusammen förderten diese Entwicklungen eine Systemansicht, in der Kommunikation und Verhalten emergente Eigenschaften interagierender Komponenten sind, die über verschiedene Ebenen und Zeitskalen verteilt sind.

Diese neuen Theorien bieten einen neuen Blickwinkel auf menschliche Interaktion. Der Interaktionsansatz von Palo Alto verändert unsere Sichtweise auf Kommunikation. Er betrachtet sie als einen zirkulären, wechselseitigen Prozess. Dieser Ansatz löst sich vom alten Modell, bei dem eine Person sendet und die andere empfängt. Stattdessen wird Verhalten sowohl Ursache als auch Wirkung. Veränderungen gestalten Interaktionen in einem Netzwerk neu. Es handelt sich nicht nur um eine schnelle Reaktion auf einen Auslöser [21,22]. Dieser Ansatz legte den Grundstein für spätere Entwicklungen – Autopoiesis, komplexe adaptive Systeme und Synergetik –, die untersuchen, wie Organisation in lebenden und sozialen Systemen aufrechterhalten, transformiert und manchmal selbst generiert wird [13,23–25].

Im Folgenden sind die Kernprinzipien der Systemtheorie aufgeführt, die Kommunikation und Wandel leiten:

1. Wechselbeziehung und Ganzheitlichkeit sind Grundprinzipien der Systemtheorie. Das Verhalten eines Systems ergibt sich aus den Beziehungen zwischen seinen Teilen. In der Kommunikation entstehen Bedeutungen aus den Interaktionskontexten. Dazu gehören Metakommunikation und Interpunktion, nicht nur der Inhalt [21,22,26]. Merkmale wie Vertrauen, Rollen und Kultur sind das Ergebnis wechselseitiger Interaktionen; sie sind nicht auf eine einzelne Komponente beschränkt.
2. Offene Systeme und Grenzen. Menschliche Systeme (Individuen, Paare, Teams) sind offen für ihre Umgebung; Grenzen (Rollen, Identitäten, Normen) regulieren den Austausch und verändern sich im Laufe der Zeit [18]. Therapeutische Settings schaffen bewusst semipermeable Grenzen, um die Kommunikation zu fokussieren und gleichzeitig mit dem weiteren Umfeld des Klienten verbunden zu bleiben.
3. Rückkopplung und zirkuläre Kausalität. Negative Rückkopplung erhält die Homöostase aufrecht (z. B. Regeln für den Gesprächswechsel, Etikette); positive Rückkopplung kann Kaskaden auslösen (z. B. Verstärkung von Gerüchten, Konfliktspiralen) [19]. Systemische Kommunikationstheorien betonen eher zirkuläre als lineare Kausalität – jeder Schritt einer Person ist auch eine Reaktion auf den Schritt der anderen [21,22].
4. Nichtlinearität und Emergenz deuten darauf hin, dass die Ergebnisse nicht direkt mit den Eingaben skalieren. Geringfügige Anpassungen, wie Änderungen im Timing oder im Tonfall, können die Ergebnisse plötzlich verändern. Zudem entstehen durch Koordination neue Muster, wie beispielsweise Allianzen oder gemeinsame Narrative. In der Psychotherapie treten bedeutende Veränderungen in der Regel nach entscheidenden Wendepunkten statt durch stetigen Fortschritt ein [1,13].
5. Die Entstehung und Integration neuer Muster entsteht in den Momenten des Wechsels zwischen den Phasen relativer Stabilität (gemeinsame Erwartungen) und Exploration (neue Reaktionen), die durch Schwankungen zwischen Stabilität und Flexibilität beobachtet werden. Erhöhte Variabilität (kritische Fluktuationen) kann einen bevorstehenden Musterübergang signalisieren, während dessen sich das System neu organisieren und um einen neuen Attraktor herum stabilisieren kann [1,11].
6. Koordination und Angleichung treten in der Kommunikation auf natürliche Weise auf, da sich Menschen auf verschiedenen Ebenen – Physiologie, Bewegung, Prosodie und Semantik – synchronisieren, was das gegenseitige Verständnis und die Zusammenarbeit erleichtert [27–30]. Adaptive Systeme passen die Kopplungsstärke an: Unzureichende Synchronisation führt zu Fragmentierung, während übermäßige Synchronisation zu Starrheit führt.
7. Die Informationstheorie betrachtet Kommunikation unter den Gesichtspunkten von Ungewissheit und Redundanz [20]. In alltäglichen Interaktionen nutzen wir Metabotschaften wie Tonfall, Framing und sogar Zeichensetzung. Dies sind bedeutungsgebende Kontexte innerhalb sozialer Systeme

[21,22,26]. Veränderungen entstehen häufig durch eine Neugestaltung von Informationsflüssen – indem verändert wird, wer was mit welcher Glaubwürdigkeit und zu welchem Zeitpunkt weiß.

Viele der grundlegenden Erkenntnisse der Systemtheorie über Mensch und Gesellschaft sind konzeptioneller Natur, wie beispielsweise die Darstellung der Familie als System oder die Betrachtung des Therapeuten als teilnehmenden Beobachter [21–23, 26]. Einige Ansätze gehen jedoch noch einen Schritt weiter und beziehen mathematische Formalisierungen mit ein. Rückkopplungsdynamiken werden in der Kybernetik oder der Regelungstechnik mathematisch dargestellt [18]. In der Informationstheorie kommen Algorithmen zur Quantifizierung von Unsicherheit und Redundanz zum Einsatz [19]. Die Synergetik baut auf Ideen zu Ordnungsparametern, Phasenübergängen und Musterbildung in komplexen Systemen auf [3]; fraktale Strukturen als Ausdrucksformen komplexer Systeme dienen der Beschreibung von Persönlichkeit, Selbst und Resilienz [31]. Organisatorische Geschlossenheit in lebenden Systemen ist ein Werkzeug zur Erklärung der Autopoiesis [23,24]. Darüber hinaus werden Zeitreihenanalyse, Entropie und Attraktoren eingesetzt, um Veränderungen in der Psychotherapie in Echtzeit zu beobachten [1,3,12].

Diese Werkzeuge helfen dabei, erfahrungsspezifische Phänomene (Erzählungen, Allianzen, Brüche) mit Mustern auf Prozessebene (Variabilität, Synchronisation, Übergänge) zu verknüpfen und ermöglichen so eine Wissenschaft, die geeignet ist, menschliche Veränderungen zu untersuchen [1].

Die Kommunikationslandschaft umfasst mehrere Ebenen. Informationen werden als Einschränkungen der Variabilität vermittelt, die das Verhalten auf neuronaler, körperlicher, zwischenmenschlicher und institutioneller Ebene prägen. Forschungen zur Gehirn-zu-Gehirn-Kopplung zeigen, dass effektive Kommunikation dann stattfindet, wenn eine synchronisierte Aktivität zwischen Sprechern und Zuhörern vorliegt; diese Kopplung lässt das Gefühl, verstanden zu werden, sowie eine gute Beziehung erwarten [27,28]. In der alltäglichen menschlichen Interaktion spiegelt nonverbale Synchronität (wie Muster von Körperhaltung, Gestik und Mimik) die Qualität der Beziehung wider und ist ein Prädiktor für ein positives Ergebnis [29,30]. Aus systemischer Perspektive handelt es sich hierbei um messbare Rückkopplungsprozesse: Übereinstimmung erhält die gemeinsame Bedeutung aufrecht, während Uneinigkeit auf eine Störung und eine mögliche Neuordnung hindeutet.

Werkzeuge wie die Rekurrenzquantifizierungsanalyse (RQA), Kreuzrekurrenz und dynamische Komplexität sind Methoden, die kritische Fluktuationen, Kopplung/Entkopplung und Phasenübergänge in naturalistischer Interaktion erkennen [3,12]. Diese Ansätze quantifizieren, wann ein System im Begriff ist, sich zu verändern (steigende Variabilität) und wie sich neue Muster bilden (zunehmende Kohärenz), und verbinden so die Mikrodynamik der Kommunikation mit der Anpassung auf Makroebene.

Ein konkretes Beispiel für Kommunikation ist die Psychotherapie [6,32]. Der psychotherapeutische Prozess ist ein bewusst gestaltetes Kommunikationssystem – ein halbdefinierter Kontext, in dem Interaktionsmuster beobachtet, gestört und neu organisiert werden, um adaptive Veränderungen zu fördern. Die interaktionistische Sichtweise betrachtet Symptome als relationale Kommunikation, die in zirkuläre Muster eingebettet ist [33]; daher erfordert eine dauerhafte Veränderung eine Neugestaltung der Kommunikation (Punktierung, Metakommunikation, Reframing) und nicht nur das Hinzufügen von Inputs für Einzelpersonen [21,22,26]. Studien zum psychotherapeutischen Prozess haben kritische Instabilität vor Durchbrüchen, Schwankungen zwischen Stabilität und Flexibilität während des Fortschritts sowie Synchronität als einen Marker aufgezeigt, der mit der Allianz und dem Ergebnis verbunden ist [1,29,30]. In der Praxis modifizieren Kliniker Informationsflüsse (Klarheit, Tempo), Regeln (wer spricht oder Entscheidungen trifft) und den Zeitpunkt des Feedbacks (Check-in-Rhythmus), um das System in Richtung gesünderer Attraktoren zu verschieben – Ansätze, die sich an den Hebelpunkten des Systems orientieren und mit modernen Zeitreihenmethoden gemessen werden können [12,29,30].

3. Antizipative Systeme: Modelle für lebende Systeme

In diesem Teil des Artikels wird die mathematische Metasprache der relationalen Biologie und der Kategorientheorie verwendet, ohne Begriffe wie Kategorie, Funktor und natürliche Transformation zu definieren. Kurze Definitionen dieser Begriffe finden sich in Anhang A. Für ausführlichere Erläuterungen kann man die Arbeit von Robert Rosen und Aloisius Louie in „Relational

Biology und Relational Modeling. Die Modellierungsrelation und die Pfeildiagramme lassen sich auch ohne die kategorientheoretischen Details erklären.

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, hat sich die Entwicklung der DSR in Richtung von Modellen bewegt, die Komplexität als geeigneten Rahmen für Kommunikations- und Erfahrungsdynamiken betrachten. In diesem Abschnitt stellen wir eine alternative Definition komplexer Systeme für die Anwendung in der Kommunikations- und Veränderungswissenschaft vor, zusammen mit einer impredikativen Modellklasse, die zukünftige Zustände des Selbst, der Erfahrung und der Kommunikationsmuster abbildet [34]. Dies wird es ermöglichen, die allgemeine Erfahrung einer Person über das Selbst, die aus normaler Kommunikation bis hin zu psychotherapeutischen Interventionen abgeleitete imaginierte Zukunft sowie die Variabilität, der wir in der empirischen Forschung begegnen, mit einem theoretischen Rahmen in Einklang zu bringen, der durch die Strenge der Sprache der Kategorientheorie gestützt wird.

Es gibt keine einheitliche, allgemein anerkannte Definition eines komplexen Systems. In der Literatur finden sich mehrere Definitionen. Das Hauptmerkmal, das in jeder Definition hervorgehoben wird, besagt, dass ein komplexes System aus vielen miteinander interagierenden Einheiten besteht, die emergente Eigenschaften aufweisen, die sich nicht anhand der Eigenschaften der einzelnen isolierten Komponenten erklären lassen. In diesem Sinne ist Komplexität der Triumph der Emergenz über den Reduktionismus [35,36].

