
Bewusstsein - Ein Aggregatzustand?

Maximilian Krebs

January 21, 2021

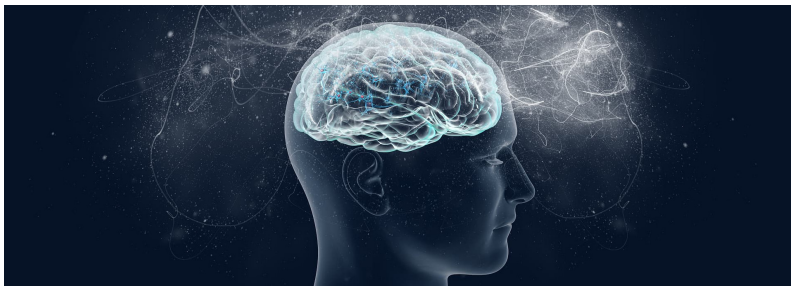
Big Questions Seminar
Faculty of Physics

Inhalt des Vortrages

- Motivation
- Perceptronium
- Physics from scratch
- Erstes Prinzip: Integration und Information
- Zweites Prinzip: Unabhängigkeit
- Drittes Prinzip: Dynamik und Entropie
- Zusammenfassung und Deutung
- Ausblick

Motivation - gibt es eine Seele

- Dualismus: Es gibt eine Seele die sich nicht physikalisch erklären lässt.
- Physikalismus: Das Bewusstsein entstammt dem komplexen physikalischen System, welches unser Gehirn bildet.
- based on
Max Tegmark, Consciousness as a state of matter, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>



¹Spektrum - Thema Bewusstsein

Perceptronium als Idee

- Wichtig für die Eigenschaften sind nicht die Atome sondern die Anordnung
- Die Anordnung wird durch verschiedene Aggregatzustände bestimmt
- Wir können mehr als nur die klassischen Aggregatzustände betrachten
- Computronium ist der Aggregatzustand für PCs
 - Computronium benötigt Speicherkapazität mit hoher Stabilität
 - Computronium benötigt Rechenkapazität mit hoher Wechselwirkung
- Perceptronium ist der Aggregatzustand des Bewusstseins
 - Perceptronium ist wie Computronium mit zusätzlichen Eigenschaften

Eigenschaften im Überblick

State of matter	Many long-lived states?	Information integrated?	Easily writable?	Complex? dynamics?
Gas	N	N	N	Y
Liquid	N	N	N	Y
Solid	Y	N	N	N
Memory	Y	N	Y	N
Computer	Y	?	Y	Y
Consciousness	Y	Y	Y	Y

Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Physics from Scratch als Ansatz

- Wir benötigen einen mathematischen Ansatz für das System das Perceptronium beschreibt
- Wir wollen keine Annahmen im vorraus treffen
- Jedes System hat einen Hamilton \mathbf{H} und Zustände ρ
- ρ beinhaltet zusätzlich noch Informationen über die Wahrscheinlichkeit der Zustände.
- oBdA können wir \mathbf{H} für ein Objekt aufteilen in $\mathbf{H} = \mathbf{H}_1 + \mathbf{H}_2 + \mathbf{H}_3$
 - \mathbf{H}_1 ist der Eigenbeitrag des Objektes
 - \mathbf{H}_2 ist der Eigenbeitreg der Umgebung
 - \mathbf{H}_3 ist der Wechselwirkungsbeitrag

Max Tegmark, The Mathemetical Universe, Foundational Physics 11

Erstes Prinzip: Integration und Information

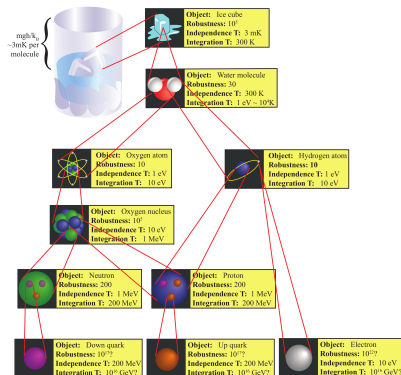
- In dem ersten Prinzip geht es um die Integration(Vernetztheit) wie in der IIT beschrieben
- Damit das Bewusstsein als eines existiert muss das zugehörige Objekt stark vernetzt sein
- Wenn das Objekt aufteilbar wäre, würde das Bewusstsein in mehrere unabhängige Bewusstseine zerfallen.
- Der Hamilton darf nicht separabel sein.
- Das System muss aus diesem Grund sehr stark verknüpft sein und kann nicht unbedingt viel Speicherkapazität aufbringen



