



Schönheit der Strukturen

Selbstorganisation und Strukturbildung in der Natur

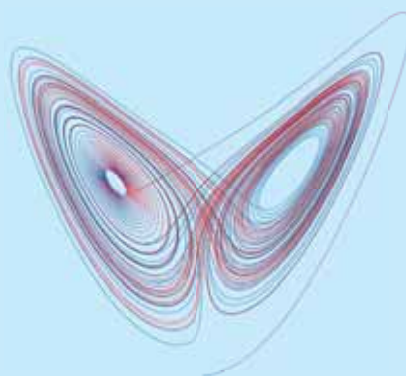


Chaos und Ordnung: seltsam attraktiv

Ordnung und Chaos gehören untrennbar zusammen. Sie bilden die beiden Pole der komplexen Beschreibung der Natur. Wenn in der Wissenschaft von Chaos die Rede ist, dann ist damit nicht das Durcheinander gemeint, das im Alltag so oft aus einem ordentlichen Zustand entsteht. Der Begriff Chaos beschreibt komplexe Systeme, die sich durch ständige Energiezufuhr anders verhalten als abgeschlossene physikalische Systeme. Wir nennen sie dissipativ.

Chaotische Systeme sind in ihrem Zeitablauf nicht zufällig, sondern reagieren lediglich empfindlich auf Veränderungen. Unsere Welt ist voll von solchen chaotischen Zuständen. So reagiert unser Wetter sehr empfindlich auf Veränderungen. Der Flügelschlag eines Schmetterlings in China könnte das Wetter in Münster beeinflussen. Dieser „Schmetterlingseffekt“ beschreibt, was Chaos bedeutet: winzige Ursachen können so große Auswirkungen nach sich ziehen, dass Vorhersagen nahezu unmöglich werden (→ C11). Aber auch der Laser als moderne Lichtquelle zeigt Chaos (→ S1).

Trotz dieser Empfindlichkeit bleiben chaotische Systeme auch merkwürdig gleich. Die chaotischen Bahnen füllen einen Raum immer teilweise. So entstehen Gebilde



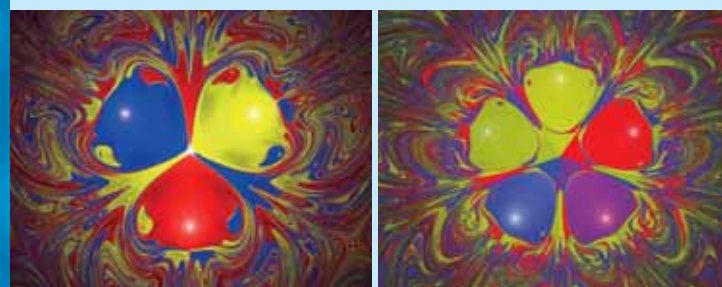
Bei der Modellierung des Wetters oder des Lasers mit einem Set von drei Gleichungen, den sogenannten Lorenz-Gleichungen, entsteht ein Attraktor, der den dreidimensionalen Raum nur wenig füllt. Dies ist der seltsame Lorenz-Attraktor, auch bekannt als „Schmetterlings-Attraktor“ aufgrund seiner charakteristischen Form.

Chaotische Pendel

Schwingende Systeme zeigen besonders gut die Natur nichtlinearer Phänomene. Ein einzelnes Pendel schwingt nur hin und her. Zwei aneinander gekoppelte Pendel ergeben auch rotierende Zustände – oder pendeln parallel im Gleichtakt, sie synchronisieren (→ C9). Die Bewegung von drei Pendeln wird nie langweilig. Auch wenn man sie länger beobachtet, findet man niemals exakt dieselbe Schwingung: drei gekoppelte Pendel schwingen chaotisch.

Magnetpendel zeigen deterministisches Chaos auf besonders anschauliche Weise räumlich. Trotz immer gleicher Auslenkung und Startposition wandert das Pendel in einer scheinbar zufälliger Folge über die Bodenplatte. Schaut man genauer, entsteht ein erstaunliches Ergebnis: Das Pendel landet bei sehr nahen Startpositionen an ganz anderen Stellen, kleinste Änderungen in den Anfangsbedingungen ergeben ein anderes Resultat. Die Ähnlichkeit mit Farbmischungen, mit Milch im Kaffee oder Zigarettenrauch weist auf ein weiteres besonders chaotisches Phänomen in Raum und Zeit hin: Turbulenz ist raumzeitliches Chaos (→ C2). Es kommt sogar bei der Bewegung von flüssigem Magma im Erdinneren vor (→ C6).

Magnetisches Pendel: die Pendelspitze wechselwirkt mit dem Magnetfeld dreier (links) oder von fünf (rechts) Magneten in der Bodenplatte und zieht merkwürdige, chaotische Bahnen. Das Pendel landet bei sehr nahen Startpositionen immer bei einem anderen Magneten der Bodenplatte. Kleinste Änderungen in den Anfangsbedingungen ergeben ein anderes Resultat. Färbt man den Einzugsbereich der drei Magnete ein, so zeigt sich die Schönheit des raum-zeitlichen deterministischen Chaos. (Bilder freundlicherweise bereit gestellt von Paul Nylander, Universität von Kalifornien in Irvine, USA, www.bugman123.com)



Bistabilität – wie unser Hirn uns täuschen kann

Bistabilität gehört zu den elementarsten Beispielen nichtlinearer Dynamik. Sie beschreibt die Eigenschaft von dissipativen Systemen, zwei stabile Zustände einnehmen zu können, wenn ein äußerer Impuls den Wechsel von einem zum anderen Zustand erzeugt. Diese Systeme heißen bistabil. Ein beeindruckendes Beispiel sind sogenannte Kippfiguren.



Bistabiles Kippbild nach Hermann Haken: Blickt man von links nach rechts, verwandelt sich das Gesicht in eine sitzende Figur. Schaut man von rechts nach links, dauert es länger, bis das Bild „kippt“. Das nennt man Hysterese.

Im gleichen Bild erkennen wir zwei verschiedene Formen – eine Figur oder ein Gesicht, oder abwechselnd zwei verschiedene Gesichter. Unsere Wahrnehmung springt zwischen diesen beiden Inhalten hin und her, wenn wir uns anstrengen, ansonsten legt sich unser Gehirn auf ein Bild fest. Hermann Haken, der Begründer der Synergetik, der Lehre von komplexen nichtlinearen Systemen, in denen das Gesamte mehr ist als die Summe der Einzelteile, konnte zeigen, dass die Bistabi-

lilität in Kippbilder ein Phänomen der nichtlinearen Wechselwirkung zwischen zwei sehr ähnlichen Zuständen darstellt. Auch Wendebilder zeigen diesen Effekt: dreht man ein Bild auf den Kopf, ergibt sich plötzlich eine ganz andere Figur.



Bistabiles Wendebild: Dreht man dieses Bild, wird aus der Tochter schnell ein alter Mann – und umgekehrt. (Bild freundlicherweise bereit gestellt von Martin Missfeld, Fa. Duplicon www.sehtestbilder.de)