Wie Rosen vorschlägt [15], erfordert eine für Lebewesen geeignete Wissenschaft drei miteinander verbundene Elemente – impredikative Komplexität, ein antizipatorisches Modell und ein hierarchisches Zyklusmodell, das gegenüber effizienter Kausalität geschlossen ist – und dies sind die Schlüsselaspekte einer Definition komplexer Systeme, die wir in diesem Artikel übernehmen. Da menschliche Erfahrung vom Leben abhängt, werden wir die Lebenswissenschaft erweitern, um zu erklären, wie der Geist und menschliche Interaktionen funktionieren könnten. Ohne auf den vollständigen Beweis einzugehen, den Rosen und Louie zur Erklärung des Lebenssystems ausführlich entwickelt haben, werden wir kurz die notwendigen Details skizzieren, um die Grundlage für ein vorgeschlagenes Modell des Geistes für die Prozesse und Transformationen zu schaffen, die in der menschlichen Kommunikation und den offenbaren Erfahrungen auftreten.

3.1. Impredikative komplexe Systeme

Ein Schachbrett mit 32 einzelnen Figuren und 64 Feldern bietet mehr mögliche Züge, als es Atome im Universum gibt – eine Zahl, die als Shannon-Zahl bekannt ist [37]. Dies könnte eine Erfahrung bieten, die zumindest dem ersten Teil der Definition aus dem Cambridge Dictionary entspricht, in der von „dem Zustand, viele Teile zu haben und schwer zu verstehen oder eine Antwort darauf zu finden“ die Rede ist. [38]. Ein komplexes System steht im Gegensatz zu einem einfachen System [16].

In der relationalen Modellierung ist ein einfaches System eines, in dem alle seine Modelle simulierbar sind. Mit anderen Worten: Ein System gilt als einfach, wenn es vollständig simuliert oder durch ein Modell dargestellt werden kann. Das Konzept eines einfachen Systems ist eng mit der Welt der Mechanismen verbunden, die im Mittelpunkt der zeitgenössischen klassischen Physik steht. Es ist eine geschlossene, geordnete Welt, in der alle Entartungen oder Nicht-Generizitäten von Mechanismen gut verstanden sind.

Ein einfaches System zeichnet sich durch seine Vorhersehbarkeit aus und lässt sich vollständig anhand einer einzigen Darstellungsform beschreiben. Es stellt eine Welt dar, in der die Komponenten,

Variablen und ihre Verbindungen anhand von Messungen auf einfache Weise quantifizierbar oder berechenbar sind.

Ein einfaches System lässt sich innerhalb eines bestimmten Rahmens oder Regelwerks verstehen und analysieren, ohne dass mehrere, nicht äquivalente Kodierungen oder Darstellungen erforderlich sind. Es weist lediglich prädikative Schleifen auf und lässt sich in einfachere, kontextunabhängige Teilsysteme zerlegen. In der Logik und der Philosophie der Mathematik wird der Begriff der Prädikativität im Gegensatz zur Imprädikativität definiert. Während prädikative Systeme Selbstreferenz vermeiden, lassen impredikative Systeme Definitionen oder Eigenschaften zu, die sich auf das gesamte System beziehen, einschließlich ihrer selbst. Wie Louie anmerkt, ist Imprädikativität die Eigenschaft einer selbstreferenziellen Definition. Bayes'sche Inferenz würde nach Rosens Definition als Beispiel für einfache Systeme eingestuft werden, da sie gute Beispiele für algorithmische Simulationen sind [39], auch wenn sie

die für die im Artikel betrachtete Komplexität erforderliche relationale Geschlossenheit nicht erfassen. Beide Modelle beinhalten Vorhersage, Aktualisierung und Rückkopplung und befassen sich damit, wie die Systeme zukünftige Zustände antizipieren, allerdings aus unterschiedlichen Gründen. Konkret ist M keine A-Priori-Wahrscheinlichkeit, sondern ein internes relationales Modell, und der E-Effektor ist keine Wahrscheinlichkeitsgewichtung, sondern eine Komponente der kausalen Geschlossenheit.

Dissipative Strukturen und chemische KI demonstrieren Selbstorganisation in unbelebter Materie fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht. Diese Systeme bleiben vollständig simulierbar und würden daher in Rosens relationalem Rahmen als einfache Systeme klassifiziert, denen die impredikative Geschlossenheit fehlt, die die Komplexität des Lebens charakterisiert [40].

Ein komplexes System lässt sich nicht vollständig durch eine endliche Anzahl einfacher Modelle oder Mechanismen beschreiben oder simulieren. Dies liegt daran, dass sich die Eigenschaften oder Verhaltensweisen eines solchen Systems nicht auf einfachere Modelle reduzieren oder durch diese vollständig erfassen lassen. Damit ein System als komplex gilt, müssen die Wechselwirkungen und Beziehungen zwischen seinen Komponenten zu emergenten Eigenschaften oder Verhaltensweisen führen, die in den einzelnen Teilen, die wir separat betrachten, nicht zu finden sind.

Da ein komplexes System reich an Wechselwirkungen, Abhängigkeiten und emergenten Eigenschaften ist, wird es äußerst schwierig sein, sein Verhalten mit traditionellen reduktionistischen Ansätzen zu verstehen oder vorherzusagen. Das Konzept der Komplexität in der Systemtheorie geht über die bloße Kompliziertheit hinaus. Es muss die ganzheitliche Natur von Systemen und die Vernetzung ihrer Komponenten umfassen.

Komplexität tritt in einem lebenden System nicht als einfaches Merkmal in Erscheinung. Sie ist vielmehr ein grundlegendes Merkmal, das das Verhalten des Systems aktiv prägt. Somit ist Komplexität nicht bloß eine Ableitung der Anzahl der Komponenten oder Interaktionen innerhalb des Systems. Wir verwenden den Begriff „komplexe Systeme“, um zu beschreiben, wie Organismen die dem System innewohnende Nicht-Simulierbarkeit verkörpern – ein Begriff, den Rosen geprägt hat, um die Unmöglichkeit zu beschreiben, das Verhalten des Systems durch ein rechnergestütztes Modell vollständig nachzubilden [41]. Dieses charakteristische Merkmal der Nicht-Simulierbarkeit unterscheidet komplexe Systeme von mechanischen oder einfachen Systemen, wie Rosen sie bezeichnen würde; es ist die erste Eigenschaft eines Systems, die ein lebendes System beschreibt [42,43].

3.2. Antizipatorische Systeme

Die zweite Eigenschaft eines Systems, das einen lebenden Organismus beschreiben kann, hängt mit dem Konzept der Antizipation zusammen. Ein komplexes System mit einer impredikativen Eigenschaft kann auch ein antizipatorisches System sein, wenn es ein Modell seiner selbst und einer externen Umgebung enthält, auf dessen Grundlage es Vorhersagen trifft und vorausschauende Maßnahmen ergreift.

Ein von Rosen 1972 vorgeschlagenes Diagramm enthält ein System S, einen Effektor E und das Vorhersagemodell M (Abbildung 1) [15].

Ein antizipatorisches System steht im Gegensatz zu einem reaktiven System. Es handelt sich um ein System (S), das ein internes Vorhersagemodell (M) und einen Effektor (E) umfasst. In Schritt (1) wird das Modell

(M) liefert eine Eingabe an den Effektor (E), woraufhin der Effektor in Schritt (2) den Zustand des Systems (S) verändert. Gleichzeitig sendet der Effektor in Schritt (3) Eingaben an das Modell (M). In einem antizipierenden System werden die gegenwärtigen Zustände sowohl durch vergangene Modelle als auch durch Modelle beeinflusst, die als Prädiktoren für die Zukunft dienen, während in einem reaktiven System die aktuellen Zustände nur von der Vergangenheit abhängen.

Zwei wichtige Bedingungen müssen erfüllt sein, damit ein System antizipieren kann: Erstens *muss es über ein internes Vorhersagemodell verfügen*, und zweitens *muss es sein Verhalten entsprechend der Vorhersage des Modells ändern*. Es ist zu beachten, dass das Modell keine exakte Kopie des Systems ist, sondern vielmehr eine Darstellung desselben.

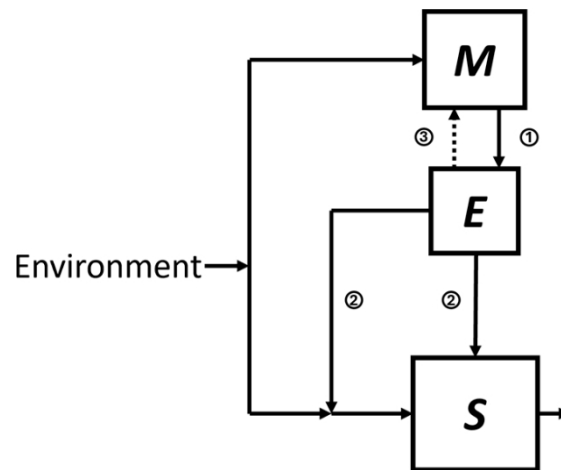


Abbildung 1. Rosens Diagramm des antizipatorischen Systems [44]. Das Diagramm veranschaulicht ein System (S), das ein internes Vorhersagemodell (M) und einen Effektor (E) umfasst. In Schritt (1) liefert das Modell (M) eine Eingabe an den Effektor (E), woraufhin der Effektor in Schritt (2) den Zustand des Systems (S). Gleichzeitig sendet der Effektor in Schritt (3) Eingaben an das Modell (M). Das Gesamtsystem wirkt durch seine Ausgabe auf die Umgebung ein. Das System nutzt dieses Modell, um zukünftige Zustände vorherzusagen und geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Diese antizipatorische Eigenschaft ermöglicht es dem System, sich anzupassen und proaktiv zu reagieren, anstatt lediglich auf vergangene Ereignisse zu reagieren. (Mit freundlicher Genehmigung von A. H. Louie adaptiert).

Im Universum U gibt es ein System S , das ein Modell M enthält, welches ein Modell des Teilsystems W erzeugt. Das Modell M spiegelt die Verwirklichung der Welt W durch die Kodierung „ ε “ wider und verwirklicht die Vorhersage des Modells durch die Entscheidungsimplikation „ δ “. Louie stellt die grafische Darstellung eines solchen Modells vor (Abbildung 2):

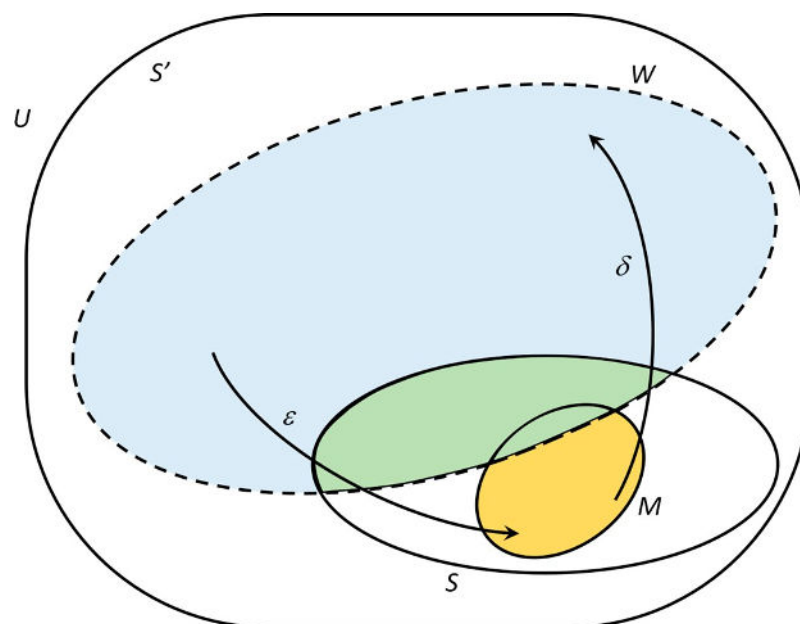


Abbildung 2. Die Verkörperung der Antizipation, das interne Vorhersagemodell [44]. Das System S unterteilt das Universum U in Selbst (S) und Nicht-Selbst (Umgebung, $S_c = U \sim S$). W ist Teil von beidem; es kann die Grenze zwischen Selbst und Nicht-Selbst überschreiten. (Mit freundlicher Genehmigung von A. H. Louie adaptiert).

