

Probabilistische Physik: Die Entstehung von Determinismus aus Indeterminismus

Stephen Keeling

Institut für Mathematik und Wissenschaftliches Rechnen
Karl-Franzens-Universität Graz

Woche der Modellierung mit Mathematik
im JUFA Leibnitz, 8. – 14. Februar 2020



Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ Einstein: *"Gott würfelt nicht!"*



Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ Einstein: *"Gott würfelt nicht!"*



Ist Dein Leben
vorbestimmt?

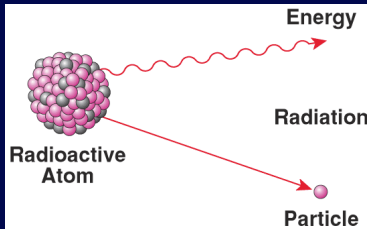
Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ Einstein: *“Gott würfelt nicht!”*



Ist Dein Leben
vorbestimmt?

- ▶ Schrödinger, Bohr, Heisenberg, Planck, Dirac, usw:
“Gott würfelt schon!”



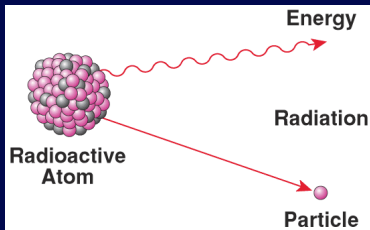
Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ Einstein: *"Gott würfelt nicht!"*



Ist Dein Leben
vorbestimmt?

- ▶ Schrödinger, Bohr, Heisenberg, Planck, Dirac, usw:
"Gott würfelt schon!"



Ist Dein Leben
überhaupt nicht
vorbestimmt?

Vorstellung einer Hierarchie

- ▶ Mikroskopische Ereignisse sind zufällig:
 - ▶ d.h. sie sind nicht einmal im Prinzip voraussehbar!
 - ▶ z.B. Teilchen zerfallen überhaupt ohne Zwang und haben kein Gedächtnis!

Vorstellung einer Hierarchie

- ▶ Mikroskopische Ereignisse sind zufällig:
 - ▶ d.h. sie sind nicht einmal im Prinzip voraussehbar!
 - ▶ z.B. Teilchen zerfallen überhaupt ohne Zwang und haben kein Gedächtnis!
- ▶ Zusammengesetzte Ereignisse sind wahrscheinlicher als die Grundereignisse:
 - ▶ z.B. seien $\{1, \dots, 6\}$ gleich wahrscheinlich beim Würfeln.
 - ▶ Dann für 2 Würfel ist die Wahrscheinlichkeit der Summe = 7 größer als jede andere Summe!

Vorstellung einer Hierarchie

- ▶ **Mikroskopische Ereignisse** sind **zufällig**:
 - ▶ d.h. sie sind nicht einmal im Prinzip voraussehbar!
 - ▶ z.B. Teilchen zerfallen überhaupt ohne Zwang und haben kein Gedächtnis!
- ▶ **Zusammengesetzte Ereignisse** sind **wahrscheinlicher** als die Grundereignisse:
 - ▶ z.B. seien $\{1, \dots, 6\}$ gleich wahrscheinlich beim Würfeln.
 - ▶ Dann für 2 Würfel ist die Wahrscheinlichkeit der Summe = 7 größer als jede andere Summe!
- ▶ **Makroskopische Ereignisse** sind so **hoch wahrscheinlich**, dass sie erscheinen als würden sie sich praktisch aus Gesetzmäßigkeiten ergeben.

Beispiele

- ▶ Prof Marcus du Sautoy, Mathematiker an Oxford
Dokumentarfilm: “The Code”



Viele Probanden raten die Anzahl der Geleebohnen in einem Glasgefäß. Der Mittelwert konvergiert!

Beispiele

- ▶ Prof Marcus du Sautoy, Mathematiker an Oxford
Dokumentarfilm: “The Code”



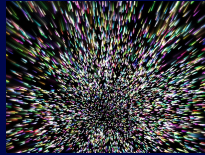
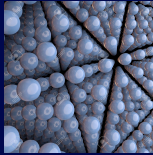
Viele Probanden raten die Anzahl der Geleebohnen in einem Glasgefäß. Der Mittelwert konvergiert!

- ▶ Ganz viele Münzen oder Würfel:



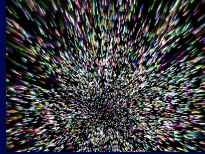
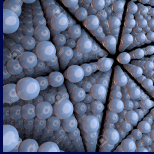
Beispiele

- ▶ Ganz viele Teilchen im Gleichgewicht, fixiert oder in Bewegung:

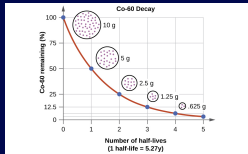


Beispiele

- Ganz viele Teilchen im Gleichgewicht, fixiert oder in Bewegung:

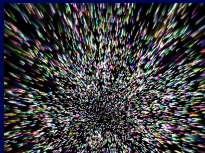
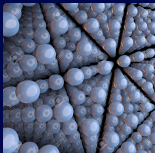


- Ganz viele Teilchen zerfallen:

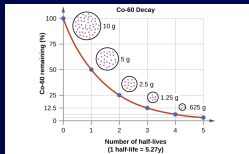


Beispiele

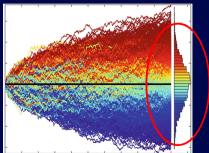
- Ganz viele Teilchen im **Gleichgewicht**, fixiert oder in Bewegung:



- Ganz viele Teilchen **zerfallen**:



- **Diffusion** von ganz vielen Teilchen, nicht im Gleichgewicht:



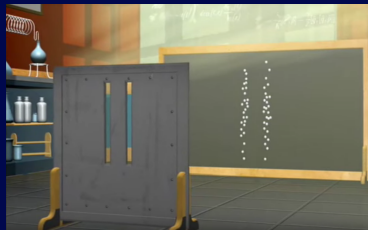
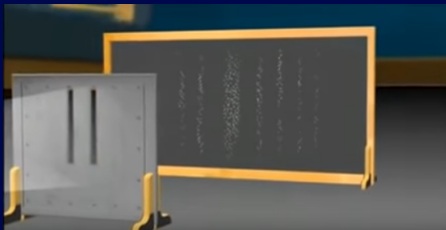
Bell shaped curve
i.e. Normal distribution

Beispiele

- ▶ Das Doppelspalt-Experiment!

