

## Beschreibung des Programms „Ehrenfest“

H. Völz

1872 wies **Boltzmann** das Bestreben der Natur zum Gleichgewicht – zur maximalen Entropie nach. Es folgt aus den zufälligen Stößen zwischen den einzelnen Atomen. Noch immer ist dies eine gute Herleitung des sonst in der Physik nicht begründbaren Zeitpfeils. Als Konsequenz ergibt sich u.a. daraus der Wärmetod des Kosmos. Es gibt dann keine Temperaturunterschiede mehr. In diesem Zustand würde auch die Zeit aufhören. Befindet sich ein System in diesem Gleichgewichtszustand, so hat es den Anfangszustand vollständig vergessen. Nicht zu begründen ist damit jedoch der Zeitbeginn. Grundsätzlich handelt es sich zu jeder Zeit immer um ein dynamisches, statistisches Geschehen. Im Ablauf der Zeit gibt es laufend Schwankungen um die Gleichgewichtslage. Genauer kann dies mit dem Gedankenexperiment, welches PAUL und TATIANA EHRENFEST 1907 schufen, untersucht werden. Es kann als Spiel behandelt werden und verlangt dann:

- zwei Urnen,  $n$  nummerierte Steine und einen Zufallsgenerator für die  $n$  Zahlen und die Regel:
- Wird die Zahl  $x$  gewürfelt, so hat der Stein der Nummer  $x$  die Urne zu wechseln.

Zur besseren Veranschaulichung werden die Urnen durch Hunde und die Spielsteine durch Flöhe ersetzt. Dann hat beim Erwürfeln der Zufallszahl  $n$  der mit  $n$  nummerierte Floh den Hund zu wechseln. Später entstand so die heute übliche Bezeichnung „Hund-Flöhe-Modell“. Beim Ablauf des Spiels lassen sich zwei deutlich unterschiedliche Ergebnisse beobachten:

1. Gemittelt über einen hinreichend langen Zeitraum befindet sich in jeder Urne (auf jedem Hund) die Hälfte der Steine (Flöhe). Bei einer großen Versuchszahl ist die Abweichung sehr klein.
2. Zu ausgewählten, aber immer wiederkehrenden Zeitausschnitten treten sehr große Abweichungen von der Gleichverteilung auf. Dazu gehört auch eine Tendenz zur Entfernung von der Gleichgewichtslage.

Der Fakt 2 wurde auch zur Begründung der auf der Erde stattfindenden Entwicklung (Evolution) zu immer komplexeren Systemen herangezogen. Wir leben dann in einer (vorübergehenden) Raum-Zeit-Oase mit dieser Tendenz. Anschaulich und energetische ist sie durch die anhaltende Energiezufuhr von unserer Sonne gespeist.

Dieses Model ist mit dem Programm simuliert. Es zeigt die Zeitabhängigkeit für jeweils 500 Würfe als Linie auf. Sie grenzt den Bestand der Flöhe zwischen Hund 1 (oben) und Hund 2 (unten) ab. Rechts daneben ist die sich daraus ergebende, gemittelte Häufigkeit der Flöhe auf den Hunden aufgetragen. Bei 500 Würfeln ist sie noch sehr unregelmäßig. Jedoch mit der Erhöhung um jeweils 500 weitere Würfe nähert sie immer mehr eine Gauß-Verteilung an, die dazu immer schmaler wird. Um die Ergebnisse wiederholen zu können wird nach jedem neuen Aufruf des Programms bei „Start“ ein fester Beginn in der Zufallsfolge gewählt. Mit „Zufall“ sind auch der Startwert und alle folgenden Werte statistisch und daher nicht wiederholbar. Durch Löschen können die vorhandenen Aufzeichnungen vom Bildschirm gelöscht werden. Es bleiben jedoch die letzten 500 Werte erhalten und können dann mit „Letztes“ allein sichtbar gemacht werden. Unter Maximum wird das jeweilige Maximum der Flöhe auf einen Hund angezeigt, Unter „Anzahl“ die Zahl der durchgeführten Würfe. Das Aktelle Ergebnis wird in vier BMP-Dateien im Pfad D:/temp abgelegt und kann dann zur Dokumentation verwendet werden. Es sind mehrere Speicherungen zulässig, die dann entsprechend nummeriert sind.