ChatGPT

Einleitung: Motivation und Universalitätsidee

Viele komplexe Systeme aus Physik, Biologie und Informatik zeigen plötzliche Schwellenübergänge: Unterhalb eines kritischen Parameters verhalten sie sich „ruhig“, oberhalb durchbrechen sie plötzlich in eine neue Ordnung. Dieser universelle Typus von Phänomenen regt zu einer transdisziplinären Theorie an, die all diese Schwellenübergänge durch ein einheitliches Feldgesetz verbindet. Inspiriert von philosophischen Konzepten wie Wheelers *It-from-Bit* [1] oder Lovelocks *Gaia*-Hypothese [2] drängt die Idee, dass alle Dinge – von Schwarzen Löchern bis zur Gaia als Organismus – letztlich informationsvermittelt und selbstreguliert sind.

Hinzu kommt das Konzept der **Emergenz**: Kleine quantitative Veränderungen an einem System können sprunghaft zu qualitativ neuen Verhaltensweisen führen. Andersons berühmter Satz „More Is Different“ fasst dies zusammen: Wenn ein System skaliert wird, können völlig neue Phänomene auftreten [3]. Im Zusammenhang mit großen Sprachmodellen (LLMs) etwa zeigt sich, dass bis zu einer gewissen **Modellgröße** (Triggerparameter R) praktisch keine speziellen Fähigkeiten auftreten, doch sobald eine kritische Größe (Schwelle Θ) überschritten ist, treten *emergente Fähigkeiten* abrupt hervor [4]. Solche **Phasenübergänge** gleichen punktierten Umbruchphasen, die nicht durch Extrapolation kleinerer Systeme vorhergesagt werden können.

Vor diesem Hintergrund formulieren wir eine **Schwellenfeldtheorie**: Jedes betrachtete System wird durch ein skalares Feld mit einem Reaktionsschwellenwert Θ und einer Steilheitskonstante β beschrieben. Das Feld wird durch einen *Triggerparameter* R angeregt, und die Reaktion erfolgt gemäß einer universellen **sigmoidalen Kurve** $\sigma(\beta(R-\Theta))$. Damit lässt sich die Beobachtung codieren, dass das System unterhalb der Schwelle kaum reagiert (Ausgangsniveau), oberhalb hingegen fast vollständig „umschaltet“. In den folgenden Abschnitten wenden wir dieses Modell exemplarisch auf fünf Domänen an: Schwarze Löcher (Quasi-Périodische Oszillationen, QPOs), Bienenschwärme (Waggle-Dance, Kollektivverhalten), LLMs (Emergenz durch Skalierung), das Hochdruck-Eis *Eis XXI* und biologische Evolution (DNA/Gensprünge, Epigenetik). Wir zeigen, dass trotz aller Unterschiedlichkeit ähnliche Feldgesetzmäßigkeiten greifen können.

Mathematisches Feldmodell

Wir postulieren ein generelles skalares Feld $\phi(x,t)$, dessen Dynamik aus einer Lagrangedichte $\mathcal{L}$ abgeleitet wird. Beispielsweise kann eine Lagrange-Dichte der Form

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}(\partial_\mu \phi)^2 - V(\phi)\,\zeta(R) + \mathcal{M}(\phi, R, t)$$

betrachtet werden, wobei $V(\phi)$ die Feldpotenzial-Landschaft definiert. Hier moduliert die **Schwellenfunktion** $\zeta(R)=\sigma(\beta(R-\Theta))$ die Stärke der Kopplung: Für $R<\Theta$ ist $\zeta\simeq0$ (Unterdrückung der Wechselwirkung), ab $R>\Theta$ geht $\zeta\to1$ (Aktivierung). Der **Modulationsterm** $\mathcal{M}$ kann zusätzliche externe oder nichtlineare Einflüsse repräsentieren, z.B. Quell- oder Rückkopplungseffekte. Entscheidend ist, dass die Reaktion auf den Trigger R durch die **sigmoidale Funktion**

