



---

## Ist das Universum ein Computer?

---

Jannis Speer

**17.12.20**

Big Questions Seminar

## Inhalt



## Historische Einführung: Digitale Physik

- ursprüngliche Idee: Konrad Zuses Buch Rechnender Raum (1969)
  - Hypothese: Universum ist digitaler Computer, genauer: zellulärer Automat
  - Kompatibilität von Computern mit:  
Informationstheorie, statistischer Mechanik, Quantenmechanik
  - Begriff geprägt durch Edward Fredkin, alternativ: digitale Philosophie
- Digitale Physik: Theorien mit Prämisse, Universum durch Information beschreibbar ist

## Digitale Physik - verschiedene Perspektiven

- Weizsäckers Quantentheorie der Ur-Alternativen:
  - lediglich 2 Entitäten: Struktur der Zeit, binäre Alternativen
  - abstrakt, nicht-lokal, keine feldtheoretischen Voraussetzungen
  
- Wheelers It from Bit:
  - klassisch: Realität existiert und wird gemessen
  - hier: Messung schafft Realität
  
- Pancomputationalism:
  - Digitaler Computer vs. Quantencomputer
  - Zufälligkeit und Komplexität des Universums? Effizienz?
  
- Tegmarks Mathematical-Universe-Hypothese (MUH)
  - Universum ist Mathematik, mathematische Existenz = physikalische Existenz

## Informationstheorie

... beschäftigt sich mit Quantifizierung, Speicherung und Übertragung von Information

- Konzept von Information hat verschiedene Bedeutungen  
verwandt mit: Nachricht, Kommunikation, Daten, Wissen
- hier: Information ist Folge von Symbolen aus einem Alphabet  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$
- Informationsgehalt eines Zeichens:  $I(z) = -\log_a(p_z)$   
mit Wahrscheinlichkeit  $p_z$ , Mächtigkeit  $a$
- Entropie eines Zeichens (Shannon):  $H = E[I] = \sum_{z \in Z} p_z I(z) = -\sum_{z \in Z} p_z \log_a(p_z)$

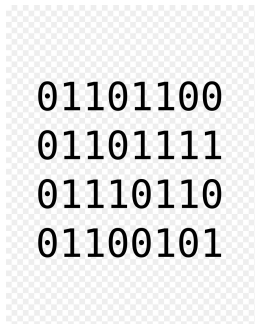


Abbildung: binäre Information

## physikalische Information und Entropie

- Information beschreibt physikalisches System:
  - Information löst Ungewissheit über Zustand eines physikalischen Systems
  - Information ist Messung für Wahrscheinlichkeit eines Zustandes
  
- fehlende Information = nötige Information, um Zustand zu beschreiben =  $I = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln(p_i)$   
mit  $p_i$  der Wahrscheinlichkeiten der  $n$  Zustände des Systems
  - binäre Entropie der Informationstheorie:  $k = \ln(2)^{-1}$
  - Gibbs Entropie:  $k = k_B$
  
- Von Neumann Entropie, QM-Analogon:  $S(\rho) = -\text{Tr}(\rho \ln \rho)$  mit Dichtematrix  $\rho$

## Algorithmische Informationstheorie

## Digitale Information, Boolesche Algebra, Klassische Logik



## Vor Turing

## Turingmaschine

## Turingmaschine 2

## Implementierung einer Turingmaschine

## Universum als digitaler Computer

## Universum als digitaler Computer 2

## Effizienz von digitalen Computern

## Quantencomputer



## Quantencomputer 2

## Universum als Quantencomputer

## Universum als Quantencomputer 2

## Digitaler Computer vs. Quantencomputer

## Das Universum ist kein Computer

## Ausblick