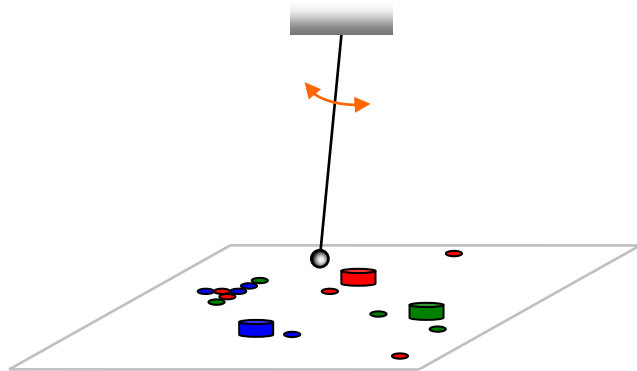


Unterrichtsskizze zur starken und schwachen Kausalität: „Das Magnetpendel“

Allgemeine Bemerkungen:

Systeme mit starker Kausalität sind solche, bei denen ähnliche Anfangsbedingungen zu ähnlichen Ergebnissen führen. Wichtige Beispiele sind das Fadenpendel oder auch der waagrechte Wurf eines Körpers: Sind Anfangsauslenkung bzw. Anfangsgeschwindigkeit ähnlich, so sind auch die zugehörigen Bahnkurven ähnlich.

Systeme, bei denen die starke Kausalität verletzt ist, bei denen also nur eine schwache Kausalität gilt, zeigen ein anderes Verhalten. Bei ihnen können minimale Unterschiede in den Anfangsbedingungen zu völlig unterschiedlichen Bahnkurven führen. Nur bei exakt gleichen Anfangsbedingungen, die experimentell nicht zu realisieren sind, stimmen die Bahnkurven überein. Ein sehr verständliches System, das ein solches Verhalten deutlich zeigt, ist das Magnetpendel. Experimente mit dem Magnetpendel sind einfach und können im Unterricht auch von Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden. Dabei zeigt das Magnetpendel mit dem zugehörigen Farbmuster bereits die wesentlichen Eigenschaften eines Systems, bei dem nur eine schwache, nicht jedoch eine starke Kausalität erfüllt ist.

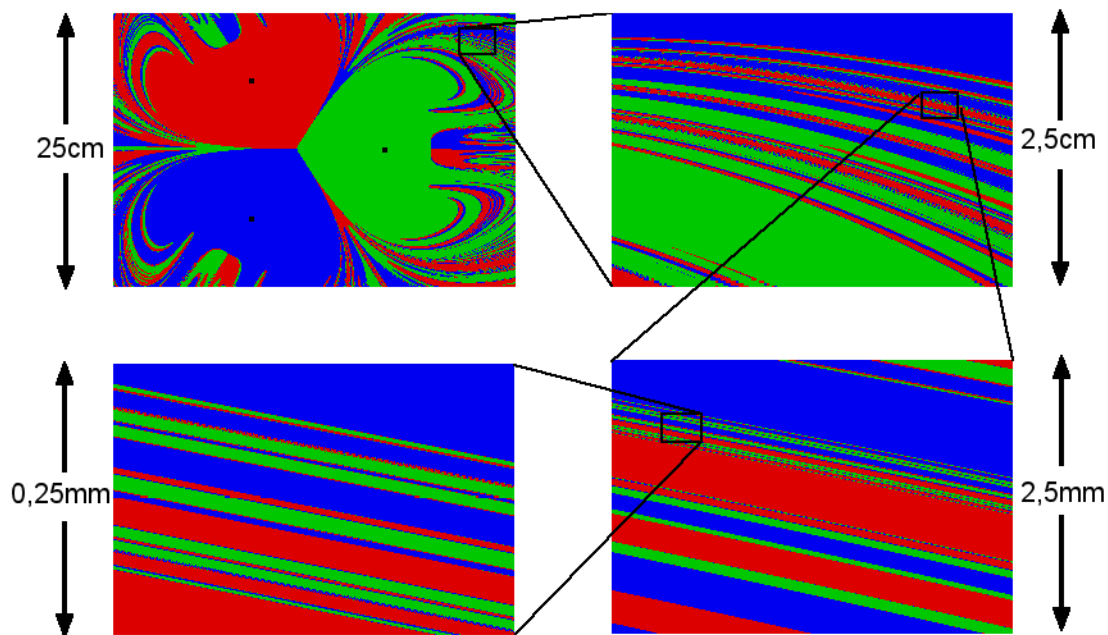


Aufbau:

An den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks (Seitenlänge ca. 15 cm) sind gleichartige, zylindrische Magneten befestigt. Bei allen drei Magneten zeigt der gleiche Pol nach oben. Über dem Dreieck bildet eine kleine Eisenkugel die Masse eines Fadenpendels von etwa 0,5 – 1 m Fadenlänge. Der tiefste Punkt des Pendels liegt über dem Schwerpunkt des Dreiecks, doch ist der Abstand zwischen Dreieck und Pendelkörper so gewählt, dass die Eisenkugel am Ende der gedämpften Schwingung stets über einem der drei Magneten zur Ruhe kommt. Die drei Magneten werden mit den Farben rot, grün und blau markiert. Dann wird das Pendel von verschiedenen Punkten aus losgelassen. Der Punkt in der Dreiecksebene direkt unter einem Startpunkt wird dabei mit der Farbe markiert (durch einen Stift oder Klebepunkte), die der Magnet trägt, bei dem der Pendelkörper schließlich zur Ruhe kommt.

Ablauf:

Einige Punkte des dabei entstehenden Musters können die Schülerinnen und Schüler tatsächlich experimentell bestimmen, doch mithilfe zweier Simulationsprogramme, die beide den Namen „Magnetpendel“ tragen, (eines von der [Universität Oldenburg](#), eines der [Universität Kassel](#)) kann man sich die Muster mit beliebiger Genauigkeit zeichnen lassen. So können die charakteristischen Eigenschaften von Systemen mit schwacher Kausalität durch „Hineinzoomen“ in immer kleinere Raumbereiche schön veranschaulicht werden, denn die verschiedenen Farbbereiche, welche unterschiedliche Endzustände repräsentieren, liegen in bestimmten Bereichen dicht, vergleichbar den rationalen Zahlen auf der Zahlengraden.



Die Berechnung einer Bahnkurve von einem bestimmten Startpunkt aus ist prinzipiell zwar möglich (beide Programme verfügen über diese Fähigkeit), doch ist die experimentelle Präparation eines exakten *Startpunkts* nicht möglich, da stets innerhalb eines *Gebiets* endlicher Größe gestartet wird. Liegen in dem betreffenden Startgebiet, das u. U. beliebig klein sein kann, mehrere Farben vor, können trotz minimal unterschiedlicher Startbedingungen (z. B. Längendifferenzen im atomarer Längenskala, Gravitationswirkung des Experimentators) deutlich verschiedene Endzustände realisiert werden.

Nach den experimentellen Arbeiten und den Betrachtungen am Computer, sollte die praktische Bedeutung der Erkenntnisse über Systeme mit schwacher Kausalität untermauert werden. Ein Hinweis auf das Wetter als bedeutsamstes Beispiel derartiger Systeme bietet sich hier an.