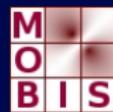


Probabilistische Physik: Die Entstehung von Determinismus aus Indeterminismus

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?

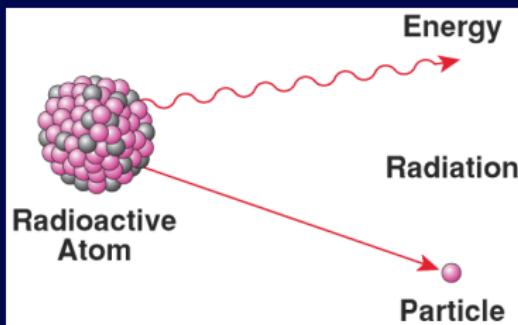
Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ Einstein: "*Gott würfelt nicht!*"



Ist Dein Leben
vorbestimmt?

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



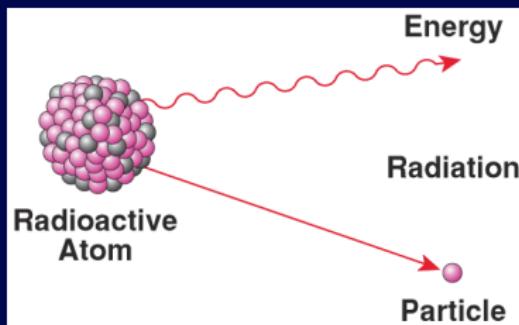
Was sind Determinismus bzw. Indeterminismus?

- ▶ 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](#)”



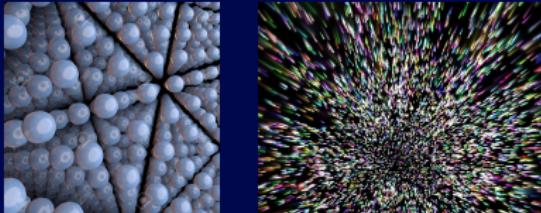
Viele Probanden raten die Anzahl der Geleebohnen in einem Glasgefäß. Der Mittelwert konvergiert!

- ▶ Ganz viele Münzen oder Würfel:



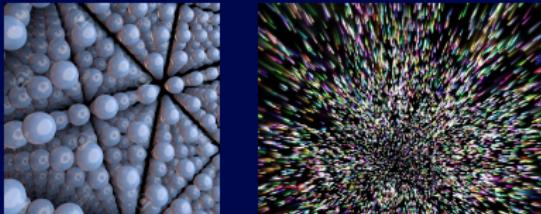
Beispiele

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

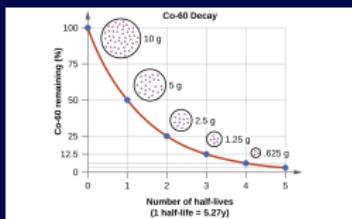


Beispiele

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

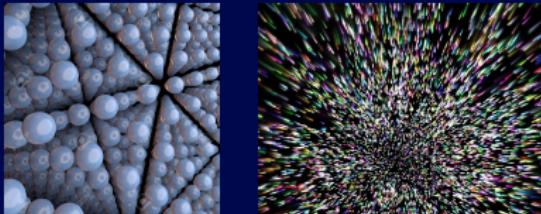


- ▶ Ganz viele Teilchen **zerfallen**:

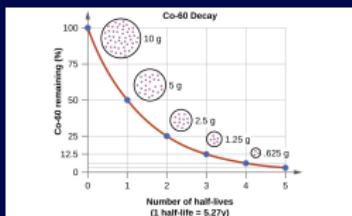


Beispiele

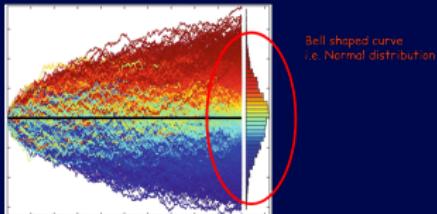
- ▶ Ganz viele Teilchen im **Gleichgewicht**, fixiert oder in Bewegung:



- ▶ Ganz viele Teilchen **zerfallen**:



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

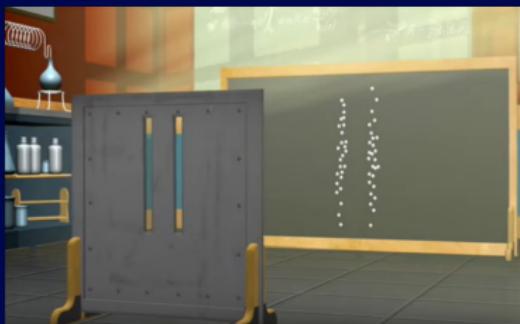


Beispiele

- ▶ Das Doppelspalt-Experiment!

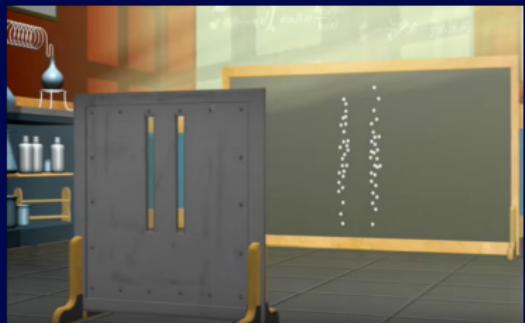
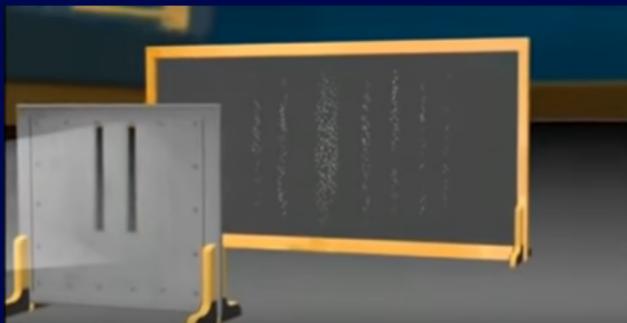
Beispiele

