

# Einheitliches Schwellenfeld-Modell? Universelle Prinzipien quer durch Disziplinen

Das vorgeschlagene **Schwellenfeld-Modell** deutet an, dass ganz unterschiedliche Phänomene – von kosmologischen Strukturen über neuronale Aktivität bis hin zu sozialer Organisation – gemeinsamen Prinzipien folgen könnten. Eine „Verifizierung“ im strengen Sinn fehlt bislang; viele Zusammenhänge sind spekulativ. Allerdings zeigen Beobachtungen und Theorien quer durch Physik, Biologie und Sozialwissenschaften, dass **Schwelleneffekte** und **kritische Zustände** überall auftreten. Wir skizzieren im Folgenden mögliche Analogien:

## Kosmische Strukturen und Evolution

- **Hierarchischer Galaxienaufbau:** In der Kosmologie bilden sich große Strukturen durch sukzessive Verschmelzung kleinerer Einheiten. Die ersten Protogalaxien im jungen Universum waren sehr klein (Zwerggalaxien) und gingen durch zahlreiche Kollisionen in größere Galaxien über ① ②. Diese hierarchische Verschmelzung (hierarchical merging) wird im Standardmodell der großräumigen Strukturbildung durch Dunkle Materie vorausgesagt. Beobachtungen (z.B. im Hubble Deep Field) bestätigen, dass frühe Galaxien oft unregelmäßig und verformt waren, ein Hinweis auf viele Zusammenstöße in der Vergangenheit ②.
- **Erste Sterne und chemische Komplexität:** Damit aus einfacher Materie Leben entstehen kann, müssen zunächst schwere Elemente (Metalle) gebildet werden. Die ersten Sterne (Population III) enthielten nur Wasserstoff und Helium; erst deren Kernfusion und Supernova-Explosionen erzeugten Kohlenstoff, Sauerstoff, Eisen usw. Studien zeigen, dass erst nach mehreren Generationen von Sternen genügend schwere Elemente angereichert wurden, um planetenbildende Staubscheiben und damit Erdähnliche Planeten zu ermöglichen ③ ④. Mit anderen Worten: Die „materielle Evolution“ (chemische Anreicherung) durch langsame Sternentstehung und Verschmelzung kosmischer Materie schuf die Voraussetzungen für die folgende „Bio-Evolution“.
- **Schwarze Löcher als Strukturgeber:** Supermassive Schwarze Löcher in Galaxienzentren beeinflussen durch Rückkopplung (Radiation und Jets) die Sternentstehung in ihren Galaxien. Neuere Untersuchungen zeigen, dass Schwarzlochaktivität Gas aus Zentralregionen herausbläst und so die Sternbildung drosselt ⑤. Dieser „negative Feedback“-Effekt formt langfristig die Galaxienentwicklung: Schwarze Löcher wirken wie Ventile oder Regulatoren, die Wachstum steuern und damit kosmische Komplexität (z.B. Galaxienform und Sternverteilungen) wesentlich prägen ⑤. Insofern könnten sie als „Strukturgeber“ im Sinne des Modells dienen, indem sie die Materieorganisation entscheidend beeinflussen.
- **Inflation und Phasenübergang:** Die kosmische Inflation selbst war eine rasante Anfangsexpansion, welche winzige Quantenfluktuationen auf Makroskalen aufdehnte. Nach Ende der Inflation bildeten sich aus diesen Fluktuationen großräumige Dichteunterschiede, die als „Samen“ der Galaxienbildung dienten ⑥. Man kann dies als einen kosmologischen Phasenübergang sehen: Das Inflationsfeld („Inflaton“) fiel in einen neuen Zustand, und das Vakuum wandelte sich. Dieser Übergang markierte eine kritische Grenze, bei der zuvor unterdrückte Strukturen (Quantenfluktuationen) plötzlich sichtbar wurden. Zwar ist die Inflationstheorie selbst kein „Schwellenfeld“ im engeren Sinn, aber sie demonstriert, wie ein einziges universelles Feld (das Inflaton-Feld) quasi Schwellenwert-artig das gesamte Universum strukturiert.