G.Tononi, *Integrated information theory*, doi:10.4249/scholarpedia.4164

Robustheit

- Eine erste Interessante gröÙe ist somit die Robustheit
- Sie ist definiert als das Verhältnis der Energie E_{int} und E_{ind}
- E_{int} ist die Energie die es benötigt die Bestandteile des Objektes aufzulösen
- E_{ind} ist die Energie die es benötigt ein Objekt in seine Bestandteile aufzulösen



Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

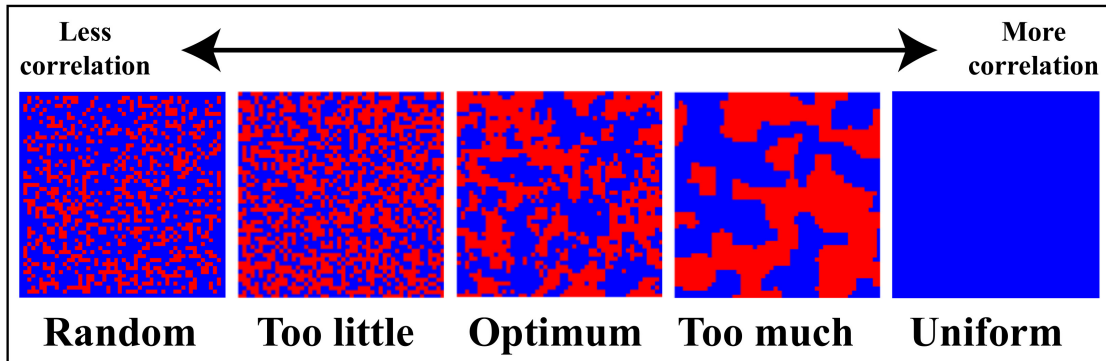
The cruelest cut

- Die gemeinsame Information zweier Systeme mit Zuständen ρ_1 und ρ_2 ist gegeben durch $I = S(\rho_1) + S(\rho_2) - S(\rho)$
- Unterteilung eines System in maximal Unabhängige Teilsysteme ist der cruelest cut
- Definiere die 'vernetzte Information' Φ
 - Die minimale Vernetztheit eines Systems, was sich nicht vollständig unabhängige Teile zerlegen lässt
 - $\Phi = I|_{\text{cruelest cut}}$
- Φ ist demnach ein Maß für die Anzahl vernetzter Bits in einem System

2D Ising Modell

- Das Ising Modell besteht aus einem Spin Gitter mit nächster Nachbar Wechselwirkung
- Bindungen mit gleicher Ausrichtung werden begünstigt
- So ein System kann mithilfe einer einfachen Monte Carlo Simulation umgesetzt werden
- Für hohe Temperaturen herrscht Chaos
- für niedere Temperaturen entstehen Domänen
- Die Energie/Information eines Systems ist durch die Domänenwende gegeben
- Der cruelest cut ist durch eine einzelne mittige Domänenwand gegeben
- $\rightarrow \Phi = \sqrt{n}$

2D Ising Modell



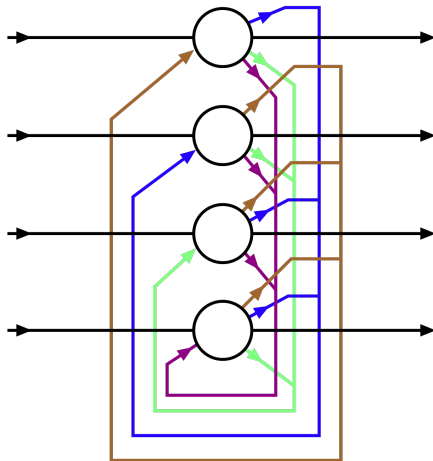
Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Hopfield neuronales Netzwerk