Wir müssen beachten, dass im Kontext antizipatorischer Systeme Komplexität nicht lediglich ein Maß für die Anpassungsfähigkeit des Systems ist. Aus der Perspektive der relationalen Modellierung ist ein komplexes System nicht einfach, obwohl es nicht durch einen berechenbaren prädikativen Algorithmus definierbar ist. Ein komplexes System umfasst aus Sicht der relationalen Modellierung Modelle, die impredikative Elemente enthalten, einschließlich hierarchischer Zyklen.

Die Komplexität vorausschauender Systeme ist jedoch keine statische Eigenschaft. Es handelt sich um ein dynamisches Merkmal, das sich gemeinsam mit dem System weiterentwickelt. Rosen stellt treffend fest, dass die Komplexität eines Systems über die bloße Anzahl der Elemente und deren Wechselwirkungen hinausgeht. Adaptive Einschränkungen, die sich aus einer sich verändernden Umgebung ergeben, verbessern die Anpassungsfähigkeit des vorausschauenden Systems.

Die Feedforward-Regulation ist ein Konzept, das verwendet wird, um das Verhalten physiologischer Systeme wie des endokrinen und des Immunsystems zu beschreiben. Sie ist ein Beleg für die antizipatorischen Prozesse des Lebens und die komplexe Natur der Welt. Diese Systeme, die überwiegend von modellbasierten Feedforward-Regulatoren gesteuert werden, sind ein Beleg für die Anpassungsfähigkeit und Komplexität, die biologischen Systemen innewohnen.

Betrachten wir das endokrine System, ein Wunderwerk der vorausschauenden Regulation. Seine Aufgabe besteht darin, Hormone zu produzieren und zu regulieren, wobei es nicht nur auf den aktuellen Zustand des Körpers reagiert, sondern auch zukünftige Bedürfnisse vorwegnimmt. Es gleicht einem Meisterdirigenten, der die Crescendi und Decrescendi einer Symphonie vorhersieht und das Tempo des Orchesters entsprechend anpasst. Das endokrine System reagiert somit nicht nur auf den aktuellen Hormonbedarf des Körpers, sondern passt die Hormonproduktion und -freisetzung proaktiv an den prognostizierten zukünftigen Bedarf an [45,46].

Ein weiteres Beispiel für eine Vorwärtsregelung findet sich im Immunsystem, das eine hohe Fähigkeit zur Vorausschau aufweist. Das Immunsystem reagiert nicht nur auf bekannte Eindringlinge, sondern bereitet sich auch auf potenzielle Krankheitserreger vor, die möglicherweise auftreten und mit denen es noch keinen Kontakt hatte. Es erstellt diese Muster und speichert sie zusammen mit Erkennungsmustern über spezifische Antigensignaturen in Gedächtniszellen. Daher kann es sowohl auf bekannte als auch auf neue Erreger schnell reagieren. Diese Fähigkeit, sich zu „erinnern“ und „vorauszu sehen“, ist ein Beweis für den vorausschauenden Charakter des Systems. Die Überlebenschancen und die Evolution eines Organismus sind untrennbar mit den vorausschauenden Fähigkeiten des Immunsystems verbunden.

3.3. Geschlossene Systeme mit effizienter Kausalität (CLEF)

Die Systemtheorie ist eine Wissenschaft, die sich auf Organisation und Funktion konzentriert, die getrennt von den strukturellen Eigenschaften natürlicher Systeme untersucht werden müssen. Nicolas Rashevsky, ein Pionier der Entwicklung der mathematischen Biologie und Robert Rosens Doktorvater, schlug vor, dass die organisatorischen und funktionalen Beziehungen von Organismen mathematisch modelliert werden könnten. Sie erstellten Modelle, indem sie diese als topologische Räume darstellten, insbesondere als eindimensionale gerichtete Graphen [16]. Darüber hinaus nutzte Rosen die mathematische Sprache der Kategorientheorie, um seine Theorie der antizipatorischen Systeme zu entwickeln.

Die Kategorientheorie wurde 1945 von Samuel Eilenberg und Saunders Mac Lane eingeführt [47]. Sie entstand aus Arbeiten in der algebraischen Topologie und der homologischen Algebra als Mittel zur Formalisierung „natürlicher“ Konstruktionen – insbesondere von Funktoren und natürlichen Transformationen. Sie bietet eine einheitliche Sprache, die Objekte und die zwischen ihnen bestehenden Morphismen in den Vordergrund rückt. Die Kategorientheorie ermöglicht Vergleiche und Übertragungen von Strukturen und Ergebnissen über verschiedene mathematische Bereiche hinweg (einschließlich Algebra, Geometrie und Topologie). Indem sie den Fokus von Elementen auf strukturerhaltende Beziehungen verlagert, ist die Kategorientheorie zu einem grundlegenden Rahmen für Abstraktion in der modernen Mathematik geworden und stützt Begriffe wie Äquivalenz, Dualität, Grenzen und Kolimits. Einige der Grundbegriffe der Kategorientheorie sind Objekte, Morphismen und Diagramme [16]. Eine Kategorie besteht per Definition aus Objekten und Morphismen, die die Beziehungen oder Assoziationen zwischen Objekten darstellen. Objekte können als mathematische Entitäten betrachtet werden, während Morphismen die Assoziationen oder Funktionen zwischen diesen Entitäten sind. Die Visualisierung von Beziehungen und Zusammensetzungen erfolgt durch Diagramme und gewährleistet die strukturelle Integrität der mathematischen Konstruktionen, die sie darstellen [48].

Betrachten wir zwei Mengenkategorien, A und B, so stellen wir eine Implikation zwischen den Elementen dieser beiden Kategorien her:

$$f: a' \rightarrow b, \quad (1)$$

Da

$$b = f(a), \quad (2)$$

können wir

$$f: a' \rightarrow f(a), \quad (3)$$

Während Kleinbuchstaben einzelne Elemente innerhalb von Mengen bezeichnen, bezeichnen Großbuchstaben die Mengen (oder Kategorien) selbst, gemäß der üblichen konventionellen Kategorietheorie.

Dies lässt sich in einem Relationendiagramm darstellen (Abbildung 3):

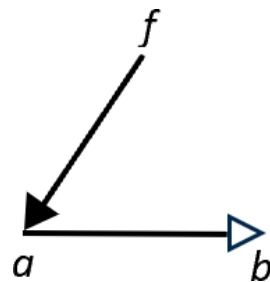


Abbildung 3. Ein relationales Diagramm, in dem ein Element a der Menge A als Eingabe durch die Funktion f zu der Ausgabe b verarbeitet wird.

Laut Rosen können die funktionalen Komponenten eines natürlichen Systems verschiedene Arten von Implikationen erzeugen, die relationale Modelle ausdrücklich berücksichtigen. Diese Implikationen haben ihren Ursprung in einer unerwarteten Quelle, nämlich der alten aristotelischen Lehre von den Kategorien der Kausalität. Louie erörtert die Entwicklung des Begriffs „Ursache“ ausgehend von seinen Ursprüngen in

Aristoteles' griechischem Begriff „αἴτιον“ (aition), der ursprünglich ins Lateinische als „causa“ übersetzt wurde. Er weist darauf hin, dass sich „causa“ im Laufe der Zeit zum heutigen englischen „cause“ entwickelt hat, das gemeinhin als „das, was eine Wirkung hervorruft“ verstanden wird. Louie weist darauf hin, dass diese Interpretation zu semantischen Missverständnissen führen könnte.

Er argumentiert, dass Aristoteles' ursprüngliches Konzept weiter gefasst war und „Gründe oder Formen der Erklärung“ umfasste, anstatt sich lediglich auf die Erzeugung von Wirkungen zu beschränken. Daher schlägt er vor, dass eine genauere Übersetzung von Aristoteles' Absicht das lateinische „explanatio“ gewesen wäre, das näher an der Idee von

eher erklären als verursachen [16].

In der Relationalen Theorie kann eine materielle Ursache als die Objekte oder Entitäten dargestellt werden, die als Inputs und Substrate für ein System dienen und die wesentlichen physikalischen Komponenten einer relationalen Komposition bilden. Wäre im obigen Diagramm „a“ eine Ursache und „b“ eine Wirkung, würden wir im aristotelischen Rahmen fragen: „Warum b?“ Das Element „a“ würde die materielle Ursache des Elements „b“ darstellen, das eine Endursache ist. In relationaler Hinsicht könnte die Endursache als das Ziel oder die Funktion eines Systems dargestellt werden, das die Interaktionen und die Organisation der anderen Ursachen lenkt. Dies könnte als globale Beschränkung oder Zielzustand in einem antizipatorischen System modelliert werden. Der Pfeil mit der gefüllten Spitze stellt die Transformation dar und repräsentiert die funktionale Komponente. In relationaler Hinsicht entspricht dies der aristotelischen Wirkungsursache, die sich auf die funktionale Dynamik innerhalb des Systems bezieht, möglicherweise dargestellt als der durch Pfeile zwischen Objekten repräsentierte Prozess. Diese Pfeile mit ausgefüllter Spitze können als Funktionen oder Operationen betrachtet werden, die Veränderungen und Ergebnisse hervorbringen. Die Zusammensetzung aus Pfeilen mit ausgefüllter Spitze (als Darstellung der Wirkkraft) und Pfeilen mit hohler Spitze (als Darstellung der Stoffkraft) steht in der Relationstheorie für die Formkraft, die als ein Organisationsmuster betrachtet werden kann, das ein System annimmt. In der Kategorientheorie,

Dies könnte durch bestimmte Anordnungen von Pfeilen (Morphismen) dargestellt werden, die die Beziehungen zwischen den materiellen Komponenten veranschaulichen.

Die oben beschriebene Anordnung umreißt die Kompositionsregeln für die Integration mehrerer Diagramme in einen neuen organisatorischen Rahmen. Durch die Verwendung einer sequenziellen Komposition ist es möglich, zwei Abbildungen miteinander zu verknüpfen. Wenn wir zwei Abbildungen haben, können wir eine sequenzielle Kompositionskette verwenden (Abbildung 4):

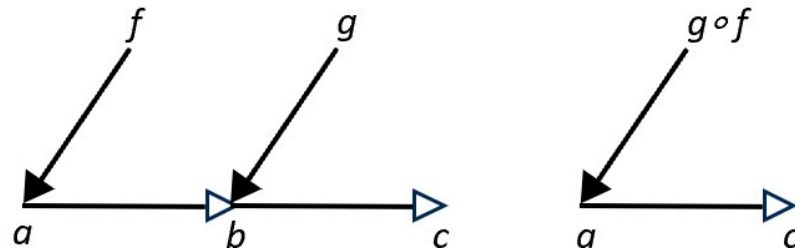


Abbildung 4. Relationales Diagramm mit sequenziellen Kompositionsregeln. Der Ausgang der Endursache auf der linken Seite wird zum Eingang der Materialursache für g. In Kurzform lässt sich dies als Diagramm auf der rechten Seite darstellen, in dem $g \circ f$ gilt.

