

## Prinzip des Lebens: Von Gaia zur Kosmologie

Doch genau hier liegt das grundlegende Problem: Wie dieser Übergang von unbelebter Materie zu einer ersten lebenden Zelle erfolgt sein könnte, ist bis heute weitgehend unverstanden. Während für alle späteren Stufen der biologischen Evolution Mechanismen und Prozesse rekonstruiert und nachvollzogen werden können, bleibt der Quantensprung von molekularen „Bausteinen“ hin zu funktionaler zellulärer Komplexität ein wissenschaftliches Rätsel.

Der Saum des Lebens ist nicht scharf begrenzt, sondern zeichnet sich vielmehr durch eine graduelle Zunahme von Komplexität und (Selbst-)Organisation aus. Die Emergenz des Lebens dürfte mit spezifischen Formen der molekularen Wechselwirkung und Selbstorganisation verbunden sein – Phänomene, die sich nicht unmittelbar aus den Eigenschaften der Einzelmoleküle ableiten lassen.

Seit jeher versucht der Mensch, das Lebendige vom Unbelebten zu unterscheiden. Als klassische Kennzeichen des Lebens gelten Merkmale wie Bewegung, Stoff- und Energieaustausch, Wachstum, Reizbarkeit, Fortpflanzung, Zellaufbau und ihre Einbettung in eine evolutionäre Entwicklung. Solche Kriterien dienen der Abgrenzung – doch in Wahrheit ist die Trennlinie alles andere als eindeutig. Leben lässt sich nicht in einfachen Kategorien erfassen; es ist ein Prozess, nicht nur ein Zustand.

Die Interdependenzen zwischen biotischen (lebenden) und abiotischen (nicht-lebenden) Faktoren sind vielschichtig – und zugleich grundlegend für das Funktionieren jedes Ökosystems. Die komplexen Wechselbeziehungen zwischen organischen und anorganischen Komponenten werden durch unterschiedliche Mechanismen reguliert, die in Form einer dynamischen Selbststabilisierung zur Erhaltung der biologischen Vielfalt beitragen.

Ein klassisches Beispiel für diese wechselseitigen Abhängigkeiten ist der Nährstoffkreislauf: Biotische Faktoren wie Pflanzen und Tiere nehmen Nährstoffe auf, die ihnen durch abiotische Elemente wie Boden, Wasser und Gestein bereitgestellt werden. Dieser Kreislauf wird durch die Stoffwechselprozesse von Organismen sowie den Abbau organischer Materie beeinflusst. Wasser – als lebensnotwendiger Bestandteil – ist für pflanzliches Wachstum unverzichtbar, steht jedoch selbst in Abhängigkeit zu abiotischen Gegebenheiten wie Niederschlag und Bodenfeuchtigkeit.

In diesen vielschichtigen Verflechtungen zwischen belebter und unbelebter Natur offenbart sich die beeindruckende Vielfalt des Lebens. Gerade diese gegenseitigen Abhängigkeiten ermöglichen es, dass Leben nicht nur unter günstigen Bedingungen, sondern auch in extremen, scheinbar lebensfeindlichen Umgebungen existieren kann – etwa tief im Boden, in Felsspalten oder sogar innerhalb von Gestein.

Zugleich schaffen Lebewesen durch ihre bloße Existenz neue Lebensräume und ökologische Nischen, in denen sich weitere Organismen ansiedeln können – was wiederum zur Stabilität und Widerstandsfähigkeit des gesamten Systems beiträgt.

Ein beeindruckendes Beispiel für diese erstaunlich verzweigte Vielfalt zeigt sich in den Abermillionen Mikroorganismen, die in einem einzigen Baumstamm leben. Wie neueste Forschungen belegen, bilden diese Mikroorganismen die Basis eines komplexen Netzwerks, von dem auch höher entwickelte Organismen und das Ökosystem als Ganzes abhängig sind.

