

Schwarze Löcher und das Informationsparadoxon

Der Begriff der „Information“

Der Terminus „**Information**“ ist in der Informationstheorie das Wissen, das ein Absender einem Empfänger über einen Informationskanal vermittelt.

In der Quantentheorie versteht man unter „**Quanteninformation**“ eine in quantenmechanischen Systemen vermutete Information, die nicht mit den Gesetzen der klassischen Informationstheorie beschrieben werden kann.

Klassisch:

„Information ist nur, was verstanden wird“ (Carl Friedrich von Weizsäcker)

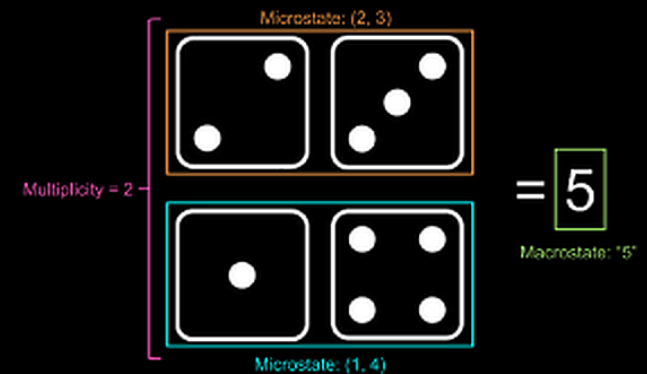
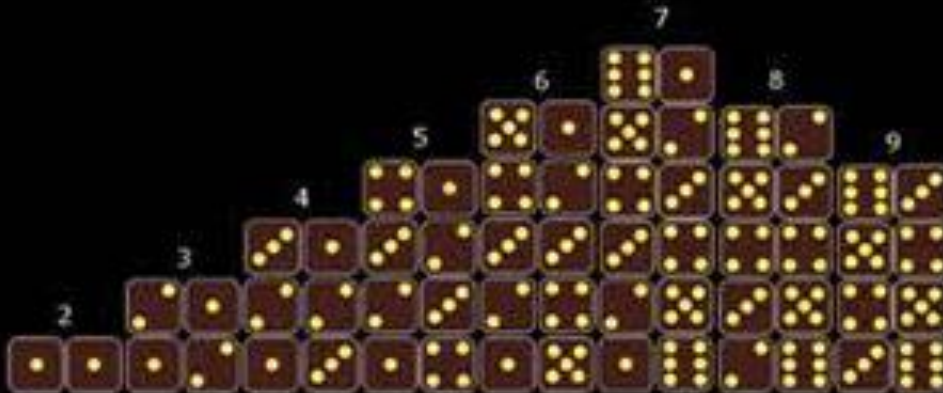
Quantentheorie:

„Information“ ist das vollständige Wissen über den quantenmechanischen Zustand eines physikalischen Systems. Diese Art der Information („**Quanteninformation**“) bleibt im Rahmen der klassischen Quantentheorie immer erhalten. Der „mittlere“ Informationsgehalt eines physikalischen Systems lässt sich durch dessen „**Entropie**“ (nach Shannon) ausdrücken.

Was hat die Entropie mit „Information“ zu tun?

In der klassischen Thermodynamik lässt sich der Zustand eines physikalischen System s (z. B. ein ideales Gas) durch einige wenige Zustandsvariablen wie Temperatur T , Druck P , eingenommenes Volumen V , Innere Energie E , Teilchenzahl n , Entropie S etc. eindeutig festlegen. Sie stellen den **MAKROZUSTAND** eines thermodynamischen Systems zu einem gegebenen Zeitpunkt t dar.

Ein **MIKROZUSTAND** ist dagegen durch die detaillierte Angabe aller Orts- und Impulskoordinaten der das Gas bildenden n Teilchen (sowie ihrer jeweiligen Quantenzustände) gegeben. Deren **MITTELWERT** ergibt bei einem hinreichend großen Teilchenensemble den **MAKROZUSTAND** des Gases (d. h. $T, P, V, S \dots$)



Ein physikalisches System hat im Allgemeinen eine unvorstellbar große Zahl von möglichen Mikrozuständen.

- Ein bestimmter Makrozustand kann durch eine im Allgemeinen sehr große Zahl von Mikrozuständen realisiert werden („Komplexionenzahl“).
- Jeder Konfiguration von Mikrozuständen, die zu einem definierten Makrozustand führt, lässt sich eine Wahrscheinlichkeit zuordnen.
- In einem abgeschlossenen System entspricht die Entropie dem Logarithmus der Zahl der möglichen Mikrozustände, die einen Makrozustand realisieren.

$$S = k \cdot \ln W$$

Boltzmann-Formel

$$k=1,381 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Codieren der Mikrozustände

Jede Information lässt sich binär codieren.