Wie in **Abbildung 4** dargestellt, wird der Ausgang der Endursache auf der linken Seite zum Eingang der Materialursache für g. In Kurzform lässt sich dies als Diagramm auf der rechten Seite darstellen, wobei $g \circ f$ die neue Abbildung ist:

$$g \circ f: a \rightarrow c, \tag{4}$$

Wir können auch hierarchische Abbildungen verwenden, da es gemäß den Definitionen der Kategorientheorie keinen Unterschied zwischen Objekten und Pfeilen gibt (**Abbildung 5**).

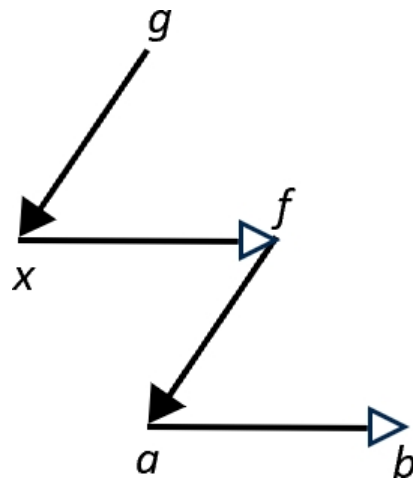


Abbildung 5. Relationales Diagramm mit hierarchischer Abbildung. Hier wird der Ausgang der Endursache von g mit der Wirksamen Ursache f identifiziert.

In **Abbildung 5** bildet die Abbildung g Elemente von X auf die Menge der Abbildungen $H(A, B)$ ab, was bedeutet, dass die Ausgabe von g selbst ein funktionaler Prozess ist – genauer gesagt, die wirksame Ursache f. Dies ist hierarchisch, da die Ausgabe einer Abbildung nicht bloß ein Element, sondern eine Abbildung auf einer anderen Organisationsebene ist.

In **Abbildung 5** wird die Endursache als Ausgabe von g mit der Wirkkraft f identifiziert:

$$g: X \rightarrow H(A, B), \text{ wobei } f \in H(A, B), \tag{5}$$

Es handelt sich um eine Hom-Menge (die Zusammensetzung zweier Pfeile), in der die Abbildung f enthalten ist. Auf die Frage „Warum f?“ lautet die Antwort „wegen x“ und „wegen g“.

Die hierarchische Zusammensetzung von Hom-Mengen aus drei Abbildungen ist wie folgt:

$$f \in H(A, B), g \in H(C, H(A, B)) \text{ und } h \in H(D, H(C, H(A, B))), \quad (6)$$

Gleichung (6) erweitert dieses Prinzip auf drei Abbildungen: f , g und h . Der Ausgang jeder Abbildung dient als wirksame Ursache (der „Prozessor“) für die nächste. Der entscheidende Schritt besteht darin zu erkennen, dass, wenn die Ausgabe von h – die zu D gehört – mit Elementen von B (der Ausgabe von f) in Entsprechung gebracht werden kann, die Kette nicht endet, sondern sich in sich selbst schließt. Diese isomorphe Identifikation bedeutet, dass das, was h erzeugt, funktional äquivalent zu dem ist, was f erzeugt, wodurch eine selbstreferenzielle Schleife der wirksamen Verursachung entsteht. Das Ergebnis ist Abbildung 6: ein Zyklus, in dem die wirksame Ursache keiner Komponente von außerhalb des Systems stammt.

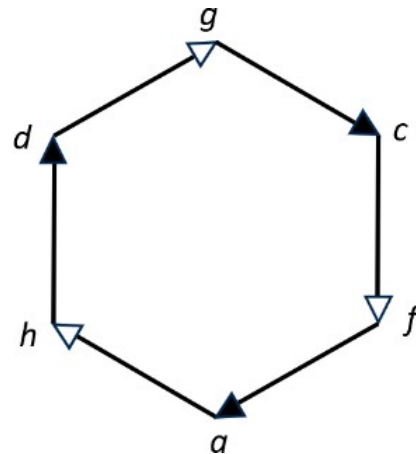


Abbildung 6. Hierarchischer Zyklus mit dem geschlossenen Pfad der effizienten Kausalität. Durch die isomorphe Identifizierung von b und h mittels der Abbildung (6) erhalten wir, sofern eine Entsprechung zwischen den Mengen B und H besteht, einen Zyklus hierarchischer Zusammensetzung.

Hier können $a \in A$, $b \in B$, $c \in C$ und $d \in D$ eine isomorphe Identifizierung von b und h aufweisen, und wir erhalten einen Zyklus hierarchischer Zusammensetzung (Abbildung 6).

Durch die isomorphe Identifizierung von b und h mittels der Abbildung (6) erhalten wir, sofern eine Entsprechung zwischen den Mengen B und H besteht, einen Zyklus hierarchischer Zusammensetzung. Wenn ein System eine Komposition enthält, die zwei oder mehr Pfeile mit gefüllten Köpfen umfasst, können wir es unter Verwendung der oben erwähnten Terminologie der aristotelischen Ursachen als ein System beschreiben, das gegenüber der effizienten Kausalität geschlossen ist, kurz als CLEF-System, wie Louie und Poli 2011 vorgeschlagen haben [49]. Die CLEF-Systeme sind eine echte Unterklasse der impredikativen Systeme.

Wie Robert Rosen in den 1950er Jahren vorschlug, bilden CLEF-Systeme den Grundstein des Lebens in einer Klasse relationaler Modelle, die als Metabolismus-Reparatur-Systeme bezeichnet werden [50,51]. Ein Organismus ist ein System, das als offenes System materiell in seine Umgebung eingebunden ist. Eine abstrakte Beschreibung eines lebenden Systems wurde 1958 von Robert Rosen vorgeschlagen [52]. In einem solchen (M, R) -Rahmenwerk sorgt der Metabolismus (M) für die Produktion und Umwandlung von Komponenten. Gleichzeitig erhält und regeneriert die Reparatur (R) die Organisation des Systems und schließt damit den Kausalkreislauf der effizienten Ursache. Dies ergänzt den Stoffwechselapparat eines (M, R) -Systems. Diese hierarchische Funktion erzeugt eine weitere Aktion zur Korrektur der vorherigen Aktion und stellt sicher, dass die Reparaturfunktion unter Verwendung derselben Stoffwechselelemente erreicht wird. Beispielsweise kann bei der Rückkopplungshemmung enzymatischer Stoffwechselwege das Produkt einer enzymkatalysierten Reaktion die Aktivität des eigenen Enzyms regulieren, wodurch eine korrigierende Reaktion erzeugt und die Selbstreparatur des Systems unter Verwendung derselben metabolischen Komponenten aufrechterhalten wird. Damit ein System lebendig ist, muss es über ein Implikationsnetzwerk von CLEF-Prozessen verfügen. Ein Organismus ist ein antizipatorisches System, das ein (M, R) -Netzwerk und folglich geschlossen gegenüber effizienter Kausalität ist, also CLEF. Wie Louie vorschlägt, lautet das „Postulat des Lebens“: Ein natürliches System ist genau dann ein Organismus, wenn es

ein (M, R)-System“ (Louie, 2009, S. 283) [16]. Das Leben erfüllt die Kriterien der *Imprädikativität, der Antizipation und des CLEF*, während das nicht-lebende System dies nicht tut.

In Abschnitt 2 zeigen wir, dass einige komplexitätsbasierte Forschungsarbeiten zwar eine prozessorientierte Sichtweise auf Kommunikation und menschlichen Wandel bieten, sich jedoch überwiegend auf mathematische Werkzeuge aus der Physik stützen, die nicht formal zwischen lebenden und nicht-lebenden Systemen unterscheiden – und folglich standardmäßig vom Determinismus der Vergangenheit ausgehen. Die theoretischen Aspekte des vorliegenden Abschnitts eröffnen neue Perspektiven für die Entwicklung eines theoretischen Rahmens und eines Modells für lebende kommunikative Systeme, die antizipatorische Kausalität einbeziehen. Die Kategorientheorie liefert die formale Sprache, die für die Konstruktion und Bewertung solcher Modelle erforderlich ist.

4. Ein Modell für menschliche Kommunikation und Erfahrung: Das Performance-Resilience-Sustainability-Modell (PRS-Modell)

Im menschlichen Leben wird die Außenwelt durch Kommunikationsdynamiken und die Sinnesorgane – spezialisierte strukturelle und funktionelle Netzwerke des Nervensystems – in die Innenwelt des Menschen eingebracht und gelangt schließlich zum Gehirn. Menschen haben innere Sinneserfahrungen, wie beispielsweise korrelative Visualisierungen, Körperempfindungen, Gerüche, Geschmäcker und innere Gedanken, die externen und internen sensorischen Auslösern entsprechen. Da die Handlungen des Kommunikators in der äußeren Umgebung des anderen Individuums stattfinden, werden sie für die Person als beobachtbar dargestellt. Auf der Grundlage der innerlich korrelierten Erfahrungsrepräsentationen der Person wird diese reagieren und Reaktionen erzeugen, die eine organische und psychologische Anpassung gewährleisten und gleichzeitig ein erfolgreiches Fortbestehen sicherstellen.

Das Verhalten des Kommunikators und seine Interaktionen mit der Person dienen als wirksame Inputs, die die Psyche des Individuums als komplexes System berücksichtigen müssen. Gleichzeitig wird der Kommunikator selbst zu einer korrelierten Unterscheidung der inneren Welt der Person. Diese Transformation eines Objekts in ein Subjekt lässt sich mittels einer natürlichen Transformation modellieren, wodurch ein Modell der Modelle entsteht. In der Kategorientheorie ist dies eine Möglichkeit, die relationale/Implikationsstruktur zwischen dem System und seinem Modell durch die Funktoren beizubehalten. Beide Parteien in einer Kommunikationsdynamik verfügen über Modelle von sich selbst und von der anderen Person, in einer korrelierten Unterscheidung, die eine emergente Repräsentation bildet.

Die Frage, wie beobachtbare Größen in ein qualitatives Phänomen umgewandelt werden, wurde in einer vorgeschlagenen mathematischen Theorie für eine Wissenschaft der Eigenschaften behandelt, die von lebenden Organismen auf der Grundlage morphologischer Muster direkt wahrgenommen werden. Die qualitativen Phänomene, die in diesem Rahmen als beobachtbare Größen eines psychologischen Systems gelten, bilden ein imprädikatives System und stellen eine Alternative zu probabilistischen und inferentialistischen Theorien dar. In solchen Fällen sind Wahrnehmungsphänomene Projektionen zugrunde liegender Invarianten – Objekte, die unter bestimmten Transformationen unverändert bleiben. Anstatt sich ausschließlich auf die Perspektive eines externen Beobachters zu stützen, wird es als ebenso gültig angesehen, ein selbstgeneriertes Modell einzubeziehen, das auf der Ich-Perspektive des Individuums auf das Phänomen basiert [53].

Aus dieser Perspektive wird die Kommunikationsdyade als zwei miteinander interagierende, vorausschauende Systeme betrachtet, von denen jedes über ein Vorhersagemodell der äußeren Umgebung (im Falle des Empfängers als untersuchtes System: das Modell des Kommunikators) und seiner eigenen inneren Umgebung (das Selbstmodell des Empfängers) verfügt. Eine emergente Repräsentation muss die Elemente und die etablierten Beziehungen enthalten, und dies wird angemessen mithilfe des phänomenologischen Kalküls durchgeführt, das ein kategorialer Fall der Modellierungsrelation ist [54].