Wyatt Arnold und sein Team hat auf faszinierende Weise gezeigt, dass jeder Baum ein unüberschaubares Mikrouniversum in sich birgt<sup>1</sup> – mit durchschnittlich einer Billion Mikroorganismen allein in einem einzigen Baumstamm. Diese Mikroben, zu denen Bakterien und Archaeen gehören, sind unterschiedlich verteilt, je nach Baumart und ihrer Position im Stamm. Einige gedeihen tief im sauerstoffarmen Inneren, während andere die sauerstoffreicheren äußeren Schichten besiedeln. Bäume sind offensichtlich weit mehr als bloßes Holz – sie sind lebendige Ökosysteme, die von unzähligen unsichtbaren Lebewesen bewohnt werden.

„Pando“, eine riesige Klonkolonie von Zitterpappeln im Fishlake National Forest, veranschaulicht auf eindrucksvolle Weise, wie lebende Organismen, Fragen der identitären Abgrenzung, der Interdependenz und des organischen Zusammenspiels ineinander greifen. Als einer der ältesten und schwersten lebenden Organismen der Erde besteht Pando aus genetisch identischen Bäumen, die durch ein gemeinsames Wurzelsystem miteinander verbunden sind. Was wie ein Wald aussieht, ist in Wirklichkeit ein einziges Lebewesen, das sich seit Jahrtausenden vegetativ fortpflanzt und überlebt. Diese einzigartige Form des Wachsens und Überlebens verleiht Pando eine Identität, die über die klassische Vorstellung eines Individuums hinausgeht.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Daniel Lingenhöhl berichtete am 19.07.2024 auf Spektrum.de über die Forschungsergebnisse von Wyatt Arnold und seinem Team, die die Mikroorganismen untersuchten, die sich in, mit und unter dem Holz eines Baumstamms aufhalten. (<https://www.spektrum.de/news/artenvielfalt-eine-billion-mikroorgan>; aufgerufen am 20.07.2024)

Lingenhöhl beruft sich dabei auf Wyatt Arnold (u.a.): A diverse and distinct microbiome inside living trees. Auf „bioRxiv, The Reprint Server for Biology“ <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.05.30.596553v1.full>; aufgerufen am 20.07.2024

<sup>2</sup> Vgl. dazu: Pando.- [https://de.wikipedia.org/wiki/Pando\\_\(Baum\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Pando_(Baum)); aufgerufen am 06.02.2023

Fischer, Lars: Der älteste Baum der Welt ähnelt einer Bakterienkolonie.- Auf Spektrum.de v. 05.11.2024 (<https://www.spektrum.de/news/pando-der-aelteste-baum-der-welt-aehnelt-einer>-

Es wirft die Frage auf, ob Pando als ein Organismus mit einem zentralen „Selbst“ betrachtet werden kann, oder ob es sich um eine Ansammlung vieler, aber gleichartiger „Individuen“ handelt, die kollektiv agieren.

Pando steht auch für das grundlegende Prinzip der Vernetzung in der Natur. Als Netzwerk von genetisch identischen Bäumen, die durch Wurzeln miteinander verbunden sind, symbolisiert es die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen aller Organismen innerhalb eines Ökosystems. Dieses Gleichgewicht wurde jedoch gestört, als der Mensch die natürlichen Feinde des Rotwildes beseitigte und so eine Überpopulation des Rotwildes ermöglichte.<sup>3</sup>

---

[bakterienkolonie/2241194?utm\\_source=sdwv\\_daily&utm\\_medium=nl&utm\\_content=heute](https://www.sueddeutsche.de/natur/ein-baum-wie-ein-mann-84503); aufgerufen am 06.11.2024)

<sup>3</sup> Diese Hirsche fraßen die jungen Triebe Pandos, was das Wachstum des Organismus über Jahrzehnte hinweg stoppte. Die Forschungen von Paul Rogers zeigen, wie empfindlich solche vernetzten Organismen auf Eingriffe reagieren und wie wichtig es ist, die natürlichen Kreisläufe und Beziehungen in einem Ökosystem zu respektieren.

Vgl. dazu: Bauer, Patrick: Ein Baum wie ein Mann. (In Utah steht eines der ältesten und schwersten Lebewesen der Welt: eine gewaltige Kolonie von Zitterpappeln, die als ein einziger Organismus gilt. Dieses Wesen hörte plötzlich auf zu wachsen. Bis sich ein Forscher fand, der es verstand.) <https://sz-magazin.sueddeutsche.de/natur/ein-baum-wie-ein-mann-84503>, aufgerufen am 06.11.2024