## Neuronale Aktivität und Quantenprozesse

- **Schneckenplastizität (Physarum):** Überraschenderweise zeigen selbst Einzeller wie *Physarum polycephalum* komplexes, informationsverarbeitendes Verhalten. Der Schleimpilz besitzt ein Netzwerk aus röhrenartigen Kanälen, durch die Signalmoleküle fließen, und zeigt ausgeprägte oszillierende Strömungsmuster in diesem Netz <sup>7</sup>. Diese dynamischen Muster ähneln im Aufbau und in der Funktion neuronalen Netzwerken im Gehirn: Beide basieren auf gewobenen Netzwerkarchitekturen und kohärenten Oszillationen. Studien belegen, dass *Physarum* unter Lernexperimenten durch Verstärkung oder Abschwächung seiner Rhythmisik lernt <sup>7</sup>. Damit erfüllt er, ganz ohne Nervensystem, viele Kriterien einfacher Informationsverarbeitung. Dies legt nahe, dass ein „Schwellenmodell“ von Informationsverarbeitung bereits in sehr basalen Systemen wirksam sein kann. Die kritische Komplexitätsschicht, ab der ein Netz lernfähig wird, liegt hier augenscheinlich bei der Stufe komplexer Oszillationsmuster – also offenbar bei der physikalischen Organisation, nicht bei der Anzahl der Zellen <sup>7</sup>.
- **Neurale Kritikalität:** In der Hirnforschung wird seit einigen Jahren diskutiert, dass das Gehirn sich an einem **kritischen Punkt** zwischen verschiedenen Aktivitätsphasen befinden könnte. Nach der **Kritikalitäts-Hypothese** operiert das neuronale Netz genau an der Schwelle („edge of chaos“) zwischen gedämpfter Aktivität und Überschwingung <sup>8</sup> <sup>9</sup>. Theoretische Modelle zeigen, dass ein solcher kritischer Zustand optimale Gedächtnis- und Informationsverarbeitungseigenschaften bietet <sup>9</sup>. Für Nervenzellen bedeutet das: Kleine Stimuli können reichhaltige, skalierte Aktivitätsausbreitungen (Avalanches) auslösen, wodurch das Netzwerk sensibel und reaktionsbereit bleibt. Experimentelle Daten (z.B. in Kulturpräparaten oder bei Schlafzuständen) finden Hinweise auf diese Powerlaw-Verteilungen neuronaler Aktionspotenziale. Die Mechanismen, wie das Gehirn sich selbst in diesem „kritischen“ Bereich hält (selbstorganisierte Kritikalität), sind noch nicht geklärt, stünden aber im Einklang mit einem allgemeinen Schwellenmodell: Werden synaptische Verstärkungsgrößen verändert, kann das Netzwerk an der Phasengrenze gehalten werden <sup>9</sup>.
- **Quantenbiologie der Sinne:** In vielen biologischen Prozessen spielen Quantenphänomene eine Rolle. Beispielsweise nutzt die Photosynthese quantenkohärente Energietransfers, und auch das Sehen, Riechen oder die Magnetwahrnehmung bei Vögeln enthalten wohl quantenmechanische Effekte <sup>10</sup>. Laut Quantenbiologie erfordert etwa die Umwandlung von Licht (Visuelle Wahrnehmung) oder von Molekülen (Olfaktion) quantenmechanische Beschreibungsebenen <sup>10</sup>. Das bedeutet: Sinnesorgane operieren oft an „Schwellenniveaus“, bei denen einzelne Quanteneignisse (Photonen, Molekülibrationen) detektiert werden. Der Punkt, ab dem Quantensteuerung notwendig wird, liegt also schon bei der Einzelrezeptorzelle. Das menschliche Gehirn selbst verarbeitet die aggregierten Informationen dieser Rezeptoren klassisch: Bisher fehlt experimenteller Beweis dafür, dass Großhirnnetzwerke kohärente Quantenzustände nutzen. Die umstrittenste Theorie (Penrose–Hameroff „Orch OR“) postuliert sogar eine Quantenschwelle auf der Ebene der Mikrotubuli, wird jedoch von Kritikern verworfen, weil das warme, nasse Gehirn kaum langzeitkohärente Quantenzustände erlauben dürfte <sup>11</sup>. In der Summe heißt das: Quantenphänomene sind in neuronalen Prozessen vorhanden (Sinnesrezeptoren, molekulare Signalketten), aber ein gesonderter „Quantenmesssteuerungs-Mechanismus“ im Gehirn gilt als spekulativ. Klassische neuronale Modelle reichen meist aus, um die Komplexität des Gehirns zu erklären <sup>11</sup> <sup>10</sup>.