In der Kommunikationsdynamik wird die Beziehung zwischen einer Person und einem natürlichen System durch eine Kodierungsimplication (Wahrnehmung) und eine Dekodierungsimplication (Verständnis) ermöglicht. Bei dieser Art von Performance können wir auch betrachten, wie ein externer Prozess als natürliche Transformation in das Selbst integriert werden kann; daher ist dieser Prozess nicht nur ein Modell für diese Objekt-Subjekt-Transformation, sondern auch für Performance im Allgemeinen. Um darzustellen, wie eine Person Elemente aus ihrem beobachteten Universum repräsentiert, verwenden wir ein

Beziehungsdiagramm verwenden, in dem die Eingabe Elemente aus der Umgebung sind und die Ausgabe die emergente Repräsentation, die durch die wirksame Ursache der Wahrnehmung vermittelt wird (Abbildung 7).

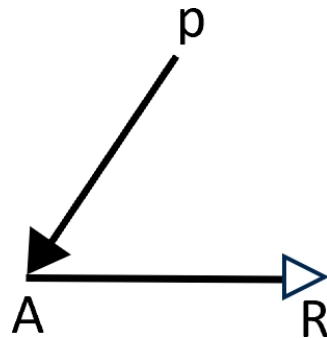


Abbildung 7. Der Performance-Prozess wird in einem Beziehungsdiagramm symbolisiert. Die Wahrnehmung p ist die Funktion, die die Menge der Umgebungselemente A in ein emergentes Repräsentationselement R vermittelt.

In den relationalen Begriffen, die algebraisch durch die lineare *Performance*-Gleichung beschrieben werden,

$$p : A \rightarrow R; p \in H(A, R), \quad (7)$$

Die leistungsschwachen Modelle von Personen – die mit maladaptiven oder veralteten emergenten Repräsentationen korrelieren – schränken ihre Fähigkeit ein, genaue Vorhersagen über sich selbst und ihre Umgebung zu treffen. Der Kommunikator fungiert als Vermittler, der Gelegenheiten für neue Beobachtungen schafft, um den Empfänger zu neuen emergenten Repräsentationen zu führen. Beispielsweise könnte eine komplexe oder konfliktreiche Situation einen stabilen Attraktor als emergente Repräsentation aufrechterhalten, wobei die Welt als unsicherer Ort interpretiert wird. In der Praxis kann diese innere Erfahrung, die mit der emergenten Repräsentation korreliert, umgedeutet und transformiert werden, um sie mit einem leistungsfähigeren Modell in Einklang zu bringen, in dem Sicherheit als situationsabhängig und dynamisch erkannt wird.

Das subjektive Leben eines Menschen wird nicht nur durch die Interaktion mit aktuellen Zuständen beeinflusst, sondern auch durch Vorstellungen von Vergangenheit und Zukunft. In diesem Sinne verfügen wir möglicherweise über eine Reihe von Regeln oder Kriterien, die auf unsere Wahrnehmungen einwirken, um unsere Reaktionen auf resiliente Weise anzupassen. Je größer die Angst vor der Zukunft und der Schmerz der Vergangenheit sind, desto unflexibler wird ein Mensch in der Gegenwart. Je mehr sich ein Mensch auf positive Erfahrungen der Vergangenheit und auf Hoffnung für die Zukunft ausrichtet, desto mehr gewinnt er an Flexibilität in der Gegenwart. Empirisch wurde der Gewinn an Flexibilität der Gehirnkonnektivität (Functional Connectivity Dynamics) in einer Studie nachgewiesen, die wiederholte fMRT-Scans nutzte. Im vorigen Abschnitt (Abbildung 5) haben wir gesehen, dass durch die Zusammensetzung zweier Abbildungen eine neue Organisation erreicht werden kann.

Ein Organismus kann widerstandsfähig sein, weil er seine motorischen Handlungen und Wahrnehmungen nicht nur als Reaktion auf äußere Reize, sondern auch als Reaktion auf interne, aus dem Gedächtnis abgeleitete Metaregeln anpasst, wie in Gleichung (8) dargestellt. In der Kategorientheorie können wir diese Dynamik als die Repräsentation R als Eingabe und das Ausgabeobjekt mit der Hom-Menge $H(A, R)$ durch eine invertierte Abbildung identifizieren, die in algebraischer Form wie folgt lautet:

$$m : R \rightarrow H(A, R); m \in H(R, H(A, R)), \quad (8)$$

wobei A die Menge der Umgebungsbeobachtungsgrößen des Systems bezeichnet und R die Menge (oder Klasse) der Transformationen darstellt, die auf A wirken und eine Darstellung ergeben. $H(A, R)$ ist die Kurzschrift für die Hom-Menge (oder Menge aller Abbildungen), also die Menge aller möglichen Abbildungen von A nach R . Die Schreibweise $m \in H(R, H(A, R))$ bedeutet: „ m ist ein Element der Hom-Menge aller Transformationen von R nach $H(A, R)$ “. Die Funktion m wirkt auf die Menge R der Transformationen ein und erzeugt darüber hinaus neue oder korrigierte Transformationen – Elemente von $H(A, R)$ –, die ihrerseits auf

die Menge der materiellen Komponenten A einwirken. Auf diese Weise erhält und regeneriert das System genau jene Mittel, die es am Leben erhalten, und erreicht so den Kreislauf der effizienten Kausalität. Dies entspricht dem formalen Wesen des (M, R)-Systems in Rosens relationaler Biologie.

Diese Repräsentationen sind nicht statisch, sondern entstehen dynamisch; sie unterliegen Störungen durch interne wie externe Einflüsse. Starke Störungen – wie Traumata, Verluste oder einschneidende Lebensveränderungen – können die bestehende Repräsentation destabilisieren und dadurch ihre Leistungsfähigkeit beeinträchtigen. Resilienz ist der Anpassungsprozess, der Repräsentationen wieder auf ein optimales Funktionsniveau zurückführt.

Daher wird im Leistungszyklus $p: A \rightarrow R$ die Funktion p aufgrund ihrer Identifikation mit dem Output des Resilienzzyklus in angepasster Form einfließen, wobei m die wirksame Ursache und R die materielle Ursache ist. In einer solchen Situation ist die Wahrnehmung die Endursache der als Input identifizierten Repräsentation, als materielle Ursache. Das Beziehungsdiagramm von Leistungsresilienz sieht wie folgt aus (Abbildung 8):

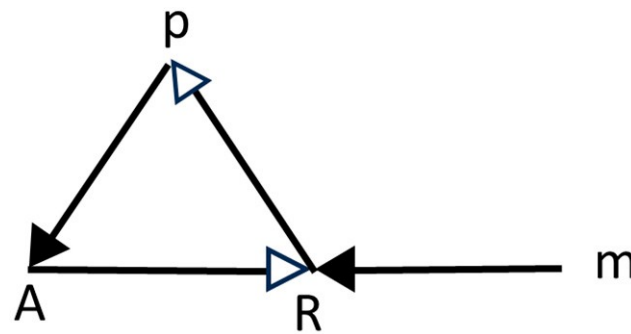


Abbildung 8. Aufbau des Leistungs-Resilienz-Prozesses mit einer inversen Abbildung, wobei A die beobachtbaren Umgebungsfaktoren darstellt, R die Repräsentation, p die Wahrnehmung und m die Metafunktion, die aus den gespeicherten Leistungsregeln früherer Erfahrungen des Organismus abgeleitet wird.

Der Leistungs-Resilienz-Prozess aus dem Diagramm in Abbildung 8 verwendet eine inverse Abbildung. A steht für die beobachtbaren Umgebungsfaktoren, R für die Repräsentation, p für die Wahrnehmung und m für die Metafunktion, die aus den gespeicherten Leistungsregeln früherer Erfahrungen des Organismus abgeleitet wird.

In der zwischenmenschlichen Dynamik lässt sich feststellen, dass Modelle die Resilienz beeinflussen, die wiederum mit Überzeugungen – aus vergangenen Erfahrungen abgeleiteten allgemeinen Regeln – korreliert, welche den Genesungsprozess leiten. Allerdings sind nicht alle Überzeugungen adaptiv. Der gezielte Veränderungsprozess identifiziert und formuliert maladaptive Überzeugungen neu, wodurch der Klient sein kognitives und emotionales Gleichgewicht wiederherstellen kann. Wenn eine Person mit einer Störung konfrontiert ist, ermöglicht ihr die Resilienz, ihre inneren Repräsentationen anzupassen und so ihre Funktionsfähigkeit aufrechtzuerhalten. Beispielsweise muss eine Person, die eine Ressource verliert, ihre Lebensrepräsentation anpassen und die Erfahrung in eine neue Erzählung integrieren, die ihr psychologisches Gleichgewicht wiederherstellt.

Mit den neuen Konfigurationen, die durch diese Funktion von p ermöglicht werden, die als Filter oder Selektor auf der Grundlage zuvor gespeicherter Regeln fungiert, entsteht ein Wechselspiel zwischen m und p . p ist die direkt handelnde Funktion, und m ist die metabildende Funktion. Somit verfügen wir nun über eine Leistungsfunktion und eine Resilienz-Metafunktion.

Nun können wir eine neue Funktion einführen, da die Repräsentation eine aktive Rolle in Bezug auf die Wahrnehmung spielt. Diese Rolle auf der zweiten Metaebene ist notwendig, um die Vermittlung zwischen Leistungsanforderungen – die reaktiv sein können – und Anpassungen der Resilienz zu erklären, die die Flexibilität des Systems innerhalb bestehender Modelle einschränken können und dadurch eine kreative Dynamik ermöglichen. Dies kann als Modell zur Aufrechterhaltung der Produktion neuer Informationen angesehen werden, das den langfristigen Fortbestand des gesamten Systems sicherstellt. Da sie die Zyklen schließt, führt die neue Funktion eine impredikative Eigenschaft in das Gesamtmodell ein. Aufgrund der Impredikativität bezieht sich die in einem solchen Zyklus verarbeitete Information nicht auf externe

; somit können wir sie als Schöpferin einer neuen Art von Organisation betrachten, unabhängig von externer wirksamer Kausalität. Wir werden sie Nachhaltigkeit nennen, und mit p und m wird die Komposition zu $o: p \rightarrow m$. Wie Rosen bereits in der Komposition eines (M, R) -Netzwerks vorschlägt, handelt es sich hierbei um eine inverse Bewertungsabbildung, die das gesamte Modell in algebraischer Form wiedergibt:

$$o: H(A, B) \rightarrow H(B, H(A, B)); o \in H(H(A, B), H(B, H(A, B))), \quad (9)$$

Die diagrammatische Darstellung von (9) ist unten in Abbildung 9 dargestellt:

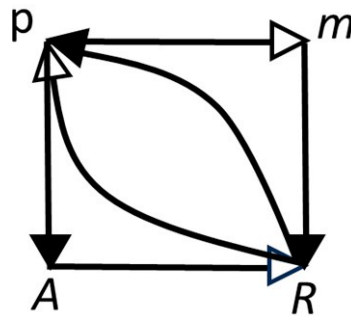


Abbildung 9. Beziehungsdiagramm für Leistungs-, Resilienz- und Nachhaltigkeitsprozesse, wobei A die Umgebung, R die Repräsentation, p die Wahrnehmung und m für Meta steht.

Abbildung 9 zeigt den Zyklus aus Leistung, Resilienz und Nachhaltigkeit, wobei A die Umgebung, R die dynamische Darstellung, p die Wahrnehmung und m die Metaebene darstellt. Wie wir sehen können, erfüllt diese Zusammensetzung alle Kriterien der Imprädikativität und der CLEF-Schleifen, wie sie in einem antizipatorischen System vorkommen. Da sie eine CLEF-Eigenschaft aufweist, lässt sich begründen, warum der Geist und eine ko-kreative Kommunikationsinteraktion neue Informationen oder neue Organisationsformen in der Erfahrung hervorbringen können. Wenn dies in einer natürlichen Transformation über eine dekodierende Implikation mit der äußeren Realität korrespondiert (z. B. beobachtet und erlebt der Organismus eine Kongruenz zwischen dem Modell und der empirischen äußeren Realität; eine Überzeugung wird durch empirische Beweise gestützt), kann dies als neues Wissen betrachtet werden.