- Neuronale Netzwerke werden über Neuronen gesteuert, wie auch unser Gehirn
- idR sind neuronale Netzwerke in ihrer Funktion linear in eine Richtung
- Damit integrierte Information existieren kann müssen Neuronen in verschiedene Richtungen kommunizieren können
- Error correction in neuronalen Netzen funktioniert beispielsweise so
- Ein solches Netzwerk ist das Hopfield Netzwerk
- Hier existiert nur eine Schicht in der alle Neuronen jedoch gekoppelt sind
- Wenn wir einem solchen Netzwerk so viele Neuronen gäben wie unser Gehirn hat bekämen wir ca. $\Phi = 37$ vernetzte Bits

J.J. Hopfield, *Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*, <https://doi.org/10.1073/pnas.79.8.2554>

Hopfield Netz mit 4 Neuronen



3

³Wikipedia - Hopfield Netz

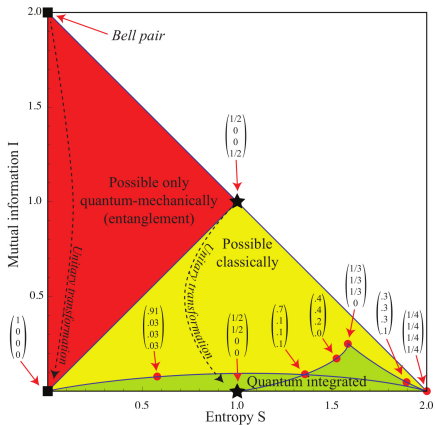
Wie viel sind 37 Bits

- 37 Bits scheinen sehr wenig für unser gesamtes Bewusstsein, ABER
 - Unser Bewusstsein inkludiert keine Körperfunktionen
 - Unser Bewusstsein muss nicht unbedingt selber unsere Wahrnehmungen verarbeiten sondern nur die Informationen daraus
 - Diese Informationen können durch einfachere vorgeschaltete Systeme gewonnen werden
 - Diese Information können komprimiert vorliegen
- Unser Bewusstsein selber entscheidet nur zwischen einer endlichen Auswahl an Möglichkeiten
- 37 Bits sind noch immer zu wenig aber wir scheinen zumindest nicht unglaublich viele vernetzte Bits zu benötigen

Der Unterschied zwischen QM und klassischer Unabhängigkeit

- Wir betrachten zunächst 2 Bits: einmal klassisch einmal Qbits
- Was passiert, wenn wir die Abhängigkeit der beiden Bits voneinander verändern?
- klassisch können diese Bits 4 Zustände annehmen
- für verschiedene korrelierte Wahrscheinlichkeiten der Bitszustände ergeben sich verschiedene I und S
 - je stärker korrelation, desto höher I
 - je untärer die Verteilung ist, desto größer S
- In der QM existieren ∞ mögliche Überlagerungen
- Bellpaar generiert höchstes I mit $I = 2$: $|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle|\uparrow\rangle + |\downarrow\rangle|\downarrow\rangle)$
- Dieser Zustand kann jedoch durch eine unitäre Trafo faktorisiert werden, sodass er $\Phi = 0$ liefert.
- \rightarrow Der cruelest cut in der QM ist noch härter als im klassischen System

Der Unterschied zwischen QM und klassischer Unabhängigkeit



Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Wie vernetzt können Quantenzustände sein

ρ -Diagonality Theorem (ρ DC):

The mutual information always takes its minimum in a basis where ρ is diagonal

- Wir können die EW von ρ berechnen
- Wenn wir den Hamilton der Größe n in ein System der Größe $l \times m = n$ überführen können wir die EW von ρ in einer $l \times m$ Matrix notieren.
- sobald diese multiplikativ separierbar (von Rang 1) ist, ist $\Phi = 0$
- Der crudest cut liegt bei der Anordnung der EW für die die Matrix so separierbar wie möglich ist.

