

Wissenschaftliche Fachbewertung: Thermodynamische, informationstheoretische und kognitionswissenschaftliche Dimensionen von Intelligenz und Bewusstsein

Einleitung: Epistemologische Verortung und theoriegeschichtlicher Kontext

Der vorliegende Artikel von Frank Kemper, titulierte als „Intelligenz ist überall: Eine Frage der Ordnung“, formuliert einen radikalen ontologischen und epistemologischen Paradigmenwechsel in der Konzeptualisierung von Intelligenz, Bewusstsein und biologischer Existenz.¹ Durch die konsequente Loslösung des Intelligenzbegriffs von anthropozentrischen und spezifisch biologischen (neurophysiologischen) Voraussetzungen postuliert der Text ein universelles, thermodynamisch fundiertes System. In diesem System wird Intelligenz als unausweichliches, deterministisches Resultat der Interaktion von Ordnungssystemen (Naturgesetzen), physikalischer Substanz (Materie und Energie) und zeitlicher Dauer verstanden. Diese Abhandlung greift intuitiv tiefgreifende theoretische Diskurse der modernen Physik, der Kognitionswissenschaften, der theoretischen Biologie sowie der Kosmologie auf. Bereits in den 1940er und 1960er Jahren begann der Computerpionier Konrad Zuse zu spekulieren, dass das Universum in seiner Gesamtheit als ein gigantischer Computer verstanden werden könne, der kontinuierlich formale Regeln ausführt, um seine eigene Evolution zu berechnen.² Kempers These knüpft nahtlos an diesen sogenannten Pan-Komputationalismus an, eine Strömung der theoretischen Informatik und Philosophie, die besagt, dass jedes physikalische System auf fundamentaler Ebene Informationsverarbeitung beziehungsweise Berechnungen durchführt.³ Das primäre Ziel der vorliegenden wissenschaftlichen Fachbewertung ist es, die im Artikel aufgestellten Thesen einer rigorosen physikalischen, biologischen und informationstheoretischen Prüfung zu unterziehen. Bemerkenswert ist, dass die deduktiv abgeleiteten Prämissen des Artikels in extrem hohem Maße mit etablierten und hochaktuellen wissenschaftlichen Theorien korrespondieren. Dazu zählen insbesondere das *Free Energy Principle* (FEP) nach Karl Friston⁶, die *Self-Model Theory of Subjectivity* (SMT) nach Thomas Metzinger⁸, Theorien zur kausalen Entropie¹¹ sowie kosmologische Lösungsansätze für das Fermi-Paradoxon, wie die *Transcension Hypothesis* von John M. Smart.¹³

Gleichzeitig erfordert die weitreichende Reduktion komplexer biologischer Phänomene auf mechanistische, physikalische Gesetzmäßigkeiten eine kritische wissenschaftliche Differenzierung. Die Auflösung der Grenze zwischen „lebendiger“ und „toter“ Materie berührt fundamentale Debatten der theoretischen Biologie, insbesondere hinsichtlich der Autopoiesis, der zellulären Homöostase und der Teleologie (Zielgerichtetheit) adaptiver Systeme.¹⁶ Die vorliegende Bewertung analysiert die vom Autor vorgeschlagene Architektur der Intelligenz systematisch auf mehreren Komplexitätsebenen – von subatomaren informationellen Prozessen über epigenetische Gedächtnisstrukturen und phänomenales Bewusstsein bis hin zu kosmologischen Skalen und den absoluten physikalischen Grenzen der Berechenbarkeit.

Die thermodynamische Ontologie der Intelligenz: Entropie und kausale Kräfte

Die Kernthese des Artikels manifestiert sich in der reduktionistischen Gleichung „Ordnungssystem + Substanz + Zeit = Intelligenz“. Der Autor definiert Intelligenz in ihrer grundlegendsten Form als die physikalische Eigenschaft eines Systems, durch stetige Anpassung an die herrschenden Naturgesetze Zustände des minimalen energetischen Widerstands und der maximalen Effizienz zu erreichen. Diese Definition entkoppelt kognitive Leistung vollständig von biologischen Gehirnen und transferiert sie in das Feld der Thermodynamik und Informationstheorie.

Thermodynamische Modelle und die Quantifizierung von Intelligenz

Aus Sicht der theoretischen Physik ist der Ansatz des Artikels äußerst fundiert und spiegelt sich in modernen physikalischen Theorien der Intelligenz wider. Intelligenz lässt sich mathematisch als die Fähigkeit eines Systems beschreiben, Energie effizient zu nutzen, um adaptives, entropiereduzierendes Verhalten zu generieren.¹⁸ In thermodynamischen Modellen wird die Beziehung zwischen der Intelligenz eines Systems (I), der Reduktion von Entropie (ΔS), dem Energieverbrauch (ΔE) und der Temperatur (T) formalisiert als:

$$I = \frac{-\Delta S}{\Delta E \cdot T}$$

Diese Gleichung bestätigt die zentrale Prämisse des Artikels: Ein intelligenteres System ist jenes, das bei einer gegebenen Temperatur und mit einem geringeren Energieaufwand eine stärkere Reduktion von Entropie (Unordnung beziehungsweise informationeller Unsicherheit) in seiner Umgebung oder in sich selbst bewirkt.¹⁹ Das universelle Streben nach „höchster Energieersparnis“, wie es im Text beschrieben wird, korreliert direkt mit dem Zwang komplexer (sowohl biologischer als auch physikalischer) Systeme, ihre interne geordnete Struktur aufrechtzuerhalten, während die Gesamtentropie des geschlossenen Universums gemäß dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik unweigerlich ansteigt.²⁰ Entropie ist, in einfachen Worten, die universelle Steuer auf die Zeit; der beständige Kampf gegen diese Entropie ist die treibende Kraft hinter der Entstehung von Ordnung.²⁰

Ein noch präziseres physikalisches Korrelat zu Kempers „Drang in die absolute Effizienz“ liefert die Theorie der *Causal Entropic Forces* (Kausale Entropiekraft), entwickelt von den Physikern A. D. Wissner-Gross und C. E. Freer.¹¹ Diese bahnbrechende Theorie postuliert, dass intelligentes

Verhalten fundamentale thermodynamische Ursprünge aufweist und sich als eine reale physikalische Kraft äußert, die Systeme dazu antreibt, ihre kausale Entropie zu maximieren.¹¹ In diesem Kontext bedeutet die Maximierung der kausalen Entropie das Bestreben eines Systems, sich Zustandsraumpositionen anzunähern, in denen es die maximale Anzahl zukünftiger Handlungsoptionen oder Pfade offenhält (Maximierung des Empowerment).¹² Die kausale Entropiekraft F wird formalisiert als die Ableitung der kausalen Entropie über alle möglichen Pfade, gewichtet mit einer kausalen Pfad-Temperatur T_c ¹²:

$$F(X_0, \tau) = T_c \nabla_{X_0} S_c(X, \tau)$$

Diese physikalische Beschreibung untermauert Kempers Behauptung nachdrücklich, dass Intelligenz kein intentionales, bewusst erdachtes Problemfeld erfordert. Sie geht vielmehr aus physikalischen Grundregeln hervor, die blinde Agenten unweigerlich in Zustände maximaler adaptiver Flexibilität treiben.¹¹ Das physikalische Universum „berechnet“ somit Intelligenz als ein statistisch wahrscheinliches Nebenprodukt des thermodynamischen Strebens nach optimaler Energiedissipation und Zustandserhaltung.⁴

