



Schönheit der Strukturen

Selbstorganisation und Strukturbildung in der Natur



Fraktale Welt: Die Ähnlichkeit von Strukturen

Fraktal heißen Objekte, bei denen das Ganze seinen kleineren Bestandteilen ähnelt. Das ist bei Bäumen der Fall, bei Kristallen, langen Polymermolekülen, aber auch Ansammlungen von Galaxienhaufen.

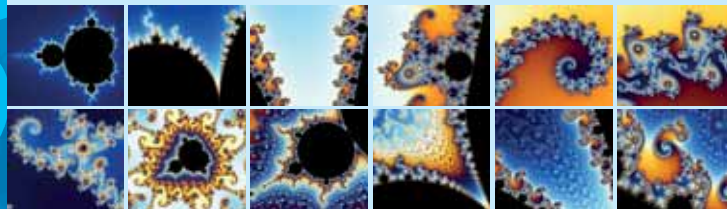
Betrachten wir ein fraktales Objekt unter veränderlichem Maßstab wie mit einem Zoom-Objektiv, so ist innerhalb weiter Grenzen keine Längenskala besonders ausgezeichnet: Ein beliebiger Teil des Objekts sieht, bei entsprechender Vergrößerung, im Wesentlichen so aus wie das ganze Objekt. Wir sprechen deshalb von der Selbstähnlichkeit der fraktalen Strukturen. (→ C2)



▲ Ein sehr bekanntes Beispiel fraktaler Strukturen ist der Broccoli Romanesco. Wie der Farn, ein Flussdelta oder auch eine Blattstruktur zeigt er kleine Kopien seiner Struktur, die sich aneinandereiheilen.

Ohne äußere Anhaltspunkte oder Maßstäbe können wir aus der bloßen geometrischen Form die absolute Größe des Objekts nicht erkennen. Dies nennt man Skalennunabhängigkeit. Benoit Mandelbrot hat dies mit seinen „Apfelmännchen“ nachgebildet.

▼ Die Mandelbrotmenge ist ein selbstähnliches Objekt, das nach einer simplen Rechenvorschrift für komplexe Zahlen entsteht und graphisch dargestellt wird. Nach jeder Iteration entsteht das „Apfelmännchen“ wieder.



Strukturbildung: Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile

Die Vielfalt unserer Welt bildet sich aus dem Zusammenwirken der Einzelteile. Eine einzelne Ameise mag schwach sein, doch in der Gemeinschaft einer Ameisenkolonie ist sie intelligent und stark. Schwärme von Fischen oder Vögeln sind weit mehr als einzelne Tiere: das Gesamte ist mehr als die Summe seiner einzelnen Teile. Selbstorganisation und Strukturbildung sind charakteristische Eigenschaften von solchen Vielteilchensystemen. Wenn Wasser gefriert, Wolkenmuster entstehen oder wenn wir Muster auf Muscheln, Blättern oder Tierfellen erkennen, dann sehen wir das Resultat der Strukturbildung komplexer Systeme.



Bemerkenswerter Weise gibt es eine Universalität der Strukturbildungsgesetze: völlig verschiedene physikalische, chemische oder auch biologische Systeme zeigen dasselbe Verhalten. So entstehen in vielen verschiedenen Systemen hexagonale Strukturen – vom Fliegenauge bis hin zu Basaltsteinen. Auch viele Kristalle oder Oberflächen (→ C13) haben diese Struktur, die besondere Eigenschaften hat. Graphen ist das bekannteste hexagonale Material. (→ B5) Man kann sie auch künstlich herstellen (→ B8), mit Magnetflüssigkeiten nachbilden (→ C3), mit Licht untersuchen (→ B11), oder selbst mit Seifenblasen herstellen (→ C10). Oft ist die Struktur leicht verändert. Kleine Störungen erzeugen sofort neue Strukturen. Quasikristalle (→ B1) oder scheinbar irreguläre Muster sind die Folge, wie beispielsweise auf Tierfellen (→ C14) oder im Licht von Kaustiken (→ B9).

◀ Hexagonale Strukturen und Streifen in der Natur. Hexagons entstehen besonders in flächigen Systemen, da sie stabiler sind als Streifen oder Quadrate. Diamant oder Silizium bilden Quadrate (→ B13). Streifen finden wir in Sand (→ C12) oder beim Zebra (→ C14).

Spiralen: Die schwindelige Schönheit der Natur

Einen überwältigenden Reichtum an Formen der Selbstorganisation finden wir in der Biologie. In Muscheln oder Schneckenhäusern, in Pilzkolonien, bei der Anregung von Nerven oder Muskeln, aber ganz besonders auffällig in Blüten und Blätteranordnungen, der sogenannten Phyllotaxis treten besonders oft Spiralen auf.



▲ Spiralstrukturen bei der Sonnenblume. Das Blütenkörbchen besteht aus zahlreichen kleinen Blüten (Bild links). Diese sind nicht chaotisch angeordnet, sondern in deutlich erkennbaren Spiralzügen. Man sieht, dass innerhalb einer Blüte 21 rechtsdrehende (Bild Mitte) und 13 linksdrehende (Bild rechts) Spiralzüge existieren.

Auch wenn die Abfolge von Blütenblättern einer Pflanze unregelmäßig aussieht, verbirgt sich dahinter eine überraschende Symmetrie. Die Anzahl der Spiralen kann durch die legendäre Fibonacci-Reihe (→ E2, C1) beschrieben werden. Und der Winkel zwischen benachbarten Blättern oder Blüten ist der Goldene Winkel. Oft sind Spiralen entgegengesetzter Richtung ineinander verzahnt, wie in der Sonnenblume. Die Natur wirkt damit nicht nur besonders ästhetisch, sie ist besonders effektiv in der Selbstorganisation, und dies hilft wiederum der Fortpflanzung.

► Verschiedene Spiralstrukturen bei Pflanzen. Sie zeigen den goldenen Winkel, den halben goldenen Winkel oder oft auch fraktale Winkelstrukturen.