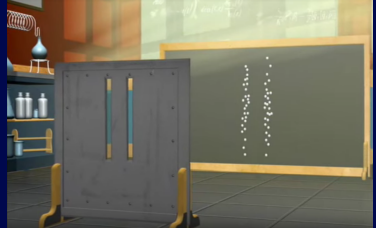
Beispiele

- Das Doppelspalt-Experiment!
Unscharfe Materie-Pakete und scharfe Teilchen:

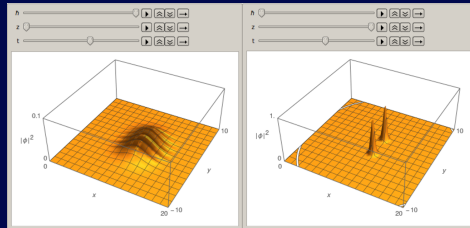


Beispiele

- Das Doppelspalt-Experiment!
Unschärfe Materie-Pakete und scharfe Teilchen:



- Eine Simulation:

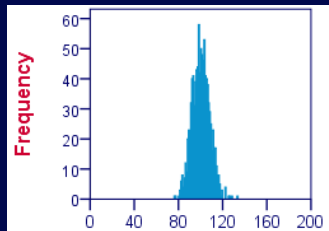
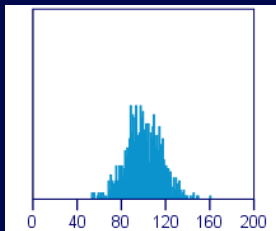
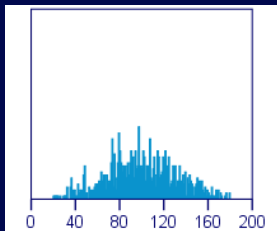


Ziele des Projektes

- ▶ Experimente zu konzipieren, in denen ein Ergebnis sich aus Zufällen ergibt, aber es ist so hoch wahrscheinlich, dass es als gewiss verkannt werden kann.

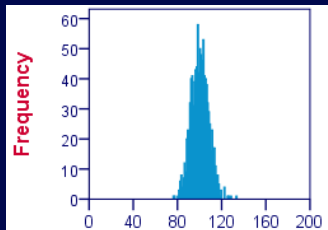
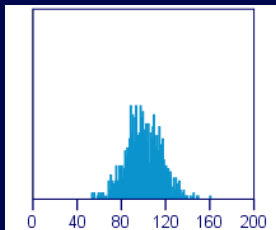
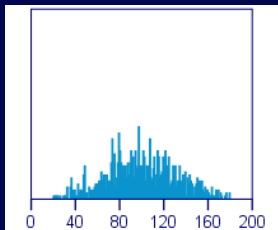
Ziele des Projektes

- ▶ Experimente zu konzipieren, in denen ein Ergebnis sich aus **Zufällen** ergibt, aber es ist so **hoch wahrscheinlich**, dass es als gewiss verkannt werden kann.
- ▶ Die immer wahrscheinlicheren Ergebnisse lassen sich mit **Histogrammen** so darstellen:



Ziele des Projektes

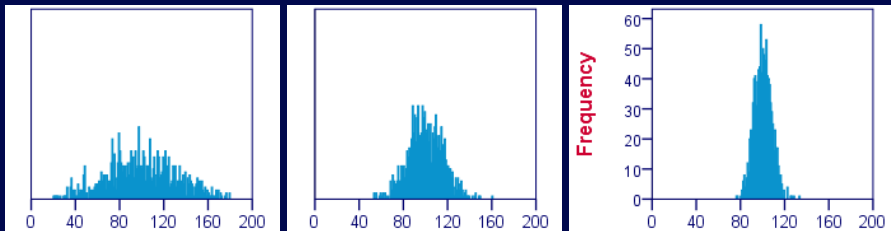
- ▶ Experimente zu konzipieren, in denen ein Ergebnis sich aus Zufällen ergibt, aber es ist so hoch wahrscheinlich, dass es als gewiss verkannt werden kann.
- ▶ Die immer wahrscheinlicheren Ergebnisse lassen sich mit Histogrammen so darstellen:



- ▶ Die erwähnten Beispiele stehen zur Verfügung.

Ziele des Projektes

- ▶ Experimente zu konzipieren, in denen ein Ergebnis sich aus **Zufällen** ergibt, aber es ist so **hoch wahrscheinlich**, dass es als gewiss verkannt werden kann.
- ▶ Die immer wahrscheinlicheren Ergebnisse lassen sich mit **Histogrammen** so darstellen:



- ▶ Die **erwähnten Beispiele** stehen zur Verfügung.
- ▶ Die entsprechende Physik (**Statistische Mechanik, Diffusion, Quantenmechanik**) und die verwendete Mathematik (**Wahrscheinlichkeiten, Differentialgleichungen**) **kennenzulernen**.