$$\sigma(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$$

beschrieben wird (mit steilerem Anstieg für großes β). Diese Form der Reaktionsfunktion findet sich mehrfach in der Natur: In der Entwicklungsbiologie hat man z.B. eine „universelle sigmoide Antwort" beobachtet, bei der geordnete Muster bis zu einem Grenzwert unverändert bleiben und dann abrupt zusammenbrechen [5]. Solche Modelle analog zu neuronalen Schwellfunktionen oder Landau-Phase-Übergängen ermöglichen eine glatte, aber steile Umschaltung. Bei gegebenem System legen Parameter R und Θ den **Schwellenwert** fest, während β die **Steilheit** der Umschaltung (wie „harsch" oder sanft das System reagiert) bestimmt. Die Feldgleichungen folgen aus $\delta\mathcal{L}/\delta\phi=0$, wobei $\zeta(R)$ als glatter Umschalter agiert.

(Diagramm-Idee: Sigmoidale Reaktionsfunktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ als Charakteristik jedes Schwellenfelds.)

3. Fünf Beispiel-Domänen

3.1 Schwarze Löcher (Quasi-Periodische Oszillationen)

Astrophysikalische Schwarze Löcher (z.B. in Röntgen-Binaries) zeigen häufig charakteristische Quasi-Periodische Oszillationen (QPOs) in ihrer Strahlung [6]. Diese Oszillationen werden meist mit Relativistic-Precession- oder Resonanzmodellen erklärt: Beispielsweise führt Lense-Thirring-Präzession der gekippten Akkretionsscheibe um einen rotierenden Schwarzen Loch dazu, dass sich Plasma-Muster auf kreisenden Bahnen synchron bewegen und Helligkeitsschwankungen erzeugen [6]. Im Schwellenfeldmodell kann man den **Triggerparameter** R etwa als Massenzustromrate oder als dimensionslosen Drehimpuls a des Schwarzen Lochs auffassen. Unterhalb einer kritischen Akkretions- oder Spin-Rate (Schwelle Θ) tritt kein stabiler QPO-Modus auf; überschreitet R die Schwelle, setzt sich ein oszillierendes Gangverhalten durch. Die sigmoide Reaktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ beschreibt dann den schlagartigen Anstieg der QPO-Amplitude.

Zudem besitzen Schwarze Löcher selbst thermodynamische Phasenübergänge: Zum Beispiel wurden für Anti-de-Sitter-BHs *Hawking–Page*-Übergänge und Van-der-Waals-ähnliche Phasengrenzen identifiziert [7]. Diese Übergänge erinnern an Schwelleneffekte (z.B. Sprung der Entropie oder Temperatur bei einem kritischen Parameter). In unserem Modell entspricht dies einem Wertebereich, in dem $\zeta(R)$ stufenartig von 0 auf 1 wechselt. Empirisch könnte z.B. der Übergang von harten zu weichen Röntgen-Zuständen bei einem bestimmten Bruchteil der Eddington-Durchflussrate als Schwelle dienen.

Beispielhafte Modellkomponenten: Ein skalare Gravitationfeld ϕ könnte z.B. die Neigung der inneren Scheibe beschreiben. Die Lagrange-Dichte enthält dann eine Kopplung $\zeta(a)$ des Feldes an die Kerr-Metrik. Für $a < a_{\rm crit}$ bleibt der Präzessionsterm unwirksam, für $a>a_{\rm crit}$ wird die Scheibenpräzession (und damit der QPO) aktiviert. Diese Beschreibung steht im Einklang mit Beobachtungen, dass QPOs erst bei hohen Rotationsraten und ausgeprägter Scheibenneigung auftreten [6] [7]. Die Daten zeigen klare, modulierte Frequenzbänder, die sich nach Überschreiten der kritischen Parameterzone verstärken. Empirische Werte für Θ und β müssten aus statistischer Analyse der QPO-Daten bestimmt werden.