Der Pan-Komputationalismus und die Grenzen der Metapher

Indem Kemper physikalische Phänomene (wie Erdplatten oder Strömungsdynamiken) als informationsverarbeitende Prozesse klassifiziert, vertritt er eine Form des *Unlimited Pancomputationalism* (unbegrenzter Pan-Komputationalismus). Diese philosophische Theorie besagt, dass jedes physikalische System im Universum, sei es ein Gehirn, ein Hurrikan oder ein Stein, Berechnungen durchführt.³ Information und Berechnung ersetzen in diesen Modellen die klassischen fundamentalen Begriffe von reiner Materie und Energie.⁴

Dennoch gibt es in der Wissenschaft tiefgreifende Kritik an dieser universellen Ausweitung des Berechnungsbegriffs. Kritiker argumentieren, dass das Charakterisieren von Wetterphänomenen oder Steinen als „rechnende Entitäten“ den Erklärungsgehalt von Kognitionswissenschaften verwässert.³ Während die Kognitionswissenschaft computationale Modelle nutzt, um die spezifische Informationsarchitektur von Gehirnen (z.B. syntaktische Parsing-Bäume, visuelle Objekterkennung) zu erklären, greifen Meteorologen oder Geologen auf dynamische Gleichungen zurück, ohne dem System Intelligenz zuzuschreiben.³ Kempers Modell ist aus einer makro-physikalischen Perspektive elegant, riskiert jedoch eine semantische Entleerung des Begriffs der „Lösungskompetenz“, wenn jeder deterministische physikalische Prozess (wie der Fall eines Steins) als kognitiver Akt deklariert wird.

Passive Adaptation vs. Aktive Inferenz: Das Free Energy Principle

Kemper illustriert die Emergenz von Intelligenz an dem prägnanten Beispiel eines rauen Steins, der durch die Strömung und Reibung eines Flusses über lange Zeiträume in eine perfekt stromlinienförmige (hydrodynamische) Form geschliffen wird. Das System aus Wasser und Stein löst blind das Problem des Strömungswiderstands.

Während dieses Beispiel eine elegante Metapher für strukturelle Optimierung darstellt, offenbart sie bei einer strengen biophysikalischen Analyse eine erhebliche Unschärfe zwischen *passiver*

Adaptation und *aktiver Inferenz*. Genau an diesem epistemologischen Schnittpunkt setzt das *Free Energy Principle* (Prinzip der freien Energie, FEP) von Karl Friston an, eines der einflussreichsten Modelle der zeitgenössischen theoretischen Neurobiologie.⁶

Die Architektur des Bayesian Brain

Das FEP beschreibt biologische Intelligenz als das permanente Bestreben eines Systems, eine Größe namens „Surprise“ (informationelle Überraschung oder Unsicherheit) zu minimieren. Ein intelligenter Organismus wird dabei als eine Art „Bayesianische Inferenzmaschine“ betrachtet.⁶

Das System (z.B. das Gehirn) konstruiert kontinuierlich generative Vorhersagemodelle (Generative Models) über den Zustand der äußeren Welt.⁶

Der fundamentale Unterschied zwischen dem von Kemper angeführten Stein und einem biologischen System liegt in der Existenz eines *Markov Blankets* (Markov-Decke).⁶ Ein Markov Blanket ist eine mathematisch-statistische Grenze, die die internen Zustände eines Systems von den externen Zuständen der Umwelt isoliert und vermittelt.⁶ Die Schnittstelle besteht aus sensorischen Zuständen (Input) und aktiven Zuständen (Output/Motorik).

Lebende, intelligente Systeme minimieren freie Energie nicht primär durch reaktive strukturelle Abnutzung wie der Stein, sondern durch *Active Inference* (Aktive Inferenz). Das bedeutet, sie verändern entweder ihre internen neuronalen Modelle, um sensorische Eingaben besser vorherzusagen (Lernen), oder sie manipulieren durch motorische Handlungen aktiv ihre Umwelt, um die Realität an ihre Vorhersagen anzupassen (Handeln).⁶

Der Stein im Fluss besitzt kein internes generatives Modell seiner Umgebung und führt keine zielgerichteten motorischen Aktionen aus, um seine hydrodynamische Effizienz aktiv herbeizuführen; er unterliegt einer rein passiven, dissipativen Strukturveränderung, bei der Entropie an die Umgebung abgegeben wird. Kognitive Systeme hingegen widerstehen dem Zerfall, indem sie aktiv Vorhersagefehler (Prediction Errors) unterdrücken.⁶

Kritik an der universellen Anwendbarkeit des FEP

Kempers weitreichende thermodynamische Reduktion (und implizit auch Fristons FEP) stoßen in der Biologie und Philosophie jedoch auch auf Widerspruch. Kritiker wie Paul Thagard argumentieren, dass das FEP (und prädiktive Informationsverarbeitung im Allgemeinen) unzureichend sei, um die gesamte Komplexität des Geistes zu erklären.²⁶ Ein starker Reduktionismus ignoriert biologische Emergenzphänomene.²⁴ Biologische Systeme weisen eine Fülle an Komplexitäten und funktionalen Redundanzen auf, die aus einer rein physikalischen Perspektive ineffizient und unnötig erscheinen mögen, aus Sicht der biologischen Anpassung (Fitness) jedoch absolut essenziell sind.²⁴ Die direkte Übertragung physikalischer Effizienzprinzipien auf komplexe evolutionäre Adaptationen verkennt mitunter die pfadabhängige, historische Natur evolutionärer Entwicklungen.²⁷

Vergleichskriterium	Passive Optimierung (Stein im Fluss, nach Kemper)	Aktive Inferenz (Biologischer Agent, nach Friston FEP)
Grundmechanismus	Mechanische Abnutzung,	Minimierung von

	Reibung, physikalische Deformation	Vorhersagefehlern durch Anpassung interner Modelle
Systemgrenze	Physikalische Objektoberfläche	Markov Blanket (statistische Isolationsschicht)
Informationsfluss	Unidirektional (Umwelt formt Materie)	Bidirektional (Umwelt liefert Sensorik, Agent verändert Umwelt)
Thermodynamischer Effekt	Dissipation von Aufprallenergie in die Umwelt	Aktiver Widerstand gegen den Entropieanstieg zur Systemerhaltung
Repräsentationale Kapazität	Keine internen Modelle der Kausalstruktur vorhanden	Hierarchische generative Modelle der Welt und des Selbst

Die Dekonstruktion des Lebens: Das Virus als informationslogischer Grenzfall

Der Artikel wählt das Virus als ultimatives Paradigma zur Dekonstruktion der traditionellen, künstlichen Grenze zwischen lebendiger und toter Materie. Das Virus wird als bloßes „Paket toter Materie“ ohne eigenen Stoffwechsel oder Bewusstsein beschrieben, das dennoch hochintelligente, adaptive Problemlösungen (die Überwindung menschlicher Immunsysteme) hervorbringt.