Wir können erkennen, dass die Repräsentation im Geist Modelle subjektiver Erfahrung umfassen kann, die im Wesentlichen nicht-prädikativ sind, und wir haben ein mögliches Modell vorgeschlagen, das nicht nur Komponenten der sensorischen Aspekte des Geistes, sondern auch der höheren Kognition integriert. Die Umsetzung eines solchen Modells im Gedankengang und anschließend in den Antworten, die jemand auf einen Fragebogen gibt, bedeutet, dass die beobachtete Variation im Fragebogen oder in einer linearen Erzählung nicht nur von einem Modell der Vergangenheit, sondern auch von einem Modell der die Zukunft.

Im praktischen Bereich von Berufen, die die Dynamik der Kommunikation und der menschlichen Erfahrung verändern, dienen sowohl verbale als auch nonverbale Interaktionen als Auslöser für einen emergenten Prozess, der zur Bildung einer mentalen Repräsentation führt. Gleichzeitig muss die Person, die den Prozess leitet, bedenken, dass die Transformation des Modells, das mit einer spezifischen Repräsentation korreliert, auch mit der Aktivität einer Komponente eines antizipatorischen Systems verbunden ist. Daher ist es hilfreich, sprachliche und nonverbale Signale als Phänomene zu betrachten, die mit Antizipation verbunden sind. Gleichzeitig ermöglicht die Einbeziehung eines PRS-Modells dem Klienten, neue Qualia in seine eigene subjektive Realität einzubringen, die sich dann in Verhaltensweisen verwirklichen und manifestieren. Diese neuen, entschlüsselten Modelle werden nicht nur von vergangenen Modellen bestimmt, sondern auch von neu geschaffenen Modellen, die möglicherweise besser zu zukünftigen Vorhersagen passen.

In der zielorientierten Methodik der neurolinguistischen Psychotherapie (NLPT) bringt der Klient eine Erzählung mit, die eine Verkörperung seiner aktuellen Vorstellung darstellt. Die Beobachtungen des Psychotherapeuten beziehen sich auf das Verhalten und die Äußerungen des Klienten und spiegeln dessen aktuellen Zustand wider, wie er sich in der vergangenheitsorientierten Erzählung des Klienten zeigt. Auf dieser Grundlage

eine Repräsentation, wobei der erste Schritt darin besteht, diese auf einen beabsichtigten zukünftigen Zustand, eine mögliche Repräsentation des Klienten, auszurichten und Fragen sowie nonverbale Hinweise zu formulieren, die zu diesem Zustand führen. Der Klient kann zudem eine Selbstreflexion über seine eigenen Repräsentationsmuster anstoßen und Anpassungen in seinem inneren Umfeld vornehmen, um den gewünschten zukünftigen inneren Dialog, Visualisierungen oder Körperempfindungen zu fördern.

Diese drei Funktionen stehen in Bezug auf Kategorien und Morphismen mit phänomenologischen Ebenen in Zusammenhang. Es handelt sich um Funktionen des menschlichen Geistes und Organismus, die die Wahrnehmung lenken, widerstandsfähige Reaktionen hervorbringen und sich im Laufe der Zeit adaptiv fortsetzen, indem sie ihre Vorhersagen in das gegenwärtige Verhalten einfließen lassen.

Die Implikationen einer Beschränkung auf Forschungsmodelle und die entsprechenden Methodologien für die Wissenschaft der menschlichen Kommunikation und Erfahrung, die aus einfachen Systemen abgeleitet sind, werden durch Rosens Worte dargelegt: „*Insofern Finalität die Auswirkungen zukünftiger Eingaben oder zukünftiger Zustände auf gegenwärtige Zustandsänderungen beinhaltet, wurde der Begriff der Antizipation ohne weiteres Nachdenken aus der seriösen Wissenschaft gestrichen*“ [55].

5. Diskussion

Die Anwendung der Theorie dynamischer Systeme zum Verständnis menschlicher Dynamiken und Kommunikation markiert einen bedeutenden Wandel von traditionellen reduktionistischen Methoden hin zu einem Komplexitätsparadigma, das die komplexe Natur des Menschen und seiner Interaktionen genauer erfasst. Diese Modellentwicklung betont das transformative Potenzial eines Modells, das unter Verwendung der Kategorientheorie beschrieben wird, um Veränderungen in der menschlichen Kommunikation und Erfahrung durch das vorgeschlagene Performance–Resilience–Sustainability (PRS)-Modell zu erklären. Dieser Ansatz zielt darauf ab, zukünftige Forschungen zu Prozessen durch besser erklärte Variabilität zu leiten und Praktiken in Bereichen der professionellen Kommunikation zu verbessern.

Das auf den DSR-Prinzipien basierende PRS-Modell bietet einen neuen Rahmen für das Verständnis der Variabilität, die in der Forschung zu Kommunikations- und Erfahrungsdynamiken beobachtet wird. Durch die Betonung von Imprädikativität, Antizipation und „Closed-to-Efficient Causation“ (CLEF) bietet das Modell einen ganzheitlichen Ansatz zur Analyse menschlicher Dynamiken und ergänzt damit den einfachen Systemansatz. Dies steht im Einklang mit früheren Studien, die die Bedeutung nichtlinearer Dynamiken, Selbstorganisation und kritischer Phasenübergänge für das Verständnis therapeutischer Prozesse sowohl aus mechanistischer als auch aus organischer Sicht hervorheben.

Wie Rosen vorschlug, wird das Modell des antizipatorischen Systems in der Biologie – das entsprechende PRS-Modell für ein antizipatorisches System zur Erklärung menschlicher Dynamiken – ein differenzierteres Verständnis ermöglichen, indem es vergangene und zukünftige korrelierte Zustände in die Analyse einbezieht. Dies stellt eine Abkehr von traditionellen Modellen dar, die sich hauptsächlich auf den Determinismus der Vergangenheit konzentrieren. Die Fähigkeit antizipatorischer Systeme, zukünftige Zustände vorherzusagen und sich an diese anzupassen, bietet eine umfassendere Sicht auf menschliche Interaktionen, was für wirksame Interventionen und Planungen unerlässlich ist.

Die im Rahmen von PRS vorgeschlagene Repräsentation unterscheidet sich grundlegend von statischen, gespeicherten Repräsentationen. Klassische Kommunikationsmodelle behandeln Repräsentationen als feste Kodierungen, deren Bedeutung von einem externen Interpreten stammt, erklären jedoch nicht, wie der Inhalt zu diesem Etwas wird. In einem emergenten Rahmen entwickeln sich Repräsentationen im Zuge der fortlaufenden Aktivität des Systems; Modelle unterstützen sie und zeigen mögliche Interaktionen sowie deren erwartete Ergebnisse auf. Da diese Modelle erfolgreich sein oder scheitern können, entwickelt das System ein normatives Verständnis von Wahrheit und Falschheit und kann sein Verhalten entsprechend anpassen [56]. Eine statische Repräsentation kann unverändert abgerufen, aber nicht aktualisiert werden; eine emergente PRS-Repräsentation wird kontinuierlich neu inszeniert und modifiziert, während neue Informationen und Vorhersagen integriert werden. Dieser Prozess steht im Einklang mit Rosens Behauptung, dass Antizipation die Integration zukünftiger Möglichkeiten in die gegenwärtige Dynamik beinhaltet und nicht durch Modelle erfasst werden kann, die sich nur auf vergangene Eingaben beziehen [57].

Befunde aus der Kommunikationswissenschaft stützen die Vorstellung, dass Repräsentationen dynamisch sind und gemeinsam konstruiert werden. Das interaktive Abgleichungsmodell von Garrod und Pickering zeigt, dass Gesprächspartner ihre sprachlichen Repräsentationen automatisch durch Priming über Wörter, Laute und Grammatik hinweg aufeinander abstimmen; dieser Abgleich erfolgt auf mehreren Ebenen, sodass die Konvergenz auf einer Ebene den Abgleich auf höheren Ebenen fördert. Der Mensch scheint „für den Dialog geschaffen“ zu sein, und der interaktive Abgleich macht das Gespräch mühelos, indem er ein gemeinsames Situationsmodell schafft [58]. Neuroimaging-Studien deuten zudem darauf hin, dass interagierende Individuen eine Gehirn-zu-Gehirn-Kopplung aufweisen: Das Wahrnehmen der Handlungen eines anderen löst beim Beobachter ähnliche neuronale Muster aus, was Handlungen einschränkt und komplexe gemeinsame Verhaltensweisen ermöglicht. Kommunikation ist daher ein Multi-Gehirn-Prozess, bei dem Bedeutung durch Kopplung entsteht, anstatt in einem einzelnen Gehirn gespeichert und abgerufen zu werden [28]. Synchronität und Netzwerkflexibilität liefern zusätzliche Indikatoren für dynamische Repräsentation. Experimente haben gezeigt, dass rhythmische Synchronität die wahrgenommene Ähnlichkeit und Nähe zwischen Partnern erhöht und prosoziales Verhalten wie Kooperation und Hilfsbereitschaft fördert. Synchronität beinhaltet oft eine vorübergehende Verschmelzung von Selbst und Anderen, was darauf hindeutet, dass gemeinsame Repräsentationen fließend und zwischenmenschlich sind [59]. Auf neuronaler Ebene unterstützt die dynamische Neukonfiguration von Hirnnetzwerken – insbesondere in frontalen Regionen – die exekutive Flexibilität; Personen mit größerer Netzwerkflexibilität schneiden bei Arbeitsgedächtnisaufgaben besser ab und passen sich leichter an wechselnde Anforderungen an [60]. Diese Befunde stützen die PRS-These, dass Leistung, Resilienz und Nachhaltigkeit miteinander verflochtene Prozesse sind: Die momentane Leistung (p) prägt resiliente Aktualisierungen (m) und wird von diesen geprägt, während nachhaltige langfristige Muster (o).

Die organisatorische Geschlossenheit gegenüber der effizienten Kausalität in komplexen Systemen, die impredikative Modelle zulässt und eine Finalursache innerhalb der relationalen Struktur impliziert, impliziert für sich genommen nicht die in lebenden Systemen beobachtete Zweckmäßigkeit. Eine solche organisatorische Geschlossenheit allein erklärt zielgerichtetes Verhalten nicht vollständig. In Rosens Begrifflichkeit ist es das Vorhandensein impredikativer Modelle innerhalb des Organismus, das die Erzeugung von Modellen der Zukunft ermöglicht. Die Verhaltensausrprägungen dieser internen Modelle erklären Veränderungen in der äußeren Umgebung, die als zielgerichtet angesehen werden können und die mit den subjektiven Repräsentationen des Organismus korrelieren.

Eine zukünftige empirische Validierung des PRS-Modells kann mithilfe von longitudinalen Einzelfallstudien erreicht werden, bei denen personalisierte Fragebögen zum Einsatz kommen, in denen Klienten Items bewerten, die zwei Dimensionen entsprechen: vergangenheitsorientierte reflektierende Erfahrungen und zukunftsorientierte intentionale Erfahrungen. Dabei würden tägliche Tagebucheinträge die zeitliche Entwicklung dieser beiden Dimensionen über therapeutische Sitzungen hinweg sowie deren Einfluss auf Veränderungsprozesse und Ergebnisse erfassen.