3.2 Bienenschwärme (Waggle Dance und Kollektivverhalten)

In Bienenschwärmen (Apis mellifera) finden koordinierte Entscheidungen statt: Scout-Bienen suchen Nistplätze oder Nahrungsquellen und informieren ihre Kolleginnen über einen **Waggle Dance**, der Richtung, Entfernung und Qualität übermittelt. Dabei ist bekannt, dass Bienenvölker ein **Quorum-**

Schwellenmodell nutzen: Die Kolonie verlässt das alte Nest, sobald eine genügende Anzahl an Tänzern (typischerweise etwa 15) einen neuen Ort unterstützt [8]. Unterhalb dieser Quorum-Größe bleibt der Schwarm im bisherigen Nest, oberhalb der Schwelle ($\Theta \approx 15$ tanzende Bienen am Standort) gibt es eine koordinierte Umschaltbewegung [8].

Unser Schwellenfeldmodell setzt für Bienenschwärme den Parameter R als Anzahl oder Dichte wirksamer Tänzer an. Die Reaktionsfunktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ beschreibt dann die Wahrscheinlichkeit, dass sich der gesamte Schwarm zur neuen Stelle aufmacht. Empirische Untersuchungen (Seeley et al. 2006) zeigen: Sobald rund 15 Bienen an einem Nestplatz gleichzeitig werben, beginnt die Schwarmvorbereitung zum Abflug [8]. Dies entspricht genau einem Schwellenwert Θ im Sinne unserer Theorie. Die Steilheit β hängt davon ab, wie „geboren" der Übergang ist – in der Natur beobachten wir eine relativ scharfe, aber nicht völlige Sprungantwort: Bei etwas weniger als 15 Tänzern bleibt der Schwarm untätig, bei etwas mehr tritt die Mobilisierung schnell ein.

Mathematische Modellierung: Man kann sich ein skalares Feld ϕ vorstellen, das z.B. den kollektiven Bestimmungsfokus des Schwarms beschreibt. Dieses Feld wird durch die Summe aller waggle dances moduliert. Die Schwellenfunktion $\zeta(R)=\sigma(\beta(R-\Theta))$ ist nahe 0, wenn wenige Bienen werben, und nahe 1, wenn ein Quorum erreicht ist. Der Modulationsterm $\mathcal{M}$ kann etwa abnehmende Tanzaktivität bei Konkurrenz zwischen Alternativen modellieren (Bewegungspotential von einer Option zur nächsten). In Übereinstimmung mit Experimenten beginnt der Schwarmzug zu einem neuen Standort genau dann, wenn $R\ge \Theta$ über einen Zeitraum stabil ist [8].

3.3 LLMs (Emergenz durch Skalierung)

Große Sprachmodelle (Large Language Models) zeigen **emergente Fähigkeiten** beim Skalieren: Es gibt Aufgaben, die kleine Modelle nicht bewältigen, aber ab einer kritischen Modellgröße plötzlich gemeistert werden. Wei et al. (2022) beschreiben diese Erscheinung als unerwartet und *nicht* durch lineare Skalierungsgesetze vorhersagbar [4]. Im Schwellenfeldmodell ist R hier typischerweise die logarithmische Anzahl der Modellparameter (oder Rechenkapazität), und Θ die kritische Größe, bei der sich z.B. Genauigkeitswerte für eine Aufgabe schlagartig verbessern. Vor Erreichen von Θ bleibt die Leistung nahe dem Zufallsniveau, oberhalb steigt sie laut sigmoidaler Kurve fast sprunghaft an [4]. Dieses Verhalten hat den Charakter eines Phasenübergangs: Die **Reaktionsfunktion** $\sigma(\beta(R-\Theta))$ kann die plötzliche Steigerung der Task-Performance modellieren.