Virologische Ontologie und Teleologie

Diese Argumentation korrespondiert in herausragender Weise mit dem aktuellen biologischen und naturwissenschaftlichen Konsens. Viren gelten biologisch nicht als Lebewesen.²⁸ Sie weisen keine zelluläre Struktur auf, besitzen keinen eigenen Metabolismus (Stoffwechsel), keine zelluläre Homöostase (die Fähigkeit, ein inneres chemisches Gleichgewicht aufrechtzuerhalten) und keinerlei Intentionalität.¹⁶ Ein Virus ist im Kern nichts anderes als genetische Information, verpackt in einer Proteinhülle, deren molekulare Form spezifisch darauf ausgelegt ist, Membranrezeptoren von Wirtszellen zu imitieren und zu täuschen.²⁸ Sobald es in die Zelle eindringt, entführt es deren Replikationsmaschinerie mit einer einzigen in die Struktur codierten Anweisung: Kopiere mich.²⁸

Die Genese ihrer „Intelligenz“ – das Überlisten hochkomplexer Abwehrsysteme durch ständige Anpassung – resultiert aus blinder Mutation und natürlicher Selektion, exakt wie Kemper es skizziert. In der theoretischen Biologie und Systemtheorie spricht man bei einem solchen Phänomen von einer rudimentären Form biologischer Teleologie (Zielgerichtetheit). Um diese blinden Tendenzen jedoch von echt selbstdirektionalen, autopoietischen (sich selbst erschaffenden und erhaltenden) Lebewesen zu unterscheiden, bezeichnen Theoretiker wie García-Valdecasas und Deacon solche Vorgänge als „terminale Prozesse“.¹⁶

Terminale Prozesse folgen starr thermodynamischen und informationellen Gradienten. Viren fungieren somit als die denkbar reinsten Vehikel für strukturelles Wissen, das durch die

unerbittliche Iteration evolutionärer Algorithmen aus Versuch und Irrtum kondensiert wurde. Bemerkenswert ist, dass diese strukturelle Korrespondenz exakt der Funktionsweise digitaler Viren gleicht: Beide umfassen kodierte Informationen in einem Auslieferungsmechanismus, der so geformt ist, dass er zu einem Empfängersystem passt und dessen Filter umgeht.²⁸

Emergenz bei sozialen Insekten: Der Termitenbau

Ein weiteres, vom Autor sehr präzise gewähltes Argument für die Systembedingtheit der Intelligenz ist der Termitenbau. Die Konstruktion hochkomplexer, klimaregulierender Architekturen durch Termiten (sogenannte „Cathedral Mounds“) ist eines der klassischsten Beispiele für *Emergenz* in der Theorie komplexer Systeme.³⁰

Emergenz beschreibt in der Systemtheorie das Phänomen, dass eine komplexe Entität auf Makroebene neue Eigenschaften, Strukturen oder Verhaltensweisen aufweist, die auf der Ebene ihrer isolierten Einzelteile auf der Mikroebene nicht existieren.³⁰ Weder die einzelne, isolierte Termiten noch das von ihr abgesonderte Geruchssignal (Pheromon) besitzen das kognitive Konzept eines „Belüftungsschachts“. Die faszinierende Architektur ist vielmehr ein rein emergentes Phänomen, das aus der massenhaften, rekursiven Anwendung sehr simpler lokaler Verhaltensregeln resultiert. Die These des Artikels, dass die Intelligenz nicht im neuronalen Netz des einzelnen Insekts, sondern im relationalen Regelwerk des Gesamtsystems lokalisiert ist, bestätigt sich in vollem Umfang.³⁰

Solche reduktionistischen Konzeptualisierungen, bei denen scheinbar hochkomplexe deduktive Fähigkeiten auf die Anwendung grundlegender Regeln (Sequenzierung, Klassifikation) heruntergebrochen werden, besitzen eine enorme historische Attraktivität in der Intelligenzforschung.³¹ Dieser Reduktionismus argumentiert, dass selbst komplexe kognitive Vorgänge letztlich auf primitive physikalische oder psychophysische Basisprozesse zurückführbar sind.³¹

Der Informationsspeicher: Epigenetische Vererbung und das transgenerationale Gedächtnis

Eine der elegantesten theoriebildenden Ableitungen im Text ist die Einordnung des Informationsspeichers. Kemper argumentiert, dass das Gedächtnis keine künstliche, von außen hinzugefügte vierte Zutat der Existenz ist, sondern das unausweichliche physikalische Resultat der Einwirkung des Ordnungssystems auf die Substanz über die Zeit. Das System merkt sich erfolgreiche physikalische Reaktionen durch Strukturveränderungen, wobei das biologische Erbgut (DNA) die ultimative Verdichtung von Milliarden Jahren evolutionärer Lösungsstrategien darstellt.

Aus dieser Prämisse vollzieht der Artikel einen weitreichenden Sprung zur Entstehung von Reflexen, Instinkten und Gefühlen. Gefühle werden als „destilliertes Substrat“, als komprimierte Algorithmen für standardisierte Überlebensprobleme gedeutet. Um diese These zu stützen, verweist der Autor darauf, dass extreme Stresserfahrungen und Traumata nachweislich über Generationen hinweg im Erbgut vererbt werden können – als vorab berechnete emotionale „Kurzformeln“, die Zeit und Energie sparen.

Molekulare Mechanismen der intergenerationalen Trauma-Transmission

Diese Behauptung berührt das intensiv erforschte, hochaktuelle Feld der Epigenetik. Der wissenschaftliche Konsens der Jahre 2024 und 2025 bestätigt zunehmend und mit starker Evidenz, dass traumatische Erfahrungen nicht nur psychologische Verhaltensmuster prägen, sondern tiefgreifende, messbare molekularbiologische Veränderungen hinterlassen, die an nachfolgende Generationen weitergegeben werden.³²

Epigenetische Mechanismen steuern die Aktivität von Genen, ohne die primäre DNA-Sequenz (den eigentlichen genetischen Code, bestehend aus Nukleotiden) zu modifizieren.³² Die drei am besten untersuchten Mechanismen der epigenetischen Vererbung bei Säugetieren sind³²:

1. **DNA-Methylierung:** Das Anheften von Methylgruppen an die DNA, was typischerweise die Expression der betroffenen Gene reduziert oder stumm schaltet.³⁶
2. **Histonmodifikation:** Chemische Veränderungen an den Proteinen (Histonen), um die die DNA gewickelt ist, was die Genexpression häufig erhöht.³⁷
3. **Nicht-codierende RNAs (ncRNAs):** RNA-Moleküle, die nicht in Proteine übersetzt werden, sondern regulatorische Funktionen übernehmen.³²

Zahlreiche epidemiologische Studien an menschlichen Populationen – darunter Überlebende des Holocaust, Kriegsflüchtlinge aus Syrien, Opfer des Völkermords in Ruanda sowie palästinensische Familien – haben signifikante und vererbare Veränderungen in der DNA-Methylierung bei den Nachkommen der Trauma-Überlebenden nachgewiesen.³⁴ Diese epigenetischen Signaturen betreffen häufig Gene, die die Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HPA-Achse) regulieren, das zentrale neuroendokrine System der menschlichen Stressantwort.³² Ein prominentes Beispiel ist das Gen *FKBP5*, dessen veränderte Methylierung sowohl bei parentalem als auch bei kindlichem Trauma beobachtet wird.³⁵

Auch Tiermodelle liefern extrem robuste Beweise für diese biologische Einbettung von Erfahrungen. Die Nachkommen von Ratten, die in der frühen Postnatalphase mütterlichen Misshandlungen ausgesetzt waren, wiesen im Erwachsenenalter eine erhöhte Methylierung und eine folglich verringerte Expression des *BDNF*-Gens (Brain-Derived Neurotrophic Factor) im präfrontalen Kortex auf.³² Da BDNF essenziell für die neuronale Plastizität und das Angstgedächtnis ist, disponieren diese Modifikationen die Nachkommen zu PTSD-ähnlichen Verhaltensweisen und extremer Schreckhaftigkeit.³²

Die Konklusion des Autors, dass Gefühle wie „Angst“ hochgradig komprimierte, vererbte Rechenergebnisse (Heuristiken) zur sofortigen Energie- und Zeitersparnis darstellen, lässt sich daher sowohl evolutionärpsychologisch als auch epigenetisch hervorragend stützen. Gefühle operieren als kognitive Abkürzungen, die den Rechenaufwand minimieren und bei unvollständigen Informationen überlebenssichernde Lösungen liefern.³⁸

Notwendige Differenzierung: Plastizität vs. Determinismus

Allerdings erfordert die Formulierung im Artikel eine kritische wissenschaftliche Nuancierung.

