## Chaostheorie: Die nachgewiesene Unberechenbarkeit der Welt und das böse Elektron am Rande des Universums

In der Kausalität muss man zwischen zwei Prinzipien unterscheiden, dem der schwachen und dem der starken Kausalität. Das Prinzip der schwachen/gleichen Kausalität besagt, dass *gleiche Ursachen die gleiche Wirkung* haben. Dementsprechend lautet das Prinzip der starken /ähnlichen Kausalität: Ähnliche Ursachen haben ähnliche Wirkungen. Das Prinzip der schwachen Kausalität ist auf jedes System anwendbar. Da bei der Wiederholung eines Versuches beliebig exakte Ausgangsbedingungen jedoch nie mehr erreicht werden können, benötigt man das Prinzip der starken Kausalität, um eine Aussage über die Berechenbarkeit eines Systemes treffen zu können.

Entgegen der mechanistischen Auffassung hat sich heraus gestellt, dass viele Systeme des Makro- und Mikrokosmos, obwohl sie den physikalischen Gesetzen gehorchen, sehr sensibel auf kleine und kleinste Änderungen oder Störungen reagieren. Ihr Verhalten ist deshalb auf längere Zeit (auf mehrere Iterationen) nicht voraussagbar. Dieses sensible Verhalten und die dadurch bedingte Verletzung der starken Kausalität sind Hauptvoraussetzungen für die Entstehung von Chaos.

Zum Beispiel: Billard-Stöße werden oft mit bewundernswerter Exaktheit ausgeführt; auch nach mehreren Kollisionen trifft die Kugel ihr Ziel. Nehmen wir an, ein Zuschauer steht einen Meter vom Tisch entfernt. Seine minimale Gravitationskraft auf die Kugeln würde in klassischen Berechnungen keine Rolle spielen. Sie wäre "vernachlässigbar". Diese Berechenbarkeit scheint zu funktionieren da die Bewegung der Kugel ohnehin nur drei oder vier oder fünf Kollisionen übersteht und dann durch Reibungsverluste, Luftwiderstand etc. abgebremst wird und zum Stillstand kommt. Wird der Vorgang allerdings in ein Computer-Rechenmodell übersetzt, bei dem die abbremsenden Kräfte weggelassen werden und nur mit dem Impuls der Kugel, mit der Gravitation des "Zuschauers" und mit den physikalischen Bewegungsgestzen gerechnet wird, dann wird die bei jeder Kollission beiläufig mitwirkende Schwerkraft des "Zuschauers" die Bahn der Kugel langsam verändern und etwa ab der neunten Kollission bewegt sich die Billardkugel unterschiedlich, je nachdem ob der Zuschauer da steht oder nicht. Seine Gravitation ist also nicht zu vernachlässigen. Die Kausalität gilt also nur für die ersten Zusammenstöße und dann fächert die Bewegungsbahn der Kugel auf in verschiedene Möglichkeiten.

Das erstaunlichste Beispiel ist aber folgendes: Die Bewegung von **Sauerstoffmolekülen**, die in einer Sekunde milliardenfach zusammenprallen, ist bereits nach der 56ten Karambolage, also einem Bruchteil von Millisekunden, nicht mehr berechenbar, wenn man die geringste aller auf die Moleküle wirkenden Kräfte berücksichtigt, nämlich die Gravitationskraft eines Elektrons, das sich irgendwo am Rande des Universums befindet.

Drittes Beispiel **Pendel**: Lenkt man eine an einem Faden hängende Eisenkugel aus und läßt sie im Feld dreier Magnete hin- und herschwingen, so wirken auf das Pendel im wesentlichen drei Kräfte: magnetische Kräfte, Erdanziehungskraft und Reibungskraft. Letztere bewirkt, dass das Pendel als offenes System mit der Zeit so viel Energie nach außen abgibt, dass es letztlich über einem der drei Magnete zum Stillstand kommt. Versucht man nun, die Kugel mehrere Male so exakt wie möglich an derselben Stelle loszulassen, so kann sie trotzdem immer über einem anderen Magneten stehenbleiben, wobei für ein gut justiertes Pendel die Wahrscheinlichkeit für jeden Magneten, Endpunkt der Pendelbewegung zu werden, bei genau einem Drittel liegt. Die damit verbundene Unvorhersagbarkeit der Bewegung liegt an der schon erwähnten Sensitivität auf kleine Änderungen der Anfangsbedingungen.

## Graphik-Folge: Fraktale der Mandelbrotmenge

Wann geht die Gleichung Richtung unendlich und wann geht sie Richtung Null? Es gibt kein sicher weißes und kein sicher schwarzes Gebiet im Koordinatenkreuz, sondern in den weißen Flächen tauchen schwarze Fäden auf und umgekehrt, je nach dem durch wieviele Iterationen die Rechnung weiter läuft und es tauchen in den Vergößerungen wieder (selbst-)ähnliche Formen auf. Ist das Chaos oder Kosmos?