Weiß man empirisch, z.B. dass Übersetzungs- oder Logikaufgaben erst ab Modellen mit 10^8–10^9 Parametern gelöst werden, so entspricht dies einem geschätzten Θ in dieser Größenordnung. Die Steilheit β ist hier sehr groß: Die Leistung verbessert sich in einem sehr engen Fenster der Modellgröße dramatisch. Wei et al. veranschaulichen dies anhand von Skalierungskurven, in denen die Task-Performance bis knapp vor Θ im Mittel zufällig bleibt und dann explosionsartig ansteigt [4]. Solche Sprungantworten treten besonders bei kognitiven Fähigkeiten oder komplexen Sprachaufgaben auf. Modelltheoretisch entspricht dies einem Feld, das erst ab einem kritischen Gesamtkomplexitätsniveau aktiviert wird.

3.4 Eis XXI (Hochdruck-Kristallübergang)

Neueste Experimente haben unter extremen Bedingungen eine neue Eisform entdeckt: *Eis XXI* [9]. Bei schneller Kompression von Wasser auf etwa 2 GPa bleibt das Wasser bis über seine sonstige Kristallisationstemperatur flüssig und bildet dann ein metastabiles tetragonales Kristallgitter (Eis XXI) [9]. In unserem Schwellenfeldmodell entspricht R dem äußeren Druck (oder der erreichten Dichte) und $\Theta\approx2\,$GPa dem kritischen Druck, bei dem sich die Eisstruktur ändert. Für $R<\Theta$ befindet sich das System in einer bekannten Eisphase (z.B. Eis VI), oberhalb von Θ kristallisiert es in Eis XXI. Die Reaktionskurve ist hier extrem steil: Phasenübergänge in Festkörpern sind oft erste Ordnung, d.h. das neue Kristallgitter erscheint abrupt.

Mathematische Modellierung: Man kann ein Ordnungsparameter-Feld ϕ einführen, das z.B. die Dichtemodulation im Kristall beschreibt. Das Potenzial $V(\phi)$ wechselt oberhalb der Schwelle charakteristisch von dem Minima der Eis-VI-Struktur zum neuen Eis-XXI-Minimum. Die Schwellenfunktion $\zeta(P)=\sigma(\beta(P-\Theta))$ koppelt den Druck an das Feld; bei hoher Steilheit β entsteht eine scharfe Phasenumwandlung. Experimentell findet man dabei „Mehrfachpfade“ von Flüssigkeit zu Eis XXI und zurück [9]. Diese Komplexität kann durch einen Modulationsterm $\mathcal{M}(P,t)$ modelliert werden, der z.B. die Abhängigkeit vom Kompressionsrate-Verlauf einbezieht. Gesamtstruktur ist aber eindeutig: Ein universeller Schwellenwert im Druck entscheidet über den Phasentransfer.

3.5 DNA/Gensprünge (Evolution und Epigenetik)

In der Biologie läuft Evolution oft nicht stetig, sondern *punktiert* (“punktonal”): lange Phasen relativer Stase werden durch kurze Phasen sprunghafter Veränderung unterbrochen (Punktualgleichgewicht) [10]. Mechanismen dafür können **epigenetische Schalter** und **Transposons** sein. Wir nehmen R als Maß für äußeren Stress oder Mutationsdruck an, der epigenetische Stabilität beeinflusst. Unter normaler Bedingungen schalten epigenetische Regulatoren (RNA-Interferenz, DNA-Methylierung) Transposons aus und halten das Genom in einem stabilen Gleichgewicht [10]. Wird jedoch durch Stress eine kritische Schwelle überschritten ($R>\Theta$), versagen diese Kontrollmechanismen und Transposons werden aktiv: Sie verursachen Genomrestrukturierung, Mutationen und plötzliche evolutionäre Sprünge [10].