Der Text impliziert einen starken Determinismus („damit die nächste Generation nicht wieder bei null anfangen muss“). Die epigenetische Transmission ist jedoch kein starrer, teleologischer Mechanismus, bei dem unveränderbare Verhaltensprogramme fest verdrahtet werden. Epigenetische Marker zeichnen sich durch ein hohes Maß an Plastizität aus. Im Gegensatz zu permanenten Mutationen in der DNA-Sequenz sind epigenetische Effekte modifizierbar.³⁵ Studien zeigen, dass ein angereichertes Umweltangebot (Environmental Enrichment) oder psychotherapeutische Interventionen die traumatischen epigenetischen Effekte mildern oder umkehren können.³⁵ Zukünftig könnten gezielte medizinische Eingriffe mittels epigenetischer Editierung (wie die CRISPR-dCas9-Technologie, fusioniert mit epigenetischen "Writern" und "Erasern") solche traumatischen Prägungen sogar auf zellulärer Ebene reversieren.³⁹ Zudem muss die biologische Vererbung streng von der soziokulturellen (behavioralen) Transmission von Traumata unterschieden werden.³⁷ In der Bindungstheorie und Psychologie wird betont, dass Traumata häufig intergenerational durch maladaptive Beziehungsstrukturen (relationales Trauma) weitergegeben werden.³⁷ Wenn traumatisierte Eltern nicht in der Lage sind, auf die Bedürfnisse ihrer Säuglinge sicher einzugehen, erlernen die Kinder unbewusst dysfunktionale soziale Muster und unsichere Bindungsstile.³⁷ Das im Artikel beschriebene „Gedächtnis“ des Systems speichert Informationen somit simultan auf dualen Pfaden: der molekular-epigenetischen Ebene und der kulturell-behavioralen Ebene.

Transmissionsweg von Erfahrungen	Mechanismus	Reversibilität / Plastizität	Trägermedium
Genetische Evolution	Mutation und natürliche Selektion der DNA-Sequenz ³⁷	Extrem gering (über Generationen)	DNA-Basenpaare
Epigenetische Vererbung	DNA-Methylierung, Histonmodifikation ³²	Hoch (durch Umwelt/Lebensstil veränderbar) ³⁵	Epigenom der Keimbahn
Soziokulturelle Transmission	Bindungserfahrungen, soziales Lernen (Relationales Trauma) ³⁷	Hoch (therapeutisch zugänglich)	Neuronale Netzwerke / Psyche

Bewusstsein und Empathie: Virtuelle Simulation und die Self-Model Theory of Subjectivity

Mit der Ausweitung der Theorie auf die Themenkomplexe Bewusstsein und Empathie dringt Kemper tief in die Kerndomäne der Philosophie des Geistes (Philosophy of Mind) und der kognitiven Neurowissenschaften ein. Der Artikel argumentiert, Bewusstsein sei in seiner Essenz eine innere, virtuelle „Probephöhne“, auf der das System (Gehirn) physikalische Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe einer Spielfigur – eines „Avatars“ des eigenen Systems – gefahrlos durchspielt, anstatt sich den potenziell tödlichen Risiken realer Versuch-und-Irrtum-Methoden auszusetzen.

Das Phänomenale Selbstmodell (PSM)

Diese Konzeptualisierung liest sich nahezu identisch mit einer der profiliertesten zeitgenössischen Bewusstseinstheorien: der *Self-Model Theory of Subjectivity* (SMT) des renommierten deutschen Philosophen Thomas Metzinger.⁸ Metzinger postuliert, dass das Bewusstsein keine unerklärliche ontologische Substanz ist, sondern ein hochkomplexer, empirisch fassbarer Informationsverarbeitungsprozess.⁹

Nach der SMT generiert das menschliche Gehirn ein kontinuierliches, prädiktives Modell der externen physikalischen Welt und platziert darin ein Modell des eigenen Körpers, der eigenen physiologischen Zustände und der eigenen Intentionen – das sogenannte Phänomenale Selbstmodell (PSM).⁹ Das Subjekt (das bewusste Ich) ist streng genommen nichts weiter als der Inhalt dieses transparenten Modells.

Der entscheidende Mechanismus, der das zwingende, realistische Erlebnis von Subjektivität erzeugt, ist laut Metzinger die *phänomenale Transparenz*.⁸ Das Gehirn arbeitet in seiner Modellierung so schnell und energieeffizient, dass es das Modell selbst nicht als Konstrukt (als Repräsentation) erkennen kann. Wir blicken metaphorisch durch das Modell hindurch auf die Welt, weshalb wir einem „naiven Realismus“ verfallen und uns als reales, ungeteiltes biologisches Subjekt empfinden.⁸ In Wahrheit, so die Implikation der SMT, erleben wir lediglich den virtuellen Avatar in der rechentechnischen Simulation unseres eigenen Zentralnervensystems.⁸

Die Störung dieser Simulation ist empirisch belegbar. In Experimenten zur virtuellen Realität (VR) oder bei klinischen Phänomenen wie Heautoskopie oder Außerkörperlichen Erfahrungen (Out-of-Body Experiences) kann sich das bewusste Erleben temporär in externe Avatare oder alternative Körpermodelle verlagern.⁴¹ Kempers Metaphorik der „Spielfigur“ und der „inneren Simulation“ deckt sich somit makellos mit Metzingers naturalisierender, neurophilosophischer Beschreibung des Bewusstseins.⁸

Empathie als Erweiterung der prädiktiven Architektur

Auch die Ableitung der Empathie als zwingenden kognitiven Simulationsprozess ist wissenschaftlich hochgradig belastbar. Kemper folgert schlüssig: Wenn das System so komplex ist, dass es einen eigenen Avatar berechnen kann, ist der thermodynamisch nächste sinnvolle Schritt, Vorhersagemodelle für andere komplexe Akteure (andere Avatare) in der eigenen Simulation nachzubauen, um deren unvorhersehbares Verhalten zu antizipieren.

In der formalen Sprache des *Free Energy Principle* und des *Predictive Processing* erfordert eine erfolgreiche Existenzsicherung in einem sozialen Umfeld die drastische Minimierung von Vorhersagefehlern über die verdeckten Handlungsabsichten anderer.⁶ Wir nutzen unser eigenes neuronales Generativmodell, um die motorischen Handlungen und emotionalen Zustände anderer zu simulieren (Theory of Mind).

