

Chaos, Turbulenz und kosmische Selbstorganisation

Kurze Inhaltsangaben zu den einzelnen Buchkapiteln

Kapitel 1 **Chaos und Turbulenz im Universum**

Wir Menschen erleben in unserem täglichen Leben immer wieder auch sehr persönlich chaotische Verhältnisse und turbulente Entwicklungen. Turbulenzen sind es auch, die die Entwicklungsprozesse auf der Oberfläche, in den Ozeanen und in der Atmosphäre unseres Planeten treiben, die das deterministisch chaotische Verhalten des Wetters und unseres Klimasystems bestimmen. Es wird aufgezeigt, wie chaotisch und turbulent die unser Leben stark beeinflussenden Entwicklungsprozesse in der aufgeheizten Sonnenatmosphäre sowie im magnetisierten Sonnenwind verlaufen können. Turbulenzen prägen nicht nur die frühen Entwicklungsphasen aller Stern- und Planetensysteme. Sie unterstützen unter anderem auch die Nukleosynthese lebenswichtiger chemischer Elemente und dominieren hochenergetische Prozessverläufe vor allem auch am Ende des Sternenlebens. Galaktische Turbulenzen verwirbeln das interstellare Medium in der Milchstraße, in aktiven Galaxienkernen und miteinander kollidierenden Galaxienhaufen.

Kapitel 2 **Geordnete kosmische Strukturen und Selbstorganisationsprozesse**

Nach dem postulierten Urknall müssen turbulent verlaufende kosmologische Entwicklungsszenarien für die Ausbildung geordneter stellarer und galaktischer Strukturen gesorgt haben. Basierend auf dem Standardmodell der Teilchenphysik werden die frühen kosmischen Entwicklungsepochen beschrieben und plausibel gemacht, wie die Bausteine der Materie in Folge von Symmetriebrüchen durch die Einwirkung unterschiedlicher Kraftfelder im anfangs weitgehend unstrukturierten Medium entstanden sein könnten. Es wird die Entwicklung erster massereicher Population III Sterne erläutert, wie sich an deren Lebensende nach Supernova-Explosionen zunehmend schwerere stellare Schwarze Löcher im Zentralbereich protogalaktischer Strukturen ausbildeten und entwickelten. Nach Kollisionen von Zwerggalaxien entstanden vermutlich die heute zu beobachtenden spiralförmigen und elliptischen Galaxientypen. Es werden die unterschiedlichsten, auffallend wohlgeordneten galaktischen und stellaren Scheiben-Jet-Strukturen vorgestellt und aufgezeigt, dass selbstorganisiert ablaufende Prozesse insbesondere auch für die Ausbildung unseres Planetensystems, für den magnetischen Aktivitätszyklus der Sonne sowie die entscheidenden Lebensvorgänge in unserem Erdsystem von zentraler Bedeutung gewesen sein müssen.

Kapitel 3 **Chaos- und Turbulenztheorien**

Auch wenn Menschen mit Chaos- und Turbulenz-Phänomenen meist eher Ungutes verbinden, so ermöglichen die im Zusammenhang mit diesen beiden Begriffen von Wissenschaftlern entwickelten Theorien erfreulicherweise tiefere Erkenntnisse über sehr wichtige kosmische Entwicklungsprozesse. Basierend auf einer relativ klaren Definition lassen sich im Fall des deterministische Chaos sehr wohl allgemeingültige Regeln aufstellen, die zumindest pauschale Entwicklungstendenzen von Systemen mit einer geringen Anzahl von Freiheitsgraden zulassen. Darüber hinaus werden aber vor allem auch die unterschiedlichsten Phänomene und komplexen Turbulenztheorien sowohl für neutrale, dichte als auch elektrisch leitfähige, magnetisierte Fluide sowie für nahezu kollisionsfreie Plasmen vorgestellt. Die Wechselwirkung unterschiedlicher Wellenmoden mit einzelnen Teilchen ermöglicht dabei insbesondere auch die Erklärung der Turbulenz-, Dämpfungs- und Dissipationsprozesse in den besonders häufig anzutreffenden, stark ausgedünnten kosmischen Medien speziell auch innerhalb unseres Sonnensystems. Abschließend wird die Bedeutung der kosmischen Turbulenzforschung zusammenfassend herausgestellt.

