

Dissipative Strukturen

Unter einer **Dissipativen Struktur** versteht man die Nichtgleichgewichtsstabilität eines offenen Systems. In den siebziger Jahren entwickelte der Chemiker Ilya Prigogine die Theorie der Nichtgleichgewichtsthermodynamik (Nobelpreis 1977) und lieferte damit auch ein Modell, das die Vorgänge der Evolution sehr einfach und gut erklärt. Prigogine erkannte, dass fast alle alten Gesetze der Physik sich auf geschlossene Gleichgewichtssysteme bezogen, die in der Natur so fast nicht vorkommen. Er begann offene Systeme, die einem ständigen Energiefluss unterliegen, sich also nicht im thermodynamischen Gleichgewicht befinden, zu studieren. Er fand heraus, dass auch offene Systeme sich zu einer höheren Ordnung entwickeln können. Die Existenz dieser Ordnung hängt entscheidend von den Systemparametern ab. Bereits kleine Variationen können die Ordnung zerstören und das System geht über in eine chaotische Phase. Mittlerweile ist von vielen Wissenschaftlern bestätigt worden, dass dieses Modell auf jedes offene System im Universum anwendbar ist, egal, ob es sich um eine Ansammlung von Lebewesen oder von Molekülen, den menschlichen Körper oder die Sterne handelt. Der Begriff des belgischen Nobelpreisträgers Ilya Prigogine für Strukturen, die kontinuierlich Entropie produzieren und die entstehende Entropie durch Austausch mit der Umgebung zerstreuen (dissipieren).

Prigogines Theorie bezieht sich auf offene Systeme, seien es Organe, Menschen, Organisationen, Gesellschaften usw., die sich in einem ständigen Prozeß inneren Wechselspiels weiterentwickeln ("Ordnung durch Fluktuation"). Dieser andauernde Veränderungsprozeß führt nicht zu größerer Unordnung, Zufälligkeit und Chaos - wie nach dem zweiten thermodynamischen Grundgesetz anzunehmen wäre - sondern zu Ordnungsstrukturen von immer höherer Komplexität. Diese neue Entdeckung widerspricht der Annahme, daß Unordnung notwendigerweise zu Zerfall und Chaos führt.

Der Name dissipative Struktur drückt ebenso wie der später behandelte Begriff Deterministisches Chaos ein Paradox aus. Determinismus und Struktur lassen auf Ordnung schließen, während Chaos und Dissipation im Kontext zur Unordnung stehen. Wichtig für das Verständnis dissipativer Strukturen ist, daß es sich hierbei um Systeme fern vom Gleichgewicht handelt, wo neue Verhaltensweisen zu Tage treten. Dissipative Systeme können sowohl Selbstorganisation als auch Chaos hervorbringen. Während dynamisches Chaos mikroskopisch ist, ist dissipatives Chaos makroskopisch. **Prigogine** hebt hervor, daß dissipative Strukturen eine Form von supramolekularer Organisation darstellen. So erscheint die turbulente Bewegung auf der makroskopischen Ebene zwar als chaotisch, doch ist diese auf der mikroskopischen Ebene durch das kohärente Verhalten der Moleküle hochgradig organisiert und repräsentiert deshalb ein Phänomen der Selbstorganisation. Die Irreversibilität der Selbstorganisation, die sich im Zeitpfeil äußert, läßt sich bei dissipativen Systemen als eine statistische Eigenschaft behandeln.

Für die Entstehung von dissipativen Strukturen müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein: Offenheit, Ungleichgewicht und Selbstverstärkung. Sind diese gegeben, können durch dissipative Strukturen physikalisch-chemische und biologische Strukturen modelliert werden. Eine Verhaltensweise dissipativer Systeme ist die Irreversibilität, das heißt das Auftreten eines Zeitpfeils bei den Systemen, wobei das Paradox auftritt, daß die Reversibilität der dynamischen Gesetze zu irreversiblen Prozessen führt. So sind beispielsweise das Mischen von heißem und kaltem Wasser, die Wärmeleitung oder chemische Reaktionen typische irreversible Vorgänge. Auch Computer, die die Berechnung nichtlinearer Phänomene erst ermöglichten, sind, bezogen auf die Hardware, dissipative Systeme.

Da Irreversibilität einen Zeitpfeil besitzt, bedeutet dies einen Bruch der zeitlichen Symmetrie zwischen Vergangenheit und Zukunft. Schwarze Löcher sind ein extremes Beispiel für Irreversibilität, da diese eingetretene Teilnehmer gefangenhalten. Boltzmann und Planck sahen Irreversibilität als eine dynamische Eigenschaft, hatten jedoch keine mathematischen Verfahren, um nichtintegrale dynamische Systeme zu behandeln. Eine weitere Verhaltensweise ist, daß dissipative Strukturen, solange sie bestehen, einen fortwährenden Energieaustausch mit der Umgebung haben, um das innere Ungleichgewicht des Systems aufrecht zu erhalten. Dissipativen Systemen gelingt es, auf Fluktuationen in der Umgebung mit einer Weiterentwicklung zu reagieren. Laut **Jantsch** testen Fluktuationen laufend die Stabilität der Struktur, wobei für jeden symmetriebrechenden Übergang mindestens zwei mögliche neue Regimes (oder Strukturen) zur Wahl stehen und die Anzahl möglicher Strukturen mit der Entfernung vom thermodynamischen Gleichgewicht steigt. Hierbei erkennt eine dissipative Struktur durch Selbstbezug (von Jantsch "Religio" genannt), was sie zu importieren und zu exportieren hat. Dies gilt beispielsweise für die erregbaren Membranen von Nervenzellen, die ebenfalls dissipative Strukturen darstellen. An den Synapsen, den Verbindungsstellen von Dendriten eines Neurons mit der Axonspitze eines anderen Neurons, treten nichtlineare Transformationen auf.

Laut Prigogine sind Kommunikation und Wahrnehmung die entscheidenden Begriffe, um das neue Verhalten der Materie fern vom Gleichgewicht zu beschreiben. Je rascher und je intensiver die Kommunikation innerhalb des Systems stattfindet, desto stabiler ist das System, d.h. desto unbedeutender sind die Schwankungen. Kurz vor einem Phasenübergang scheint diese Kommunikation zusammenzubrechen, da hier die Instabilitäten dramatisch zunehmen. Erst wenn sich ein neuer Attraktor herausbildet, beschleunigt sich die Kommunikation wieder und das System beginnt sich fern vom Gleichgewicht zu stabilisieren. Wenn sich unsere Gesellschaft zu immer dissipativeren Strukturen entwickelt, läßt sich die These aufstellen, daß für die Stabilisierung der Schwankungen eine parallel vernetzte Echtzeitkommunikation erforderlich ist.