Empathie ist demzufolge, wie der Artikel zutreffend anmerkt, kein von den Naturgesetzen losgelöstes moralisches Phänomen. Sie ist eine rechnerische und evolutionäre Notwendigkeit zur Optimierung der Vorhersagegenauigkeit in komplexen sozialen Netzwerken.⁶ Organismen, die kooperative Netzwerke durch prädiktive Empathie stabilisieren können, reduzieren ihren

energetischen Aufwand bei der Nahrungsbeschaffung und Verteidigung enorm (z.B. durch Arbeitsteilung, Altruismus und Reziprozität), was vollumfänglich den von Kemper dargelegten Grundprinzipien der thermodynamischen Widerstandsminimierung entspricht.

Kosmologische Skalen, Mangelnde Beobachtbarkeit und die Transcension Hypothesis

Nach der vollständigen Reduktion biologischer und mentaler Phänomene wendet sich der Autor astronomischen Skalen zu. Er argumentiert, dass Intelligenz formunabhängig ist und nicht zwingend an vertraute biologische Hüllen oder spezifische Taktungen der Informationsverarbeitung gebunden sein muss. Extrem langsame physikalische Prozesse, wie das Verschieben tektonischer Erdplatten über Jahrmilliarden, oder hyper-beschleunigte Prozesse in subatomaren Netzen könnten im informationstheoretischen Sinne als rechnende, intelligente Problemlösungssysteme definiert werden. Aufgrund unserer eigenen anthropozentrischen Maßstäbe von Zeit und Raum übersehen wir diese Intelligenzstrukturen.

Die Transcension Hypothesis als Lösung für das Fermi-Paradoxon

Aus dieser Prämissenkette folgert der Artikel eine weitreichende kosmologische These zur Lösung eines der größten Mysterien der Astrophysik: das Fermi-Paradoxon. Das Paradoxon beschreibt den eklatanten Widerspruch zwischen der hohen mathematischen Wahrscheinlichkeit für die Existenz außerirdischen Lebens (angesichts von Milliarden Sternensystemen) und dem absoluten Mangel an empirischen Beweisen für solche Zivilisationen.¹³

Kemper postuliert, dass hochentwickelte, absolute Intelligenzen nicht – wie es menschlicher Neugierde und imperialem Expansionsdrang entspräche – im Universum nach außen expandieren. Stattdessen würden sie ihren Entwicklungsdrang unweigerlich nach innen richten. Sie verdichten und komprimieren ihre materielle und informationelle Struktur kontinuierlich, um Rechenkapazitäten zu maximieren und physikalische Informationswege sowie Energieverluste drastisch zu minimieren. Die sichtbare Makro-Entdeckungsphase biologischer Spezies sei lediglich ein primitives Vorstadium, das zugunsten absoluter thermodynamischer Effizienz bald überwunden wird.

Diese Hypothese existiert in der akademischen Zukunftsforschung und Astrobiologie präzise in dieser Konzeption und ist unter dem Begriff *Transcension Hypothesis* (Transzensionshypothese) bekannt, maßgeblich formuliert und erweitert durch den Futurologen und Systemtheoretiker John M. Smart.¹³

Smart stützt sich auf die evolutionäre Entwicklungsbiologie (Evo-Devo) und plädiert für die Betrachtung des Universums als ein System, in dem zwei fundamentale Metaprozesse wirken:

1. *Evolutionäre* Prozesse: Diese sind unvorhersehbar, schöpferisch, experimentell und generieren lokale Diversität.
2. *Entwicklungstechnische (Developmental)* Prozesse: Diese sind deterministisch, vorhersehbar, physikalisch beschränkt und konvergieren zwangsläufig auf ein spezifisches Systemschicksal.¹³

Die Transcension Hypothese postuliert, dass das vorhersehbare Schicksal aller hinreichend fortgeschrittenen Intelligenzen in einer radikalen Verdichtung liegt, ein Phänomen, das Smart als STEM-Kompression (*Space, Time, Energy, Matter compression*) beschreibt.¹³

Fortgeschrittene Zivilisationen streben nicht nach außen (in die Konstruktion gigantischer Dyson-Sphären zur Energieernte im interstellaren Raum, wie es klassische Modelle nach der Kardashev-Skala annehmen), sondern sie miniaturisieren sich in den sogenannten „Inner Space“ (den Mikrokosmos, die Nano- oder Planck-Skala).¹³

Das ultimative Zielgebiet dieses Verdichtungsprozesses, in dem Informationsverarbeitung und Energieeffizienz ihr absolutes thermodynamisches Limit erreichen, ist das physikalische Äquivalent eines Schwarzen Lochs.¹³ Schwarze Löcher bieten laut Smart ideale Bedingungen für unbegrenztes Lernen, extreme Computerleistung, Vorwärts-Zeitreisen und die potenziell perfekte Ausnutzung von Quantenenergie.¹³ Sie bilden den finalen Entwicklungsattraktor für jegliche zivilisatorische Komplexität im Universum.¹⁴

Paradigma der kosmischen Expansion	Klassisches Modell (Kardashev-Skala, Dyson)	The Transcension Hypothesis (J. M. Smart)
Expansionsvektor	Outward (Makrokosmos: Sternensysteme, Galaxien)	Inward (Mikrokosmos: Nano-, Quanten-, Planck-Skala)
Technologisches Paradigma	Megastrukturen (Dyson-Sphären), extensive Materienutzung	STEM-Kompression (Minimierung von Raum, Zeit, Energie, Materie)
Beobachtbarkeit / Signatur	Erfassbar durch Radiowellen, gigantische Infrarot-Abwärme ⁴⁴	Unsichtbar, extreme Verdichtung, Verhalten ähnlich Schwarzen Löchern
Lösung des Fermi-Paradoxons	Aliens sind selten, existieren nicht, oder Distanzen sind zu groß	Zivilisationen transzendieren in nicht wahrnehmbare Quantenzustände
Kommunikationsverhalten	Aktives Senden (METI) in den Kosmos	Absolute Stille, um die Evolution niederer Spezies nicht zu stören (Zoo-Hypothese) ¹³

Der Grund für das „kosmische Schweigen“ liegt somit schlichtweg darin, dass Zivilisationen auf dieser Schwelle der Post-Biologie ihre ineffizienten elektromagnetischen Signale nach außen unweigerlich einstellen.¹³ Zudem postulieren Befürworter der Theorie, dass fortgeschrittene Zivilisationen das aktive Aussenden von Nachrichten (METI – Messaging to Extraterrestrial Intelligence) auf der Grundlage einer Art Obersten Direktive (Prime Directive) absichtlich unterlassen. Eine Einmischung würde den ungestörten, einzigartigen evolutionären Suchalgorithmus jüngerer Planeten kontaminieren und somit die computationale Diversität und den Informationsreichtum des Universums langfristig zerstören.¹³

Kritische Betrachtung der Transzensions-Spekulation

Obwohl diese Hypothese eine intellektuell bestechende, konsistente Erklärung für das Fermi-Paradoxon liefert, bleibt sie in der naturwissenschaftlichen Gemeinschaft stark umstritten. Die Hauptkritik der empirischen Astronomie liegt in ihrer extrem schweren Falsifizierbarkeit.⁴³ Zwar bietet Smart testbare empirische Metriken an – wie die Vorhersage einer „Galactic Transcension Zone“ (einem inneren Ring in Galaxien, in dem ältere Zivilisationen bereits zu Schwarzen Löchern kollabiert sind) und einem daraus resultierenden Mangel an habitablen Planeten („Missing Planets Problem“).¹³ Solche Detektionen bleiben mit gegenwärtigen radioteleskopischen Mitteln (etwa dem Square Kilometer Array) und optischen Sensoren jedoch hochgradig spekulativ.¹³