S. Jevtic and D. Jennings and T. Rudolph, Maximally and Minimally Correlated States Attainable within a Closed Evolving System, doi:10.1103/PhysRevLett.108.110403

Das quantum integration paradox

- Wenn wir so den cruelest cut bestimmt haben können wir ein neues Φ bestimmen
- Das neue Φ liegt bei $\Phi \propto 0.25$
- Wir haben also in einem allgemeinen Ansatz der QM herausbekommen, das ein willkürlicher gewähltes System nicht mehr als 0.25 vernetzte Bits zu Verfügung haben kann, wobei unser System bisher statisch war
- \rightarrow unser System muss dynamisch sein!
- Es lassen sich theoretisch noch einige andere Sachen über Dekohärenz über die Separierbarkeit des Hamiltonoperators herleiten, die letztendlich zum Quantum Zeno Paradox führen

Quantum Zeno Paradox:

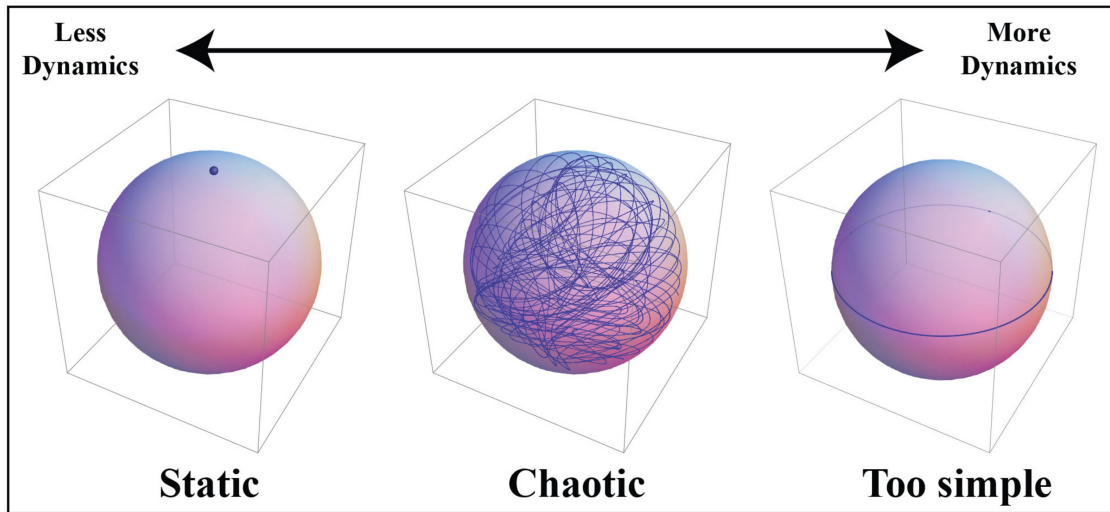
If we decompose our universe into maximally independent objects, then all change grinds to a halt.

Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Dynamik

- Dynamik ist Bewegung und kann somit durch eine Geschwindigkeit ausgedrückt werden.
- Die Wahrscheinlichkeitsgeschwindigkeit wird eingeführt als $v_k = \dot{\rho}_{kk} = i[\mathbf{H}, \rho]_{kk}$
- die Energiekohärenz δH ist definiert als $\delta H = \frac{1}{\sqrt{2}} \|\dot{\rho}\|$
- δH ist der kohärente Teil der Energieunschärfe
- Es folgt $v_{\max} = \sqrt{2}\delta H$
- Das Verhalten eines QBits für verschiedene Geschwindigkeiten lässt sich in einer Blochkugel darstellen
- Bei $v = 0$ krümmt sich die Bahn quasi auf einer Stelle
- Für $v = v_{\max}$ entspricht die Krümmung der der Kugeloberfläche und es kommt zu einer einfachen Rotation
- Je größer v , desto weniger stark krümmt sich die Bahn des Spins in der Bloch Kugel
- Wir benötigen jedoch Chaos also $v < v_{\max}$

