

Chaotisches Pendel

Mehr Details

Unberechenbares Pendel

Unser Pendel folgt Naturgesetzen, die wir exakt kennen. Deshalb sollte man denken, dass wir seine Bewegungen berechnen können, und genau vorhersagen können, wie es sich bewegen wird.

Für sehr kleine Auslenkungen gilt das auch: die Kraft, die ein Pendel in die Ruhelage zurückzieht, wird immer größer, je weiter man es auslenkt. Dieser Zusammenhang ist linear. Bei größeren Auslenkungswinkeln wird er jedoch nichtlinear, d.h. die Kraft wird nicht mehr in demselben Maße größer wie die Auslenkung. Wenn ein Pendel z.B. auf dem Kopf steht (Auslenkung von 180°), wirkt überhaupt keine Kraft. Knapp daneben, bei einer Auslenkung von z.B. $179,99^\circ$ ist die Kraft aber sehr groß.

Nun haben wir es hier nicht nur mit einem einfachen Pendel zu tun, sondern mit vier beweglichen Teilen – es ist also noch komplexer. Die Nichtlinearität sorgt dafür, dass es uns unmöglich wird, vorherzusagen, wie sich das Pendel im nächsten Moment bewegen wird – man könnte sagen, es bewege sich zufällig.

Doch das stimmt nicht! Es folgt noch immer in jedem Moment genau den Naturgesetzen, die wir kennen. Allerdings bewirkt ein sehr kleiner Unterschied am Anfang einen beachtlichen Effekt. Da wir diesen kleinen Unterschied am Anfang meistens nicht wahrnehmen, denken wir, dass sich das Pendel zufällig bewegt. Es ist aber kein Zufall, sondern das, was Wissenschaftler Chaos nennen.

Das Chaos – ein Naturgesetz

Im 17. Jh. formulierte Isaac Newton seine grundlegenden mechanischen Gesetze. Seitdem dachte man lange Zeit, dass die Welt exakt berechenbar sei. Der Wissenschaftler Laplace sagte noch 1814: „Eine Intelligenz, die für einen gegebenen Augenblick alle in der Natur wirkenden Kräfte sowie die gegenseitige Lage der sie zusammensetzenden Elemente kannte, und überdies umfassend genug wäre, um die Größen der Analysis zu unterwerfen, würde in derselben Formel die Bewegungen der größten Körper des Universums und die des kleinsten Atoms umfassen. Für die wäre nichts ungewiss, und die Zukunft ebenso wie die Vergangenheit lägen ihr offen vor Augen.“

Er dachte: Das Ergebnis beim Würfeln ist nur deshalb nicht vorhersehbar, weil so viele verschiedene Dinge das Ergebnis beeinflussen, die wir nicht messen und bedenken können: Unebenheiten des Bodens, kleinste Dellen im Würfel, Luftbewegung,....

Allerdings hatte schon Newton festgestellt, dass er zwar die Bewegung zweier Himmelskörper berechnen konnte, nicht aber die von dreien – obwohl er die Formel zur Berechnung kannte, konnte er sie nicht lösen!

Ein weiterer berühmter Wissenschaftler, Henri Poincaré, bewies dann in Jahre 1889, dass niemand, selbst nicht der beste Computer der Welt, dieses Problem lösen kann. Es gibt also Systeme, die tatsächlich unberechenbar sind, obwohl wir die Gesetze, denen sie folgen kennen. Diese Systeme nennen wir chaotisch.

So ganz undurchschaubar ist das Chaos für uns aber nicht: Die Chaosforschung (oder besser: Nicht-lineare Dynamik) kann gewisse Aussagen über das Verhalten von chaotischen Systemen machen und so das uns umgebende Chaos besser verstehen.

Beispiele für chaotische Systeme

Viele Systeme unserer Welt sind chaotisch: zum Beispiel das Wetter, unser Herzschlag, das Gehirn, Börsenkurse, Billard. Sogar das Verrühren von Milch in Kaffee ist nicht-linear und damit chaotisch. Und das ist

gut so – wäre es nämlich anders, müssten wir stundenlang rühren, bis echter Milchkaffee entstünde.

Kleines Tier, große Wirkung – Der Schmetterlingseffekt

Beim Wetter wird oft vom sogenannten „Schmetterlingseffekt“ gesprochen, der eine genaue Wettervorhersage über Wochen im Voraus unmöglich macht. Mit der Metapher, dass ein Flügelschlag eines Schmetterlings das Wetter an einem anderen Ort beeinflussen kann, veranschaulichte der Meteorologe Edvard L. Lorenz, dass kleine Unterschiede im Zustand der Atmosphäre zu unterschiedlichen Prognosen in den Wettermodellen führen können. Diese Unterschiede kommen unter anderem durch fehlende oder fehlerbehaftete Messungen zustande. Außerdem wurden die Gleichungen in den Wettermodellen vereinfacht, um überhaupt mit ihnen rechnen zu können. Für möglichst gute Wetterprognosen werden diese Unsicherheiten in sogenannten Ensemblerechnungen beachtet. Dabei werden die Wettermodelle mit mehreren leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen der Atmosphäre gestartet und die Ergebnisse miteinander verglichen. Zeigen zum Beispiel alle Rechnungen einen Temperaturanstieg im Verlauf der nächsten Tage, wird es sehr wahrscheinlich wärmer, auch wenn die genaue Temperatur zwischen den einzelnen Rechnungen etwas unterschiedlich ist. So ist eine Wetterprognose heutzutage ungefähr sieben Tage im Voraus verlässlich. Jahreszeitenvorhersagen sind allerdings nicht so sicher möglich.

Der Schmetterlingseffekt tritt nicht nur beim Wetter auf, sondern bei allen chaotischen Systemen, wie auch beim chaotischen Pendel. Kleine Änderungen in der Anfangsposition des Pendels (Flügelschlag des Schmetterlings) bewirken unterschiedliche komplexe Bewegungsabfolgen (Tornado).