Der PRS-Ansatz betrachtet Kommunikation und Erfahrung somit als emergente, antizipatorische Prozesse. Anstatt Narrative als statische Geschichten zu behandeln, die entschlüsselt werden müssen, betrachtet er sie als dynamische Konstruktionen, die vergangene Erfahrungen mit imaginären Zukunftsmodellen verbinden. Interventionen, die darauf abzielen, Veränderungen zu erleichtern, sollten sich daher darauf konzentrieren, das gekoppelte System – durch Sprache, Gestik oder Synchronität – zu stören, um Raum für die Entstehung neuer Repräsentationen zu schaffen. Die Messung dieser Dynamiken erfordert mehrstufige Zeitreihendesigns, die Verhaltens-, physiologische und neuronale Signale über bestimmte Zeitskalen hinweg verfolgen. Indem diese Analysen auf der Kategorientheorie und der relationalen Biologie basieren, bietet PRS einen systematischen Weg, um beobachtete Variabilität mit einem Modell für Variation zu verknüpfen. Dies bedeutet, dass die an der Kommunikation beteiligten Parteien während kritischer Schwankungen und Phasen der Instabilität ihre Interventionen so anpassen können, dass sie mit der Veränderungsbereitschaft des Klienten im Einklang stehen, während sie sich gleichzeitig auf einen vom Geist initiierten intentionalen Prozess stützen. Aus dieser Perspektive können wir den Geist als Funktor der Beziehungen zwischen Modellen definieren, einschließlich PRS-ähnlicher Modelle, die die im menschlichen Leben zum Ausdruck kommenden organischen und subjektiven Funktionen abbilden.

Dieser personalisierte Ansatz fügt aktive Modellkomponenten hinzu, die dazu dienen, die Kommunikation bewusst zu verbessern und nachhaltige Ergebnisse für alle Teilnehmer einer Interaktion zu fördern – eine Idee, die mit der Tatsache im Einklang steht, dass Menschen laut Poppers Konzept [61] *aktive Organismen* sind.

Beiträge der Autoren: Konzeption: C.Z.; Verfassen des ersten Entwurfs: C.Z. und G.d.F.; Überarbeitung und Redaktion: C.Z., G.d.F., G.S. und O.G.; Visualisierung: C.Z.; Betreuung: G.d.F. Alle Autoren haben die veröffentlichte Fassung des Manuskripts gelesen und ihr zugestimmt.

Finanzierung: Diese Forschung erhielt keine externe Finanzierung.

Erklärung der Ethikkommission: Nicht zutreffend. **Erklärung zur**

Datenverfügbarkeit: Es liegen keine zusätzlichen Daten vor.

Danksagungen: Ich danke Aloisius Louie für Einblicke in die Mathematik der Kategorientheorie sowie in die Konzepte und Bedeutungen antizipatorischer Systeme und für die Klärung zahlreicher Fragen. Ich bin Alexandru Caragea dankbar, mit dem ich große Fortschritte bei der Erforschung neuer Perspektiven auf Systeme und Physik im menschlichen Geist gemacht habe.

Interessenkonflikte: Die Autoren erklären, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Abkürzungen

In diesem Manuskript werden die folgenden Abkürzungen verwendet:

DSR Forschung zu dynamischen
Systemen DST Theorie
dynamischer Systeme
PRS Leistungsfähigkeit, Resilienz,
Nachhaltigkeit CT Kategorientheorie
NLPt Neurolinguistische Psychotherapie

Anhang A

Kategorientheorie (CT): Ein Zweig der Mathematik, der einen einheitlichen Rahmen für das Verständnis mathematischer Strukturen und ihrer Beziehungen bietet. Sie wurde in den 1940er Jahren von Samuel Eilenberg und Saunders Mac Lane entwickelt, um Konzepte aus verschiedenen Bereichen der Mathematik, insbesondere der Algebra und der Topologie, zu formalisieren und zu verallgemeinern.

Kategorien: Eine Kategorie besteht aus Objekten (z. B. Mengen, Räumen, Gruppen, Typen in der Programmierung) und Morphismen (Pfeilen) zwischen Objekten, die Funktionen, Transformationen oder Beziehungen darstellen.

Funktoren: In der Kategorientheorie ist ein Funktor ein mathematisches Konzept, das als Brücke zwischen zwei Kategorien fungiert. Genauer gesagt ordnet ein Funktor jedem Objekt in einer Kategorie ein entsprechendes Objekt in einer anderen Kategorie zu und jedem Morphismus (Pfeil) in der ersten Kategorie einen entsprechenden Morphismus in der zweiten Kategorie. Die wesentliche Eigenschaft eines Funktors besteht darin, dass er die Struktur der Kategorien bewahrt: Er bildet Identitätsmorphismen auf Identitätsmorphismen ab und bewahrt die Komposition von Morphismen. Das bedeutet: Wenn wir in der ersten Kategorie zwei komponierbare Morphismen haben, sind ihre Bilder unter dem Funktor in der zweiten Kategorie ebenfalls komponierbar, und das Ergebnis ihrer Komposition entspricht dem Bild ihrer Komposition. Funktoren sind in der Kategorientheorie von grundlegender Bedeutung, da sie es uns ermöglichen, verschiedene mathematische Strukturen konsistent zu vergleichen und dabei Konzepte und Beziehungen von einem Rahmen in einen anderen zu übertragen, ohne ihre wesentlichen Eigenschaften zu verändern.

Natürliche Transformationen: Verfahren zur Umwandlung eines Funktors in einen anderen unter Beibehaltung der Struktur.

Relationale Biologie: Ein Zweig der theoretischen Biologie, der lebende Systeme in erster Linie im Hinblick auf ihre organisatorischen und funktionalen Beziehungen und weniger im Hinblick auf ihre materiellen Eigenschaften untersucht

Zusammensetzung. Pionierarbeit leistete Nicolas Rashevsky, der argumentierte, dass biologische Phänomene nicht allein durch reduktionistische Methoden erklärt werden können, die sich ausschließlich auf physikalische und chemische Komponenten konzentrieren. Das Thema wurde von Rashevskys Schüler Robert Rosen und Rosens Schüler Aloisius Louie weiterentwickelt.

Relationale Modellierung: Ein formaler Ansatz zur Darstellung von Systemen, der auf Beziehungen statt nur auf Objekten oder Komponenten basiert.

Diagramm: In der Kategorientheorie ist dies eine strukturierte Methode zur Darstellung von Objekten und Morphismen (Pfeilen) innerhalb einer Kategorie. Formal gesehen ist ein Diagramm ein Funktor von einer Indexkategorie zu einer Zielkategorie.

Pfeildiagramm: Eine grafische Methode zur Veranschaulichung von Morphismen zwischen Objekten in einer Kategorie. Es handelt sich um einen Sonderfall eines kommutativen Diagramms, bei dem die Pfeile (Morphismen) Funktionen, Transformationen oder strukturelle Abbildungen darstellen.

Impredikativ: In der Logik und den Grundlagen der Mathematik ist eine impredikative Definition eine Definition, die ein Objekt definiert, indem sie auf eine Gesamtheit verweist, die das Objekt selbst einschließt. Dieses Konzept wurde erstmals von Henri Poincaré kritisch analysiert und später von Bertrand Russell formalisiert, der darin eine Quelle von Paradoxen sah (z. B. Russells Paradoxon). In antizipatorischen Systemen entsteht Impredikativität, wenn der gegenwärtige Zustand eines Systems durch seine zukünftigen Zustände beeinflusst wird – was bedeutet, dass sich das System durch eine Schleife definiert, die zukünftige Informationen einbezieht.

Umfeld: Bezeichnet den externen Kontext oder die Umgebung, in die ein relationales System (z. B. ein (M, R)-System) eingebettet ist. Es ist die „Außenwelt“, die die materiellen und energetischen Ressourcen bereitstellt, auf die das System zurückgreift (für Stoffwechsel, Wachstum usw.), und die die Outputs des Systems (z. B. Abfallprodukte) aufnimmt.

Shannon-Zahl: Eine Schätzung der Komplexität des Spielbaums beim Schach, berechnet von Claude Shannon in seiner Arbeit „Programming a Computer for Playing Chess“ aus dem Jahr 1950. Sie stellt die ungefähre Anzahl möglicher Schachvarianten dar und verdeutlicht die immense Komplexität des Schachspiels, wodurch eine Brute-Force-Berechnung unpraktikabel wird.

Referenzen

1. Felice, G.D. Dynamische Systemforschung (DSR) in der Psychotherapie: Eine umfassende Übersicht über empirische Ergebnisse und deren klinische Implikationen. *Systems* **2024**, *12*, 54. [[CrossRef](#)]
2. Salvatore, S.; Lauro-Grotto, R.; Gennaro, A.; Gelo, O. Die dynamische Natur der Intersubjektivität erfassen. In: *Dynamic Process Methodology in the Social and Developmental Sciences*; Valsiner, J., Molenaar, P.C.M., Lyra, M.C.D.P., Chaudhary, N., Hrsg.; Springer: New York, NY, USA, 2009; S. 171–190.
3. Schiepek, G.K.; Viol, K.; Aichhorn, W.; Hütt, M.-T.; Sungler, K.; Pincus, D.; Schöller, H.J. Psychotherapie ist chaotisch – (nicht nur) in einer computergestützten Welt. *Front. Psychol.* **2017**, *8*, 379. [[CrossRef](#)]
4. Tschacher, W.; Haken, H. Kausalität und Zufall: Erkennung deterministischer und stochastischer Komponenten in psychotherapeutischen en Prozessen. *Psychother. Res.* **2020**, *30*, 1075–1087. [[CrossRef](#)]
5. Gennaro, A.; Carola, V.; Ottaviani, C.; Pesca, C.; Palmieri, A.; Salvatore, S. Affektiver Sättigungsindex: Ein lexikalisches Maß für Affekte. *Entropy* **2021**, *23*, 1421. [[CrossRef](#)]
6. Salvatore, S. Psychotherapieforschung braucht Theorie. Entwurf einer Erkenntnistheorie des klinischen Austauschs. *Integr. Psychol. Behav. Sci.* **2011**, *45*, 366–388. [[CrossRef](#)]
7. Tschacher, W.; Scheier, C.; Grawe, K. Ordnung und Musterbildung in der Psychotherapie. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci.* **1998**, *2*, 195–215. [[CrossRef](#)]
8. Bassett, D.S.; Sporns, O. Netzwerk-Neurowissenschaft. *Nat. Neurosci.* **2017**, *20*, 353–364. [[CrossRef](#)]
9. Haken, H.; Tschacher, W. Wie lassen sich psychopathologische Zustände verändern? Hypothesen auf der Grundlage der Theorie komplexer Systeme. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci.* **2017**, *21*, 19–34.
10. Klocek, A.; Premus, J.; Řiháč, T. Anwendung von Methoden der Dynamischen Systemtheorie und der Komplexitätstheorie in der Psychotherapie : Eine systematische Literaturübersicht. *Psychother. Res.* **2024**, *34*, 828–844. [[CrossRef](#)]
11. De Felice, G.; Sciaraffa, N.; Antonacci, Y.; Giuliani, A.; Schöller, H.; Aichhorn, W.; Kratzer, L.; Schiepek, G. Die S-F-Oszillationen in der „- Psychotherapie. *J. Contemp. Psychother.* **2026**, *56*, 99–106. [[CrossRef](#)]
12. Webber, C.L.; Marwan, N. (Hrsg.) *Recurrence Quantification Analysis: Theory and Best Practices*; Understanding Complex Systems; Springer International Publishing: Cham, Schweiz, 2015.