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

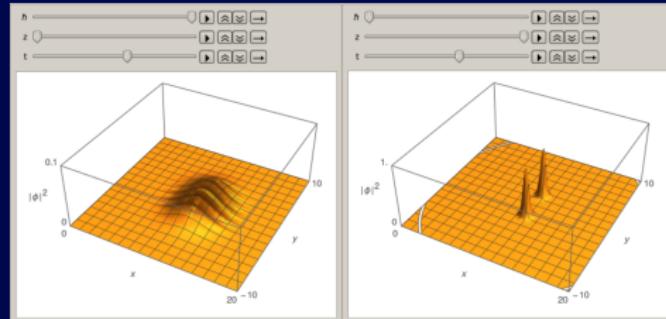


Beispiele

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



- Eine Simulation:

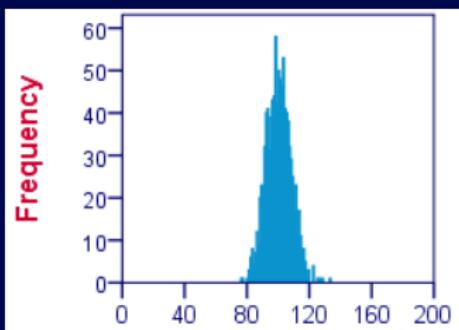
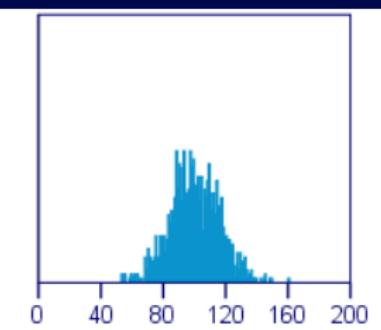
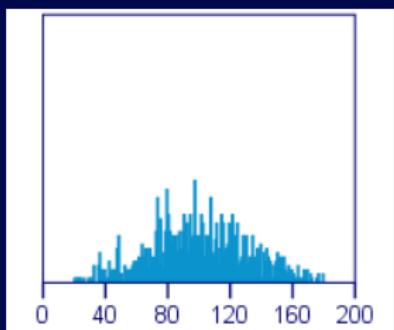


Ziele des Projektes

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

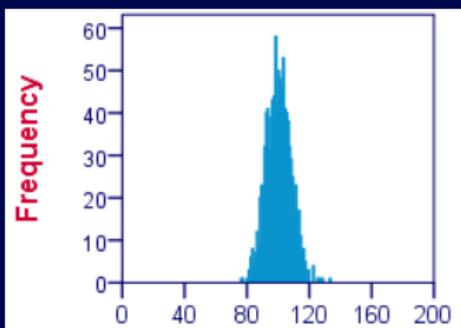
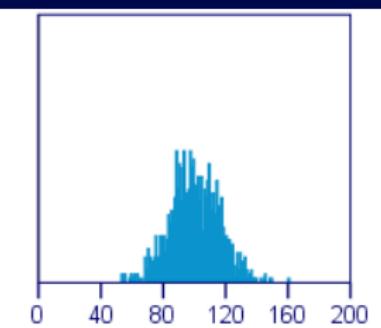
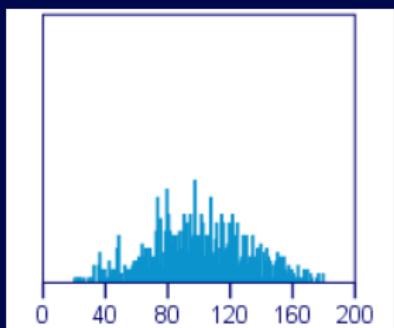
Ziele des Projektes

- ▶ 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

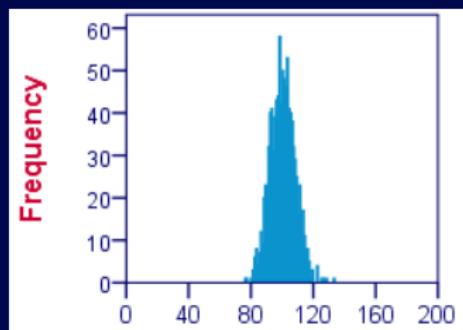
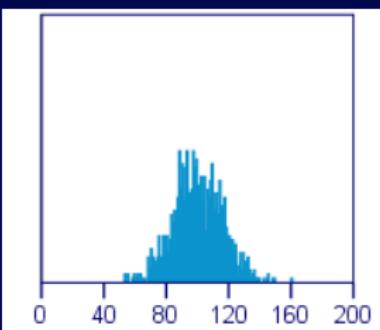
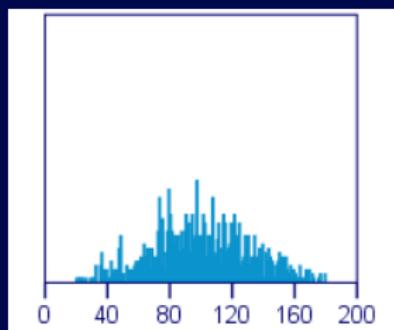
- ▶ Experimente zu konzipieren, in denen ein Ergebnis sich aus Zufällen ergibt, aber es ist so **hoch wahrscheinlich**, dass es als gewiss verkannt werden kann.
- ▶ Die immer wahrscheinlicheren Ergebnisse lassen sich mit Histogrammen so darstellen:



- ▶ 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.