Ein weiteres gewichtiges Gegenargument betrifft den absoluten Entwicklungsdeterminismus, den die Hypothese postuliert. Selbst wenn 99,9 % aller entwickelten Zivilisationen den energetisch effizienteren Weg in den "Inner Space" wählen und transzendieren würden, reichte eine einzige abweichende, konservativ expansive Spezies (eine sogenannte "Developmental Failure" nach Smart¹⁴) völlig aus, um im Laufe von Millionen Jahren die gesamte Galaxie mit selbstreplizierenden Sonden (Von-Neumann-Sonden) zu kolonisieren und das Fermi-Paradoxon hinfällig zu machen. Kemper begegnet diesem Argument in seinem Text indirekt, indem er auf die absolut zwingende Natur physikalischer Zwänge verweist: Die Ausbreitung im All ist eine gigantische Verschwendung von Energie und widerspricht der grundlegenden Definition von Intelligenz als Optimierungsmechanismus schlechthin. Wer Ressourcen durch Ausbreitung verschwendet, verliert den evolutionären Wettlauf gegen komprimierende Spezies.

Epistemologische und physikalische Grenzen: Das Bremermann-Limit und universelle Berechenbarkeit

Der letzte, vielleicht tiefgreifendste Abschnitt von Kempers Abhandlung widmet sich der absoluten, unüberwindbaren Grenze jeglichen Wissens. Der Autor schlussfolgert rein logisch, dass keine Entität, die aus weniger als 100 Prozent der Substanz des Universums besteht, dieses Universum fehlerfrei und vollständig simulieren oder begreifen kann. Da ein separiertes Teil niemals das Ganze, das dieses Teil selbst mit einschließt, vollständig in sich abbilden kann, bleibt eine unaufhebbare Lücke an „Restwissen“. Die theologische Vorstellung einer absoluten Allwissenheit – das klassische Gotteskonzept – erweist sich in diesem System als informationstheoretisch und physikalisch paradox, solange das System versucht, als abgetrennter Beobachter zu operieren. Die einzige Ausflucht wäre die vollständige Verschmelzung mit der Gesamtheit, was den Verlust des Individuums impliziert.

Die fundamentalen Schranken der Informationsverarbeitung

Diese philosophische Deduktion ist nicht bloß eine gedankliche Spielerei, sondern in der theoretischen Physik, der Quantenmechanik und der Kryptographie streng formalisiert bewiesen. Hans-Joachim Bremermann, ein Pionier der Biophysik und Computerwissenschaft, berechnete im Jahr 1962 das absolute theoretische Limit für die maximale Informationsverarbeitungsgeschwindigkeit eines jeden in sich geschlossenen Systems im materiellen Universum.⁴⁸

Das sogenannte *Bremermann-Limit* leitet sich direkt aus Einsteins Äquivalenzprinzip von Masse und Energie ($E = mc^2$) sowie der Heisenbergschen Unschärferelation ab.⁴⁸ Es postuliert, dass ein physikalisches System von exakt einem Kilogramm Masse nicht mehr als $\frac{c^2}{h} \approx 1,356 \times 10^{50}$ Bits pro Sekunde verarbeiten kann (wobei c die Lichtgeschwindigkeit und h das Plancksche Wirkungsquantum darstellen).⁴⁸ Würde man einen hypothetischen Quantencomputer konstruieren, der die gesamte Masse der Erde aufweist und exakt am thermodynamischen Limit operiert, könnte dieser Rechner nicht mehr als etwa 10^{75} mathematische Operationen pro Sekunde durchführen.⁴⁸

Eine alternative, weithin akzeptierte Spezifikation dieser fundamentalen Rechenschranke bietet das *Margolus-Levitin-Theorem*.⁴⁸ Dieses Theorem legt fest, dass die Verarbeitungsrate von Information in einem Quantensystem strikt durch die zur Verfügung stehende Energie limitiert ist und nicht mehr als 6×10^{33} Operationen pro Sekunde pro Joule Energie betragen darf.⁴⁸ Ein Quantensystem der Energie E benötigt mindestens die physikalische Zeit $\Delta t = \frac{\pi \hbar}{2E}$, um von einem Zustand in einen zwingend orthogonalen, unterscheidbaren Zustand zu wechseln.⁴⁸

Die von Kemper gezogene weitreichende Schlussfolgerung, dass selbst ein auf atomare oder subatomare Skalen hochkomprimiertes, extrem effizientes System physikalischen und informationellen Grenzen unterliegt, ist daher physikalisch absolut unangreifbar.⁵⁰ Der Quantencomputer-Wissenschaftler Seth Lloyd wandte diese physikalischen Limits sogar auf das gesamte beobachtbare Universum an. Unter der Annahme, dass das Universum selbst ein gigantischer Quantencomputer ist, berechnete Lloyd, dass das Universum seit seiner Entstehung beim Urknall maximal 10^{120} logische Operationen auf rund 10^{90} Bits ausgeführt haben kann.² Solche gigantischen, aber dennoch finiten Zahlenstrukturen markieren die Grenze zu sogenannten "transcomputationalen Problemen".⁵³ Ein transcomputationales Problem ist per Definition jedes Problem, das die Verarbeitung von mehr als 10^{93} Bits an Information erfordert und somit die Ressourcen der bekannten Erde (oder gar des Universums) übersteigt.⁵³

Da das Universum in seiner Rechen- und Informationskapazität endlich ist, kann logischerweise kein eingebettetes Subsystem innerhalb dieses Universums die Komplexität des Gesamtsystems (inklusive der Berechnungsschritte des simulierenden Subsystems selbst) exakt replizieren, ohne genau dieses Gesamtsystem zu *sein*.

Selbstreferenzialität, Unvollständigkeit und algorithmische Komplexität

Ergänzend zu diesen thermodynamischen und quantenmechanischen Kapazitätsgrenzen greifen auf der informationstheoretischen Ebene die Gesetze der Selbstreferenzialität. Diese wurden durch die Unvollständigkeitssätze des Mathematikers Kurt Gödel sowie die algorithmische Informationstheorie nach Gregory Chaitin mathematisch bewiesen.⁵³ Diese Theorien demonstrieren zwingend, dass kein ausreichend komplexes formales System in der Lage ist, sich selbst vollständig und widerspruchsfrei zu beweisen, zu berechnen oder zu simulieren. Es wird immer wahre Aussagen innerhalb des Systems geben, die von dem System

selbst nicht hergeleitet werden können.

Die tiefgreifende epistemologische Konsequenz, die Kemper im letzten Absatz formuliert („die absolute Perfektion des Unperfekten“), ist somit keineswegs eine resignative metaphysische Vermutung, sondern eine der bestgesicherten, grundlegendsten Erkenntnisse der theoretischen Informatik, der Mathematik und der Quantenphysik.⁵³ Wenn ein intelligentes System den Drang entwickelt, das Universum zu 100 Prozent in sich abzubilden, kollabiert der Unterschied zwischen dem Repräsentationsmodell und der Realität unweigerlich. Das System müsste zur Erreichung dieses Zustands das gesamte Universum physisch vereinnahmen, wodurch das Konzept einer Simulation ad absurdum geführt wird und die Simulation zur alleinigen Ontologie kollabiert.