13. Haken, H. *Information und Selbstorganisation: Ein makroskopischer Ansatz für komplexe Systeme*, 3. Aufl.; Springer: Berlin/Heidelberg, Deutschland; New York, NY, USA, 2006.
14. Liebovitch, L.S.; Peluso, P.R.; Norman, M.D.; Su, J.; Gottman, J.M. Mathematisches Modell der Dynamik der Psychotherapie. *Cogn. Neurodyn.* **2011**, *5*, 265–275. [[CrossRef](#)]
15. Rosen, R. *Antizipatorische Systeme: Philosophische, mathematische und methodologische Grundlagen*; IFSR International Series in Systems Science and Systems Engineering; Springer: New York, NY, USA, 2012; Band 1.
16. Louie, A.H. *Mehr als das Leben selbst: Eine synthetische Fortsetzung in der relationalen Biologie*; De Gruyter: Berlin, Deutschland, 2009.
17. Weaver, W. Wissenschaft und Komplexität. In *Facetten der Systemwissenschaft*; Springer: Boston, MA, USA, 1991; S. 449–456.
18. von Bertalanffy, L. *Allgemeine Systemtheorie: Grundlagen, Entwicklung, Anwendungen*; Braziller: New York, NY, USA, 1968.
19. Wiener, N. *Kybernetik oder Steuerung und Kommunikation bei Tier und Maschine*, 2. Auflage; MIT Press: Cambridge, Großbritannien, 1961.
20. Shannon, C.E. Eine mathematische Theorie der Kommunikation. *Bell Syst. Tech. J.* **1948**, *27*, 379–423. [[CrossRef](#)]
21. Watzlawick, P.; Bavelas, J.B.; Jackson, D.D. *Pragmatik der menschlichen Kommunikation: Eine Untersuchung von Interaktionsmustern, Pathologien und Paradoxien der „“*; Norton: New York, NY, USA, 1980.
22. Watzlawick, P.; Weakland, J.H.; Fisch, R.; Erickson, M.H. *Veränderung: Prinzipien der Problembildung und Problemlösung*; W. W. Norton: New York, NY, USA; London, UK, 1974.
23. Von Foerster, H. *Understanding Understanding*; Springer: New York, NY, USA, 2003.
24. Maturana, H.R.; Varela, F.J. *Autopoiesis und Kognition: Die Verwirklichung des Lebendigen*; Boston Studies in der Philosophie und Geschichte der en Wissenschaft; Springer: Dordrecht, Niederlande, 1980; Band 42.
25. Varela, F.G.; Maturana, H.R.; Uribe, R. Autopoiesis: Die Organisation lebender Systeme, ihre Charakterisierung und ein Modell. *Biosystems* **1974**, *5*, 187–196. [[CrossRef](#)]
26. Bateson, G. *Schritte zu einer Ökologie des Geistes: Gesammelte Aufsätze zu Anthropologie, Psychiatrie, Evolution und Erkenntnistheorie*; Aronson: Northvale, New Jersey, USA, 1987.
27. Stephens, G.J.; Silbert, L.J.; Hasson, U. Neuronale Kopplung zwischen Sprecher und Zuhörer als Grundlage erfolgreicher Kommunikation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2010**, *107*, 14425–14430. [[CrossRef](#)]
28. Hasson, U.; Ghazanfar, A.A.; Galantucci, B.; Garrod, S.; Keysers, C. Gehirn-zu-Gehirn-Kopplung: Ein Mechanismus zur Schaffung und zum Austausch einer sozialen Welt im Rahmen der „“. *Trends Cogn. Sci.* **2012**, *16*, 114–121. [[CrossRef](#)]
29. Koole, S.L.; Tschacher, W. Synchronität in der Psychotherapie: Eine Übersicht und ein integrativer Rahmen für die therapeutische Allianz. *Front. Psychol.* **2016**, *7*, 862. [[CrossRef](#)]
30. Ramseyer, F.; Tschacher, W. Nonverbale Synchronität in der Psychotherapie: Koordinierte Körperbewegungen spiegeln die Qualität der Beziehung us und Ergebnis wider. *J. Consult. Clin. Psychol.* **2011**, *79*, 284–295. [[CrossRef](#)]
31. Pincus, D.; Cadsky, O.; Berardi, V.; Asuncion, C.M.; Wann, K. Fraktale Selbststruktur und psychische Resilienz. *Nonlinear Dyn. Psychol. Life Sci.* **2019**, *23*, 57–78.
32. Gelo, O.C.G.; Ziglio, R.; Armenio, S.; Fattori, F.; Pozzi, M. Soziale Repräsentation der therapeutischen Beziehung bei kognitiven, en und verhaltenstherapeutischen Psychotherapeuten. *J. Couns. Psychol.* **2016**, *63*, 42–56. [[CrossRef](#)]
33. Fuchs, T. Die Zirkularität des verkörperten Geistes. *Front. Psychol.* **2020**, *11*, 1707. [[CrossRef](#)]
34. Zacks, J.M. Ereigniswahrnehmung und Gedächtnis. *Annu. Rev. Psychol.* **2020**, *71*, 165–191. [[CrossRef](#)]
35. Thurner, S.; Klimek, P.; Hanel, R.A. *Einführung in die Theorie komplexer Systeme*, 1. Aufl.; Oxford University Press: Oxford, Großbritannien; New York, NY, USA, 2018; ISBN 978-0-19-186106-2.
36. San Miguel, M. Frontiers in Complex Systems. *Front. Complex Syst.* **2023**, *1*, 1080801. [[CrossRef](#)]
37. Shannon, C.E., XXII. Programming a Computer for Playing Chess. *Lond. Edinb. Dublin Philos. Mag. J. Sci.* **1950**, *41*, 256–275. [[CrossRef](#)]
38. Cambridge Dictionary: Komplexität. Online verfügbar: <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/complexity> (abgerufen am 13. Dezember 2025).
39. Campbell, J.O. Der universelle Darwinismus als Prozess der Bayes'schen Inferenz. *Front. Syst. Neurosci.* **2016**, *10*, 49. [[CrossRef](#)]
40. Gentili, P.L. Chemische KI im Rampenlicht: Der Beitrag photochromer Materialien und oszillierender chemischer Reaktionen. *Adv. Opt. Mater.* **2025**, *13*, 2500016. [[CrossRef](#)]
41. Rosen, R. *Essays on Life Itself: Complexity in Ecological Systems*; Columbia University Press: New York, NY, USA, 2012.
42. Bich, L.; Mossio, M.; Ruiz-Mirazo, K.; Moreno, A. Biologische Regulation: Steuerung des Systems von innen heraus. *Biol. Philos.* **2016**, *31*, 237–265. [[CrossRef](#)]
43. Kauffman, S.A.; Roli, A. Was ist Bewusstsein? Künstliche Intelligenz, echte Intelligenz, Quantenbewusstsein und Qualia. *Biol. J. Linn. Soc.* **2023**, *139*, 530–538. [[CrossRef](#)]
44. Louie, A.H. Mathematische Grundlagen antizipatorischer Systeme. In: *Handbuch der Antizipation*; Poli, R., Hrsg.; Springer International Publishing: Cham, Schweiz, 2017; S. 1–29.
45. Nadin, M. (Hrsg.) Medizin: Der entscheidende Test für Antizipation. In *Antizipation und Medizin*; Nadin, M., Hrsg.; Springer International Publishing: Cham, Schweiz, 2017; S. 1–27.

46. Poli, R. (Hrsg.) Einführung in die Antizipation. In: *Handbuch der Antizipation*; Poli, R., Hrsg.; Springer International Publishing: Cham, Schweiz, 2019; S. 3–16.
47. Mac Lane, S. *Categories for the Working Mathematician*; Graduate Texts in Mathematics; Springer: New York, NY, USA, 1978; Band 5.
48. Aru, J.; Rutiku, R.; Wibral, M.; Singer, W.; Melloni, L. Frühe Auswirkungen früherer Erfahrungen auf die bewusste Wahrnehmung. *Neurosci. Conscious.* **2016**, *2016*, niw004. [[CrossRef](#)]
49. Louie, A.H.; Poli, R. Die Ausbreitung hierarchischer Zyklen. *Int. J. Gen. Syst.* **2011**, *40*, 237–261. [[CrossRef](#)]
50. Rosen, R. Eine relationale Theorie biologischer Systeme II. *Bull. Math. Biophys.* **1959**, *21*, 109–128. [[CrossRef](#)]
51. Rosen, R. Über ein logisches Paradoxon, das im Begriff einer sich selbst reproduzierenden Automatisierung impliziert ist. *Bull. Math. Biophys.* **1959**, *21*, 387–394. [[CrossRef](#)]
52. Rosen, R. Die Darstellung biologischer Systeme aus der Sicht der Kategorientheorie. *Bull. Math. Biophys.* **1958**, *20*, 317–341. [[CrossRef](#)]
53. Albertazzi, L.; Louie, A.H. Eine mathematische Wissenschaft der Eigenschaften: Eine Fortsetzung. *Biol. Theory* **2016**, *11*, 192–206. [[CrossRef](#)]
54. Louie, A.H. Eine relationale Theorie des Sichtbaren. *Axiomathes* **2022**, *32*, 793–816. [[CrossRef](#)]
55. Richardson, I.W.; Louie, A.H.-Y.; Rosen, R. (Hrsg.) *Theoretische Biologie und Komplexität: Drei Aufsätze zur Naturphilosophie komplexer Systeme*; Academic Press: Orlando, FL, USA, 1985.
56. Bickhard, M.H. Ein Prozessmodell der Entstehung von Repräsentation. In *Emergence, Complexity, Hierarchy, Organization, Ausgewählte und bearbeitete Beiträge der ECHO III-Konferenz*; Farre, G.L., Oksala, T., Hrsg.; Acta Polytechnica Scandinavica; Die Finnische Akademie der Technikwissenschaften: Espoo, Finnland, 1998; S. 3–7.
57. Allen, J.W.P.; Mirski, R.; Bickhard, M.H. Jenseits des Spiegels: Ein handlungsbasiertes Modell des Wissens durch Reflexion. *Front. Dev. Psychol.* **2024**, *2*, 1449705. [[CrossRef](#)]
58. Garrod, S.; Pickering, M.J. Warum ist Konversation so einfach? *Trends Cogn. Sci.* **2004**, *8*, 8–11. [[CrossRef](#)]
59. Rabinowitch, T.-C.; Knafo-Noam, A. Synchrone rhythmische Interaktion verstärkt die wahrgenommene Ähnlichkeit und Nähe von Kindern zueinander. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0120878. [[CrossRef](#)]
60. Braun, U.; Schäfer, A.; Walter, H.; Erk, S.; Romanczuk-Seiferth, N.; Haddad, L.; Schweiger, J.I.; Grimm, O.; Heinz, A.; Tost, H.; et al. Dynamische Rekonfiguration frontaler Hirnnetzwerke während exekutiver Kognition beim Menschen. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **2015**, *112*, 11678–11683. [[CrossRef](#)]
61. Niemann, H.-J. *Karl Popper und die zwei neuen Geheimnisse des Lebens*; Mohr Siebeck: Tübingen, Deutschland, 2014.

Haftungsausschluss/Anmerkung des Verlags: Die in allen Publikationen enthaltenen Aussagen, Meinungen und Daten sind ausschließlich die der einzelnen Autoren und Mitwirkenden und nicht die von MDPI und/oder den Herausgebern. MDPI und/oder die Herausgeber lehnen jede Haftung für Personen- oder Sachschäden ab, die aus den im Inhalt genannten Ideen, Methoden, Anweisungen oder Produkten resultieren.