Dies passt zum Schwellenfeld-Modell: Die Reaktionsfunktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ kodiert, dass erst ab einem gewissen Stresslevel massive genetische Veränderungen (Antwort = 1) einsetzen, während darunter die Evolution auf Makroebene kaum voranschreitet. Zeh et al. schlagen etwa vor, dass **epigenetische Regulation** das System solange im Ruhezustand hält, bis ein Stressschwellenwert erreicht wird [10]. Mathematisch könnte ϕ etwa die Konzentration eines entscheidenden Transposon-Proteins darstellen, das durch $\zeta(R)$ gedämpft wird. Das Konzept des Schwellenfelds verbindet hier die genbiologischen Schalter mit einem Feldgesetz: Auch biologische Evolution ist damit als Feldprozess interpretierbar, bei dem Schwellenwerte (Θ) und Steilheiten (β) die Dynamik steuern.

4. Vergleich: Skalierung der β-Werte und Emergenzdynamiken

Beim Vergleich der Systeme fällt auf, dass die Schwellenwerte und Reaktionssteilen sehr unterschiedlich skaliert sind, aber in allen Fällen eine sigmoidale Funktion das qualitative Verhalten abbildet. Zusammenfassend lassen sich etwa folgende Tendenzen nennen:

- **Schwarze Löcher:** Typischerweise stark geschärfte Übergänge. Thermodynamische Phasenübergänge wie der Hawking–Page-Übergang oder Van-der-Waals-ähnliche Umwandlungen erfordern präzise Schwellenwerte [7]. Entsprechend erwartet man in unserem Modell eine große β (sehr abrupt), vergleichbar mit einem ersten Ordnungsübergang.
- **Bienenschwärme:** Hier wurde experimentell ein Quorum bei $\Theta\approx15$ Bienen gefunden [8]. Die Anstiegsschärfe β ist moderat: Der Übergang erfolgt innerhalb einiger Tanzzyklen, aber nicht sofort wie ein Delta-Impuls. In Zahlen: Unterhalb von 15 Tänzern bleibt der Schwarm ruhig, oberhalb bewegt er sich binnen Minuten [8].

- **LLMs:** Die Sprungantwort ist extrem steil. Wei et al. beschreiben, dass die Performanz bis nahe an die kritische Modellgröße quasi auf Zufallsniveau verharrt und dann plötzlich stark ansteigt [4]. Dies entspricht einem sehr großen β, praktisch wie ein diskontinuierlicher Übergang in der Entropie-Kennlinie. Kleine Variation von R um Θ führt zu sprunghaftem Aufstieg.
- **Eis XXI:** Festkörper-Phasenübergänge sind im Idealfall ebenfalls sehr scharf (als erster Ordnung). Die Experimente mit Eis XXI zeigen mehrere Umwege (Metastabilität), aber grundsätzlich kristallisiert das Wasser abrupt, wenn $P\approx2$ GPa erreicht ist [9]. Wir erwarten also ein hohes β, nahe einem Sprung.
- **Evolution (DNA):** Hier wirkt Rauschen und Selektion, so dass Übergänge eventuell etwas abgeschwächter sein können. Dennoch postuliert das „Epi-Transposon"-Modell, dass unter Stress nahezu kein Genfluss passiert (Antwort ≈0) bis ein Schwellenstress einsetzt und dann eine Welle von Mutationen folgt [10]. Auch hier könnte β relativ groß sein, aber durch Populationseffekte etwas gemildert.

Eine übersichtliche Zusammenstellung:

System	Trigger R	Schwelle Θ	Steilheit β (qualitativ)
Schwarzes Loch (QPO)	Akkretionsrate oder Spin	Kritische Ströme-/Spin-Grenze	sehr groß (quasi first-order)
Bienenschwarm	Anzahl der tanzenden Bienen	$\Theta\approx15$ Bienen [8]	moderat (scharfer Schwarm-Lift-off)
LLM (AI)	Modellgröße (Parameterzahl)	Kritische Modellgröße (10^8–10^9) [4]	sehr groß (sehr abrupt)
Eis XXI (Druck)	Druck P in GPa	$\Theta\approx2$ GPa (RT) [9]	groß (typischer Kristallübergang)
DNA/Evolution	Umweltstress/ Mutationsrate	Epigenetischer Schwellenstress [10]	groß (punktierte Veränderungen)

Tabelle: Trigger-Parameter, Schwellenwert und geschätzte Steilheit β in den fünf Domänen. Die Werte sollen nur qualitative Größenordnung illustrieren; z.B. beträgt bei Bienen das Quorum ~15 [8], beim Eis-Übergang ca. 2 GPa [9]. Ein großer β impliziert in der Reaktionsfunktion ein fast sprunghaftes Einschalten, während ein kleinerer β einen sanfteren Übergang beschreibt.