Fazit und zusammenfassende Synthese

Frank Kempers Artikel vollzieht eine intellektuell eindrucksvolle interdisziplinäre Synthese, die Phänomene der physikalischen Strömungsdynamik, der molekularen Virologie, der evolutionären Epigenetik, der Neurophilosophie und der theoretischen Astrophysik auf einen gemeinsamen fundamentalen informationstheoretischen Nenner bringt. Die dargelegte These, dass Intelligenz keine exklusive und magische Zutat biologischer Hirne ist, sondern das unausweichliche, statistisch wahrscheinliche Ergebnis der Optimierung von Energie und Entropie durch die Komponenten Ordnung, Substanz und Zeit, widersteht einer tiefgehenden naturwissenschaftlichen und epistemologischen Prüfung weitgehend.

Besonders hervorzuheben sind folgende wissenschaftliche Kongruenzen des dargelegten Modells:

1. **Fundierung in der Thermodynamik:** Die konzeptionelle Gleichsetzung von Intelligenz mit dem Weg des minimalen energetischen Widerstands und der höchsten Energieeffizienz korrespondiert makellos mit etablierten mathematischen und physikalischen Rahmenwerken wie der Kausalen Entropiekraft (Wissner-Gross)¹¹ und dem Prinzip der freien Energie (Friston).⁶
2. **Entmystifizierung von Bewusstsein und sozialer Kognition:** Die elegante, reduktionistische Beschreibung des Bewusstseins als virtuelle Probesthüne zur gefahrlosen Handlungsprädiktion stellt eine hochgradig valide und allgemeinverständliche Übersetzung von Metzingers *Self-Model Theory of Subjectivity* dar.⁸ Empathie als zwingendes Resultat der Minimierung sozialer Vorhersagefehler ist evolutionsbiologisch äußerst plausibel.
3. **Makro-Skalen und extraterrestrische Zivilisationen:** Die extrapolierte zivilisatorische Entwicklung in die mikroskopische Verdichtung spiegelt exakt und bis ins Detail die in der Astrobiologie ernsthaft diskutierte *Transcension Hypothesis* von John Smart wider.¹³
4. **Epistemologische Grenzen des Universums:** Das logisch abgeleitete Endstadium der Unvollständigkeit und des verbleibenden Restwissens lässt sich nahtlos an das physikalisch definierte Bremermann-Limit, quantenmechanische Rechengrenzen (Margolus-Levitin) und algorithmische Komplexitätsgrenzen koppeln.⁴⁸

Einzig wissenschaftlich kritisch zu differenzierende Schwachstellen des Textes sind die potenziell unscharfe Ausweitung des Intelligenzbegriffs im Sinne des radikalen

Pan-Komputationalismus (ein vom Wasser abgeschliffener Stein verhält sich nicht aktiv prädiktiv, sondern passiv korrosiv/dissipativ) sowie eine leichte teleologische Simplifizierung epigenetischer Vererbungsprozesse. Während die Epigenetik zweifellos transgenerationale Traumata transportiert³⁵, fungiert sie nicht als vorausberechnete Blaupause für zukünftige Generationen, sondern als hochgradig plastisches und modifizierbares biochemisches Feedbacksystem (überwiegend DNA-Methylierung), das permanent Modifikationen unterworfen bleibt.³⁵

In seiner Gesamtheit liefert der Artikel jedoch ein gedanklich außergewöhnlich scharfes, provokantes und theoretisch außerordentlich tragfähiges Erklärungsmodell. Er entzieht der Menschheit und dem romantisierten Konstrukt des "Lebens" jegliche magische Sonderstellung. Stattdessen verankert er Phänomene des Intellekts, des Fühlens und des Bewusstseins exakt dort, wo sie nach dem gegenwärtigen Stand der physikalischen Komplexitätsforschung hingehören: in den fundamentalen Informationsverarbeitungsmechanismen und dem unaufhaltsamen entropischen Optimierungsdrang des physikalischen Kosmos.

Referenzen

1. Erklär mir, als wäre ich 5 - Künstliche Intelligenz - Cnyrim, Petra - Dussmann, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.kulturkaufhaus.de/de/detail/ISBN-9783742326652/Cnyrim-Petra/Erkl%C3%A4rs-mir-als-w%C3%A4re-ich-5---K%C3%BCnstliche-Intelligenz>
2. The Computational Universe | American Scientist, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.americanscientist.org/article/the-computational-universe>
3. Arguments against pancomputationalism? : r/askphilosophy - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/askphilosophy/comments/5b5se9/arguments_against_pancomputationalism/
4. Pancomputationalism: Theory or Metaphor - arXiv, Zugriff am April 19, 2026, <https://arxiv.org/pdf/2506.13263>
5. Who's afraid of unlimited pancomputationalism? - The Brains Blog, Zugriff am April 19, 2026, <https://philosophyofbrains.com/2024/10/01/whos-afraid-of-unlimited-pancomputationalism.aspx>
6. Free energy principle - Wikipedia, Zugriff am April 19, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Free_energy_principle
7. [R] A technical critique of the free energy principle as presented in "Life as we know it" and related works - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/MachineLearning/comments/f1zjf1/r_a_technical_critique_of_the_free_energy/
8. Thomas Metzinger - The Ego Tunnel - xenopraxis, Zugriff am April 19, 2026, http://xenopraxis.net/readings/metzinger_egotunnel.pdf
9. (PDF) Empirical perspectives from the selfmodel theory of subjectivity: A brief summary with examples - ResearchGate, Zugriff am April 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/312624234_Empirical_perspectives_fro

- [m_the_selfmodel_theory_of_subjectivity_A_brief_summary_with_examples](#)
10. REALITY AS A SIMULATION - A Comparative Study of the Self- Model Theory of Subjectivity and Biological Realism - DiVA portal, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:864056/FULLTEXT01.pdf>
 11. Causal Entropic Forces - ResearchGate, Zugriff am April 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/236914195_Causal_Entropic_Forces
 12. MIT Open Access Articles Causal Entropic Forces, Zugriff am April 19, 2026, <https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/79750/Wissner-2013-Causal%20entropic%20forces.pdf>
 13. The Transcension Hypothesis, John M. Smart, 2011, Zugriff am April 19, 2026, <https://accelerating.org/articles/transcensionhypothesis.html>
 14. (PDF) The transcension hypothesis: Sufficiently advanced civilizations invariably leave our universe, and implications for METI and SETI - ResearchGate, Zugriff am April 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/256935188_The_transcension_hypothesis_is_Sufficiently_advanced_civilizations_invariably_leave_our_universe_and_implications_for_METI_and_SETI
 15. Beyond "Fermi's Paradox" XI: What is the Transcension Hypothesis - Universe Today, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.universetoday.com/articles/beyond-fermis-paradox-xi-the-transcension-hypothesis>
 16. (PDF) Origins of biological teleology: how constraints represent ends - ResearchGate, Zugriff am April 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/383059097_Origins_of_biological_teleology_how_constraints_represent_ends
 17. CMV: The American left reflects Christian values more closely than the American right : r/changemyview - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/changemyview/comments/1mgudxe/cm_v_the_american_left_reflects_christian_values/
 18. What if Intelligence could be quantified using the language of thermodynamics : r/HypotheticalPhysics - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/HypotheticalPhysics/comments/1bk397i/what_if_intelligence_could_be_quantified_using/
 19. The Thermodynamic Theory of Intelligence | by Sebastian Schepis - Medium, Zugriff am April 19, 2026, <https://medium.com/@sschepis/the-thermodynamic-theory-of-intelligence-20c0e3838a28>
 20. Mental Models: The Best Way to Make Intelligent Decisions (~100 Models Explained), Zugriff am April 19, 2026, <https://fs.blog/mental-models/>
 21. Entropy and Information: Our Universe is Running Down and Running Up – The Foresight Guide, Zugriff am April 19, 2026, <https://foresightguide.com/entropy-and-information-were-running-down-and-up/>
 22. Intrinsic Motivation as Constrained Entropy Maximization - PMC - NIH, Zugriff am April 19, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12025677/>
 23. 1 Introduction - arXiv, Zugriff am April 19, 2026,