Kapitel 4 **Theorien zur Selbstorganisation**

In ganz unterschiedlichen Zusammenhängen erleben und registrieren wir Menschen Entwicklungen und Phänomene, die durch die Ausbildung überraschend geordneter und sehr variabel organisierter Strukturen in Umgebungen geprägt sind, die anfangs recht chaotisch und turbulent verwirbelt erscheinen mögen. Seit der Antike erforschen Naturphilosophen und Wissenschaftler die

Hintergründe dieser überall im Universum beobachtbaren Szenarien, bemühen sich um Entwicklung übergeordneter, paradigmatisch verwendbarer Konzepte und Theorien zur Erklärung solcher Selbstorganisationsprozesse. Die Bildung grundlegender Theorien erfordert die Sammlung typischer Charakteristika vieler sich selbst organisierender Systeme, eine möglichst verbindliche Definition des Selbstorganisationsbegriffs sowie die Zusammenstellung wissenschaftlich fundierter allgemeingültiger Funktionsprinzipien. Es werden die charakteristischen gemeinsamen Eigenschaften unterschiedlicher Selbstorganisationsprozesse vorgestellt, die in offenen, dissipativen und nichtlinearen Systemen fern von Gleichgewichtszuständen in Fluiden und Plasmen, durch Ordnungsparameter versklavt, häufig in zyklischer und katalytischer Weise unterstützt ablaufen.

Kapitel 5 **Astrophysikalische Strukturbildungsprozesse**

Höher entwickeltes Leben kann sich in Planetensystemen vermutlich nur unter dem, wesentliche Grundlagen schaffenden und schützenden Einfluss kosmischer Magnetfelder entwickeln. Es wird modellhaft veranschaulicht, wie Selbstorganisationsprozesse für die Erzeugung magnetischer Saattfelder im frühen Universum verantwortlich gewesen sein könnten, wie speziell die Magnetfelder der Sonne und der Erde in unterschiedlichen Dynamoprozessen auch heute immer wieder regeneriert werden. Magnetische Instabilitäten ermöglichen die Erzeugung von Turbulenzen in den Akkretionsscheiben um junge Protosterne. Einsetzende Drehimpulstransportprozesse sorgen danach für die notwendige Massenzunahme junger Sterne in den Zentren protoplanetarer Scheiben. In rotierenden, ausgedehnten und massereichen Molekülwolken bestimmen zyklisch verlaufende Sternentwicklungsprozesse rückwirkend offensichtlich selbst auch die Entwicklung sehr spezieller Organisationsformen galaktischer Systeme. Dazu werden unterschiedliche Theorien vorgestellt, die die Erzeugung der besonders beeindruckenden Spiralarme vieler Galaxien erklären könnten. Nach theoretischen Ausführungen über die gemeinsamen charakteristischen Funktionsprinzipien von Selbstorganisationsprozessen in Scheiben-Jet-Strukturen werden abschließend die aktuellen Modellvorstellungen zur Entstehung von Planetensystemen, insbesondere unseres Sonnensystems, ausführlicher diskutiert sowie der Aufbau und die Eigenschaften speziell der Erdatmosphäre erläutert.

Kapitel 6 **Leben im Universum**

Die Biosphäre der Erde ist für uns Menschen der einzige Ort im Universum, an dem wir die Existenz und Entwicklung von Leben nachweisen und direkt erleben können. Um die Grundlagen der Evolution kosmischen Lebens zumindest auf unserem Planeten, unter starkem Einfluss der Sonne und des wesentlich durch sie bestimmten Weltraumwetters zu erforschen und zu verstehen, bedarf es einer möglichst verbindlichen Definition des Lebensbegriffs sowie der gründlichen Analyse erforderlicher Bedingungen für die Entstehung und historische Entwicklung des Lebens. Es werden mögliche Entstehungsorte und wichtige biochemische Bausteine des Lebens vorgestellt, die Entwicklung komplexer Zellstrukturen und energetischer Stoffwechselprozesse sowie die Emergenz von Leben durch Selbstorganisationsprozesse ausführlicher beschrieben. Nach vermutlich häufiger sehr drastischen Veränderungen des Erdsystems, insbesondere in seiner Frühzeit, haben zyklisch verlaufende Stoff- und Energiekreisläufe sowie zeitlich stark variable Klimaeinflüsse offensichtlich dafür gesorgt, dass sich das Leben der Pflanzen, Tiere und Menschen zunehmend höher hat entwickeln können. Inzwischen bestimmen wir Menschen aber die Vorgänge in den unterschiedlichen Sphären des besonders komplex strukturierten, durch eine Vielzahl nichtlinearer Rückkopplungsprozessen beeinflussten Erdsystems zunehmend entscheidender mit. Es ist sehr erforderlich, dass wir die Wachstumsgrenzen unseres Lebensraumes, eines immer wieder auch chaotisch und turbulent verwirbelten, offenen Systems fern von Gleichgewichtszuständen, zukünftig wesentlich verantwortungsbewusster respektieren.