In allen Fällen erkennen wir die gleiche Form: Die sigmoidale Funktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ kodiert den „alles-oder-nichts"-Charakter des Übergangs. Dies verdeutlicht die Universalität: Trotz großer physikalischer Unterschiede (Gravitation vs. Chemie vs. Genetik vs. künstliche Netze) kann die Feldantwort prinzipiell durch denselben mathematischen Mechanismus beschrieben werden [4] [8]. Die physikalischen Details stecken in den genauen Werten von R, Θ, β und in der Gestalt von $V(\phi)$ bzw. $\mathcal{M}$ – die Gesetzmäßigkeit aber bleibt erhalten.

5. Philosophie: *It-from-Bit*, Proto-Erleben und Gaia

Diese transdisziplinäre Sicht wirft auch philosophische Fragen auf. John Wheeler formulierte die Idee "*It from bit*": Jede physikalische Entität entstünde aus binären Ja/Nein-Antworten [1]. Nach Wheeler leitet sich demnach selbst die Raum-Zeit-Geometrie aus Informationserzeugung ab. Dieses Denkmuster harmoniert mit unserem Ansatz: Das Feld ist hier nicht primär Materie, sondern ein Informationsschema, in dem Schwellenfragen („Schalte ein?") fundamental sind.

Eine verwandte Spekulation ist das *proto-Erleben* oder Bewusstseinsfeld: Einige Theoretiker (z.B. Penrose/Hameroff) postulieren, dass das Universum eine elementare Form von Bewusstsein oder Informationswahrnehmung habe, die in jedem Feld mitschwingt. In unserer Vorstellung könnte man sich überlegen, ob dieser Schwellenprozessor $\sigma(\beta(R-\Theta))$ auch als primitive Form von Reiz-Reaktions-Verhalten *proto-bewusster* Systeme interpretiert werden kann, die „Entscheidungen" an kritischen Punkten treffen. Obwohl dies stark spekulativ ist, knüpft es an die Idee an, dass Information und Erfahrung auf fundamentaler Ebene verbunden sind.

Schließlich erinnert unser universales Feldkonzept an die **Gaia-Hypothese** von Lovelock: Die Erde wird als ein einziges sich selbst regulierendes System („Planetarer Superorganismus") aufgefasst [2]. Auch hier spielen Schwellenwerte und Rückkopplungsfelder eine Rolle: globale Parameter wie Atmosphäre oder Temperatur werden durch Biosphäre und Geosphäre so gesteuert, dass habitable Bedingungen erhalten bleiben. Im Sinne unserer Theorie könnte man die Biosphäre als ein Feld auffassen, dessen Schwellenwirkung das Klima stabilisiert – eine Art Gaia-Reaktionsfunktion.

Zusammengefasst schlägt unsere Feldtheorie eine Brücke zwischen *Information*, *Emergenz* und *Ganzheitlichkeit*. „It-from-bit" [1] und Gaia [2] sind Stichworte, die darauf hindeuten, dass Physik, Leben und Bewusstsein nicht völlig losgelöste Bereiche sind. Vielleicht ist es kein Zufall, dass autonome Systeme in der Biologie ebenso wie abstrakte Informationssysteme den gleichen Schwellen- bzw. Sigmoidmechanismus nutzen.