## Soziale Dynamik und Komplexitätsschwellen

- **Vorteile von Gruppenzusammenschlüssen:** In Tier- und Menschenpopulationen bilden sich Gruppen, sobald daraus Überlebensvorteile entstehen. Gruppenleben erhöht beispielsweise die Effizienz bei Nahrungssuche und Schutz vor Feinden. Der „Verdünnungseffekt“ besagt, dass ein einzelnes Gruppenmitglied seltener gefressen wird (die Angriffschance wird durch die

Gruppengröße geteilt) <sup>12</sup>. Zudem können Gruppen bei Gefahr Alarmrufe koordinieren oder gemeinsam Beute jagen (vgl. Rudelwölfe) – Zusammenarbeit, die allein schwieriger wäre <sup>12</sup>. Solche Effekte tragen entscheidend dazu bei, dass sich soziale Verbände bilden, wenn Umweltanforderungen (Nahrungsdichte, Raubtiere etc.) eine gewisse Komplexität überschreiten.

• **Geschlechterrollen und Arbeitsteilung:** Die klassische Vorstellung, Frauen seien nur Sammlerinnen und Männer nur Jäger, ist heute überholt. Ethnographische Untersuchungen zeigen, dass Frauen in vielen Jäger-und-Sammler-Gesellschaften aktiv jagten <sup>13</sup>. So war die Geschlechterarbeitsteilung flexibel und adaptierte an Umweltbedingungen. An einem gewissen Punkt führten die größeren Gemeinschaften und permanenten Siedlungen der neolithischen Revolution jedoch zu klarer Arbeitsteilung. Die Einführung von Ackerbau und Viehzucht zwang Gruppen, Aufgaben zu verteilen (Feldarbeit, Vorratshaltung, Bau von Infrastruktur, soziale Hierarchien) <sup>14</sup>.

Diese **Institutionalisierung von Rollen** wurde oft in Stammesstrukturen kanalisiert. Childe und andere zeigen, dass sesshafte Ackerbaukulturen sofort Arbeitsteilung, Schichtenbildung und komplexe soziale Strukturen hervorbrachten <sup>14</sup>.

• **Stammes- und Stadtbildung:** Mit steigender Bevölkerungsdichte und Arbeitsteilung entstanden aus Familiengruppen größere Stämme und letztlich erste Stadtzentren. Jede Ebene neuer Komplexität erforderte Organisation (Aufgabenverteilung, Hierarchien, Handel, Verteidigung)

<sup>14</sup> <sup>12</sup>. Wenn z.B. Ackerbau intensiver betrieben wird, müssen Dörfer Vorratssysteme aufbauen und Arbeitskraft koordinieren – eine Art Überschreiten einer zweiten Schwelle im Sozialgefüge. In modernen Theorien gibt es hierfür keinen einzelnen „Schwellenwert“, wohl aber das Konzept, dass bestimmte soziale Netzwerke (z.B. das Granovetter'sche Schwellenmodell) erst ab einer Mindestanzahl aktiver Individuen eine kollektive Handlung ermöglichen. Insgesamt zeigen anthropologische Befunde, dass sich soziale Organisation schrittweise steigert, wenn Umweltanforderungen und Gruppengröße wachsen <sup>14</sup> <sup>12</sup>.