010010100110010101100100011001010010000001001001011011100110011001101
111011100100110110101100001011101000110100101101111011011100010000001
101100110000111010010001110011011100110111010000100000011100110110100
101100011011010000010000001100010011010010110111011000011101001000111
001000100000011000110110111101100100011010010110010101110010011001010
11011100010111000001010

Man könnte jetzt stochastisch die Bits ändern , wodurch nach der klassischen Informatik die Information mehr und mehr zerstört wird, d. h. der Empfänger kann sie nicht mehr verstehen...

011001010110010101100100010010100010000001101110011011100110011001110
11010111001001101111011100110111010001101001011011110100100100100000
01100010110000111010010001100001011100110111010000100000011011110110
11100110010001101000001000000110110001100011011010010111001001110010
00100000011101000111001101100011011010010110010111000011101001000110
0101011011100000101000001010

eedJ nfmrostiol bäast ondh lcirr tscieäen

Da jede Änderung eines Bits selbst im quantenmechanischen Fall streng determiniert ist, lässt sich die ursprüngliche Information prinzipiell immer rekonstruieren, in dem man die zeitliche Entwicklung umkehrt:

→ In der Quantentheorie ist die Information eine grundsätzliche Erhaltungsgröße

Gretchenfrage:

Was passiert mit der Information, wenn sie hinter dem Ereignishorizont eines Schwarzen Loches verschwindet?

No hair –Theorem: Ein Schwarzes Loch ist makroskopisch durch drei Parameter eindeutig bestimmt: M , J und Q

- In der ART kann Information „vernichtet“ werden
- In der QM bleibt die Information erhalten

→ Also muss entweder die ART oder die Quantenmechanik falsch sein

INFORMATIONSPARADOXON SCHWARZER LÖCHER

Gibt es eine Auflösung des Informationsparadoxons ?

Der Begriff der Entropie (im informationstheoretischen Sinn nach Shannon) impliziert, dass Information durch ein Black hole vernichtet wird (d. h. wenn ein Körper erst einmal in ein Black hole gefallen ist, ist nicht mehr dessen Entwicklungsweg und Zusammensetzung (was ja auch eine Art „Information“ ist)) rekonstruierbar.

In der Quantentheorie ist jedoch die „Information“ im abstrakten Sinn eine Art „Erhaltungsgröße“, die nicht vernichtet werden kann (Unitarität der Zeitentwicklung der Wellenfunktion).

- Materie fällt in ein Black hole – dessen „Information“ ist damit hinter dem Ereignishorizont verborgen. Die „Entropie“ (ausgedrückt nach Bekenstein durch die Fläche des Ereignishorizonts) vergrößert sich entsprechend.
- Das Black hole emittiert gemäß der sich aus der Entropie ergebenden „Temperatur“ außerhalb der Schwarzschildsphäre eine thermische Hawking-Strahlung, die das Black hole schrumpfen lässt („Verdampfung“)
- Wenn nun das Black hole vollständig „verdampft“ ist, wo ist dann die innerhalb seines Ereignishorizonts eingeschlossene „Information“?

Vielleicht ist die Information in der Hawking-Strahlung gespeichert?

Da die Informationen aber nicht aus dem Schwarzen Loch herauskommen, müssen sie irgendwie kopiert werden, wenn sie in die Hawking-Strahlung gelangen sollen. Und die Kopie muss sich dann auf oder außerhalb der Schwarzschildsphäre befinden.

Analogon „Verbranntes Buch“

Im Prinzip kann man durch Rückverfolgung aller bei der Verbrennung entstandenen Teilchen (= Zeitumkehr) das Buch mit seinem Informationsgehalt wieder rekonstruieren (Determiniertheit der Zeitentwicklung der Wellenfunktion)

Fällt dagegen das Buch in ein Schwarzes Loch, dann ist eine Rückverfolgung und damit Rekonstruktion von dessen Informationsgehalt aufgrund des Ereignishorizonts nicht möglich – die Hawking-Strahlung ist quasi von den Informationen im Innern des Black holes abgeschnitten. Mit dem Verdampfen des Black holes sind auch die Informationen des Buches im absoluten Sinn verschwunden, was der Quantentheorie widerspricht.