- <https://arxiv.org/html/2502.02962v3>
24. Criticisms of the theory of free energy or the “Bayesian brain” by Karl Friston - Medium, Zugriff am April 19, 2026, <https://medium.com/neo-cybernetics/criticisms-of-the-theory-of-free-energy-or-the-bayesian-brain-by-karl-friston-52749b92c9d3>
 25. Why I'm not into the Free Energy Principle - LessWrong, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.lesswrong.com/posts/MArdnet7pwgALaeKs/why-i-m-not-into-the-free-energy-principle>
 26. Cognitive Scientists' Criticism of Karl Friston's Free Energy Principle - YouTube, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.youtube.com/watch?v=proxTT90wqk>
 27. The Problem of Meaning: The Free Energy Principle and Artificial Agency - PMC, Zugriff am April 19, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9260223/>
 28. The Opening. When biology and technology meets | by Random Name | Feb, 2026 | Medium, Zugriff am April 19, 2026, <https://medium.com/@eltoupi/the-opening-d7e4a4655873>
 29. Medical English - Viruses, Epidemics, and Pandemics - Scribd, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.scribd.com/document/493315453/Medical-English-Viruses-Epidemics-and-Pandemics>
 30. Emergence - Wikipedia, Zugriff am April 19, 2026, <https://en.wikipedia.org/wiki/Emergence>
 31. The criterion validity of tasks of basic cognitive processes - Institute for Applied Psychometrics (IAP), Zugriff am April 19, 2026, <http://www.iapsych.com/wj3ewok/LinkedDocuments/luo2006.pdf>
 32. Epigenetic Inheritance of Trauma Across Generations: A Review of Post-Traumatic Stress Disorder, Epigenetic Mechanisms, Challenges and Implications for Today's World | OxJournal, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.oxjournal.org/epigenetic-inheritance-of-trauma-across-generations/>
 33. Inherited trauma | United Nations Development Programme, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.undp.org/future-development/signals-spotlight-2024/inherited-trauma>
 34. Epigenetic Imprints of Trauma Can Be Inherited across Generations, Study Finds, Zugriff am April 19, 2026, <https://al-fanarmedia.org/2025/03/epigenetic-imprints-of-trauma-can-be-inherited-a-cross-generations-study-finds/>
 35. Epigenetic mechanisms in intergenerational trauma transmission - Consensus, Zugriff am April 19, 2026, <https://consensus.app/search/epigenetic-mechanisms-in-intergenerational-trauma-/kzj04ESXQiWooOjL8nnaDA/>
 36. Epigenetic Alterations Associated with War Trauma and Childhood Maltreatment | Request PDF - ResearchGate, Zugriff am April 19, 2026, https://www.researchgate.net/publication/281681399_Epigenetic_Alterations_Associated_with_War_Trauma_and_Childhood_Maltreatment
 37. Understanding Epigenetics and Its Role in Trauma Transmission: Primer and Insights for Social Work - MDPI, Zugriff am April 19, 2026,

- <https://www.mdpi.com/2076-0760/15/2/59>
38. Heuristic - Wikipedia, Zugriff am April 19, 2026, <https://en.wikipedia.org/wiki/Heuristic>
 39. Defusing the legal and ethical minefield of epigenetic applications in the military, defense, and security context - PMC, Zugriff am April 19, 2026, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10719446/>
 40. The Shocking Truth About Energy, Fatigue & Chronic Disease – Boost Mitochondrial Power, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.modern-endocrine.com/the-shocking-truth-about-energy-fatigue-chronic-disease-boost-mitochondrial-power/>
 41. Why Is Virtual Reality Interesting for Philosophers? - Philosophisches Seminar - Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Zugriff am April 19, 2026, https://www.philosophie.fb05.uni-mainz.de/files/2018/09/Metzinger_VR_Phil_2018_frobt-05-00101.pdf
 42. Controlling the Sense of Embodiment for Virtual Avatar Applications: Methods and Empirical Study - JMIR Serious Games, Zugriff am April 19, 2026, <https://games.jmir.org/2020/3/e21879/>
 43. Cosmological natural selection (fecund universes), Zugriff am April 19, 2026, [https://evodevouniverse.com/wiki/Cosmological_natural_selection_\(fecund_universes\)](https://evodevouniverse.com/wiki/Cosmological_natural_selection_(fecund_universes))
 44. Is Our Civilization Detectable? | Centauri Dreams, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.centauri-dreams.org/2012/05/31/is-our-civilization-detectable/>
 45. John Smart - Evo Devo Universe, Zugriff am April 19, 2026, https://evodevouniverse.com/wiki/John_Smart
 46. The Transcension Hypothesis : r/IsaacArthur - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/IsaacArthur/comments/jktr1m/the_transcension_hypothesis/
 47. Formalizing the Fermi paradox and combining consistent explanatory hypotheses | International Journal of Astrobiology, Zugriff am April 19, 2026, <https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-astrobiology/article/formalizing-the-fermi-paradox-and-combining-consistent-explanatory-hypotheses/BD46970FFDCDD657ADB3698756CB98E3>
 48. Bremermann's limit - Wikipedia, Zugriff am April 19, 2026, https://en.wikipedia.org/wiki/Bremermann%27s_limit
 49. Hans-Joachim Bremermann - the Academic Senate - University of California, Zugriff am April 19, 2026, <https://senate.universityofcalifornia.edu/in-memoriam/files/hans-joachim-bremermann.html>
 50. New Proof of a Computational Limit Raises the Question: After We Can No Long Compute, Then What? - The Quantum Record, Zugriff am April 19, 2026, <https://thequantumrecord.com/science-news/new-proof-of-computational-limit-raises-questions-what-comes-next/>
 51. Computation capacity of the universe : r/Physics - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/Physics/comments/38y8ms/computation_capacity_of_the_universe/

[_universe/](#)

52. What is the maximum amount of computation that can be performed in the future lifespan of the universe? - Physics Stack Exchange, Zugriff am April 19, 2026, <https://physics.stackexchange.com/questions/596261/what-is-the-maximum-amount-of-computation-that-can-be-performed-in-the-future-lifespan-of-the-universe/>
53. Transcomputational Problems | Gödel's Lost Letter and P=NP, Zugriff am April 19, 2026, <https://rjlipton.com/2015/04/30/transcomputational-problems/>
54. Published paper claims that Incompleteness Theorems prove the Universe is not a simulation : r/badmathematics - Reddit, Zugriff am April 19, 2026, https://www.reddit.com/r/badmathematics/comments/1om3u47/published_paper_claims_that_incompleteness/