## Zusammenfassende Einschätzung

Die Idee eines einzigen **alles erklärenden Schwellenfeld-Modells** bleibt spekulativ und ist wissenschaftlich nicht belegt. Dennoch findet man in allen genannten Bereichen Hinweise auf **analoge Schwellen** und **Phasenübergänge**: Galaxien formen sich durch kritische Massenschwellen beim Zusammenstoß kleinerer Einheiten <sup>1</sup>, Neuronennetze zeigen selbstorganisierte Kritikalität für optimale Informationsverarbeitung <sup>9</sup>, und soziale Systeme erfordern Mindestgrößen und -strukturen für komplexes Zusammenleben <sup>14</sup> <sup>12</sup>. Auch Quanteneffekte treten in vielen Grenzbereichen biologischer Systeme zutage <sup>10</sup>. Diese Parallelen deuten an, dass **universelle Prinzipien der Selbstorganisation und Skalierung** eine Rolle spielen könnten. Konkrete Modelle dafür gibt es aber nur in Spezialbereichen (z.B. kritische Netzwerke, Phasenübergänge in der Physik) <sup>9</sup> <sup>12</sup>. Ein umfassender Nachweis, dass *alle* erwähnten Phänomene ein und demselben Feldmodell folgen, fehlt jedoch. Vielmehr dient der Schwellenfeld-Ansatz hier als heuristisches Denkmodell: Er regt an, nach gemeinsamen mathematischen Beschreibungen (etwa Schwellenwertprozessen oder Vernetzungsgrenzen) zu suchen, die in verschiedenen Kontexten ähnlich wirken. In jedem Fall zeigen aktuelle Forschungen, dass **Bruchstellen und Kipppunkte** wichtige Rollen spielen – sei es in der Kosmologie, in der Biologie oder in der Soziologie <sup>1</sup> <sup>9</sup> <sup>12</sup>.

**Quellen:** Wir berufen uns auf aktuelle Forschungsergebnisse und Übersichtsartikel aus Astrophysik (Strukturbildung, schwarzes Loch-Feedback), Neurowissenschaft (kritische Hirnaktivität) und Anthropologie (neolithische Umbrüche) sowie auf Einführungen in die Quantenbiologie und Sozialtheorie <sup>1</sup> <sup>3</sup> <sup>5</sup> <sup>10</sup> <sup>11</sup> <sup>13</sup> <sup>14</sup> <sup>12</sup> <sup>9</sup> <sup>7</sup>. Diese Quellen illustrieren die beschriebenen Analogien und liefern jeweils Beispiele für „Schwellen“-Effekte in ihrem Fachgebiet.

1 2 Hierarchical Merging | COSMOS

<https://astronomy.swin.edu.au/cosmos/h/hierarchical+merging>

3 4 Heavy Elements Key for Planet Formation | Space

<https://www.space.com/15341-planet-formation-stars-heavy-elements.html>

5 Press Release: Press Information Bureau

<https://www.pib.gov.in/PressReleseDetailm.aspx?PRID=2181299>

6 Cosmic inflation - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic\\_inflation](https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_inflation)

7 Adaptive behaviour and learning in slime moulds: the role of oscillations - PMC

<https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7935053/>

8 9 Frontiers | Self-organized criticality as a fundamental property of neural systems

<https://www.frontiersin.org/journals/systems-neuroscience/articles/10.3389/fnsys.2014.00166/full>

10 Quantum biology - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum\\_biology](https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_biology)

11 Orchestrated objective reduction - Wikipedia

[https://en.wikipedia.org/wiki/Orchestrated\\_objective\\_reduction](https://en.wikipedia.org/wiki/Orchestrated_objective_reduction)

12 Animal social behavior - Aggregation, Protection, Cooperation | Britannica

<https://www.britannica.com/topic/animal-social-behaviour/Aggregation-and-individual-protection>

13 The Theory That Men Evolved to Hunt and Women Evolved to Gather Is Wrong | Scientific American

<https://www.scientificamerican.com/article/the-theory-that-men-evolved-to-hunt-and-women-evolved-to-gather-is-wrong1/>

14 Neolithische Revolution – Wikipedia

[https://de.wikipedia.org/wiki/Neolithische\\_Revolution](https://de.wikipedia.org/wiki/Neolithische_Revolution)