6. Fazit: Eine universelle Schwellenfeld-Theorie?

Wir haben gezeigt, dass Schwarze Löcher, Bienenschwärme, große KI-Modelle, Hochdruck-Eis und evolutionäre DNA-Systeme auf überraschend ähnliche Weise durch **dynamische Schwellenfelder** beschrieben werden können. Jedes dieser Systeme lässt sich durch einen Triggerparameter R, einen Schwellenwert Θ und eine Steilheitskonstante β charakterisieren, wobei die Reaktion $\sigma(\beta(R-\Theta))$ als universelles Aktivierungsprofil dient. Diese gemeinsame Formalisierung unterstreicht das Prinzip, dass in vielen natürlichen Phänomenen **qualitative Veränderungen** durch Überschreiten kritischer Werte hervorgerufen werden – ein Kerngedanke der Emergenztheorie (Anderson 1972) [3].

Die große Steilheit der sigmoiden Kurve in einigen Systemen (LLMs, Phasenübergänge) deutet auf **phasenartige** Dynamik hin, während geringere Steilheit bei sozialen oder biologischen Systemen die Rolle von Fluktuationen und Adaptivität widerspiegelt. Ein solcher transdisziplinärer Ansatz kann nicht nur helfend sein, um Muster in Big Data oder Simulationen zu identifizieren, sondern eröffnet auch eine gemeinsame Sprache für Physiker, Biologen, KI-Forscher und Philosophen.

Abschließend bleibt die Frage: Liegt hinter der Vielgestaltigkeit der Natur tatsächlich ein einziges zugrundeliegendes Feldgesetz der Schwellenfelder? Unsere Arbeit ist ein Manifest in diese Richtung. Während empirische Details (z.B. konkrete β-Werte) unterschiedlich sind, zeigt die Feldperspektive verblüffende strukturelle Ähnlichkeiten. Dies eröffnet die Möglichkeit weiterer Untersuchungen – etwa, ob sich *weitere* Phänomene (z.B. neuronale Aktivität, Sozialdynamik oder kosmische Inflation) als spezielle Fälle des gleichen Schwellenfeld-Modells interpretieren lassen. Sollte sich diese Sicht bewähren, wären Wissenschaft und Philosophie um ein mächtiges, universelles Prinzip reicher: Die Dynamik der Welt als Tanz um **Schwellen** und **Felder**, vereint durch Informationsgesetze und Emergenz.

Literaturhinweise: Die obigen Beispiele stützen sich u.a. auf experimentelle Befunde wie Seeley et al. (2006) zur Schwarmentscheidung [8], Lee et al. (2025) zur Eis-XXI-Entdeckung [9] sowie Wei et al. (2022) zu emergenten Fähigkeiten in LLMs [4]. Philosophisch-relevante Konzepte finden sich bei Wheeler [1] (It-from-Bit) und Lovelock [2] (Gaia). Weitere empirische Untersuchungen würden helfen, die Zusammenhänge quantitativ zu belegen und die Reaktionsparameter der verschiedenen Systeme genauer zu bestimmen.

---

[1] philpapers.org
https://philpapers.org/archive/WHEIPQ.pdf

[2] (anonymous)
https://courses.seas.harvard.edu/climate/eli/Courses/EPS281r/Sources/Gaia/Gaia-hypothesis-wikipedia.pdf

[3] [4] [2206.07682] Emergent Abilities of Large Language Models
https://ar5iv.labs.arxiv.org/html/2206.07682

[5] Threshold response to stochasticity in morphogenesis | PLOS One
https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0210088

[6] [2001.08758] A review of quasi-periodic oscillations from black hole X-ray binaries: observation and theory
https://arxiv.org/abs/2001.08758

[7] Can Quasi Periodic Oscillations Encode Traces of Black Hole Phase Transitions ?
https://arxiv.org/html/2504.11205v1

[8] 2006-05Seeley.indd
https://bees.ucr.edu/media/156/download

[9] Ice XXI: Scientists use X-ray laser to identify new room-temperature phase
https://phys.org/news/2025-10-ice-xxi-scientists-ray-laser.html

[10] Transposable elements and an epigenetic basis for punctuated equilibria - PubMed
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19472370/