Ein QBit für verschiedene v

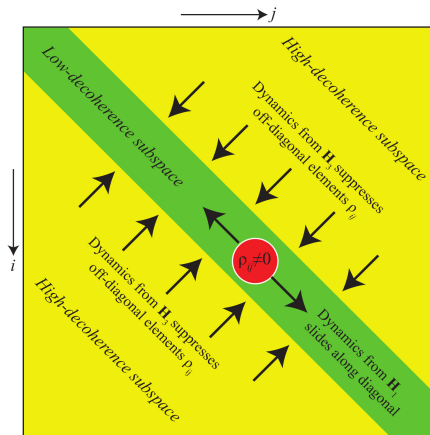


Max Teamark. *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Autonomie und Dekohärenz

- Zustände die annähernd mit dem Wechselwirkungshamilton \mathbf{H}_3 kommutieren sind robust gegenüber umgebungsbedingter Dekohärenz.
- Zerlege \mathbf{H}_3 in die Basis $\mathbf{H}_3 = \mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$ mit diagonalem \mathbf{A} , sodass \mathbf{H}_3 Blockdiagonal ist.
- Wenn nun ρ nahezu diagonal ist trägt \mathbf{H}_3 fast nichts mehr bei und \mathbf{H}_1 dominiert das System vollständig.
- Das System ist nun also nahezu Umgebungsunabhängig sprich autonom. Im Quanten Zeno Paradoxon ist die Situation ähnlich, jedoch wurde dort die Wahrscheinlichkeitsgeschwindigkeit minimiert.
- Die Einführung der Dynamik ändert das Verhalten von ρ bezüglich des Quanten Zeno Paradoxons da nun die Wahrscheinlichkeitsgeschwindigkeit maximiert wird.
- ρ hat nun einen 'low decoherence subspace' in dem sich die Hauptwahrscheinlichkeit mit der Zeit bewegt.

Aufteilung der Dichtematrix



Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Dynamik und Autonomie

- Die Dynamik v steht im direkten Zusammenhang zur Energiekohärenz δE .
- Diese Energiekohärenz profitiert von Autonomie, da diese die Dekohärenz umgeht.
- Des weiteren wächst die Autonomie exponentiell mit der Systemgröße.
- In einem dynamischen System sind wieder mehr vernetzte Bits denkbar.

Zusammenfassung

Principle	Definition
Information principle	A conscious system has substantial information storage capacity.
Dynamics principle	A conscious system has substantial information processing capacity.
Independence principle	A conscious system has substantial independence from the rest of the world.
Integration principle	A conscious system cannot consist of nearly independent parts.
Autonomy principle	A conscious system has substantial dynamics and independence.
Utility principle	An evolved conscious system records mainly information that is useful for it.

Max Tegmark, *Consciousness as a state of matter*, <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.03.014>

Deutung

- Ein bewusstes System ist stark vernetzt, es muss sich also um kondensierte Materie handeln.
- Ein bewusstes System ist dynamisch, es darf sich also nicht um einen komplett statischen Festkörper handeln.
- Ein bewusstes System benötigt also weiche Materie welche am Phasenübergang zwischen flüssig und fest liegt.
- Geringe Störungen können bereits folgen haben.
 - Eine zu hohe Vernetztheit durch zu hohe Wechselwirkung der Neuronen wie bei einer Paralyse sorgt für Bewusstlosigkeit.
 - Eine zu geringe Vernetztheit durch zu geringe Wechselwirkung wie im Tiefschlaf sorgt für Bewusstlosigkeit.

Max Tegmark, Consciousness is a state of matter, like a solid or gas, [https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(14\)60731-4](https://doi.org/10.1016/S0262-4079(14)60731-4)

- Was kann man mit solchen Informationen anfangen?
 - Vorhersagen treffen ob jemand bei Bewusstsein ist.
 - Meanfield Model um Gehirnaktivität zu simulieren
 - Mit EEG Werten vergleichen
 - Feststellen ob jemand bei Bewusstsein ist (z.B. Komapatient)
 - *M.A. Javarone et al, A mean field approach to model levels of consciousness from EEG recordings, arXiv:2002.02425*
 - Gehirnsignale nach Sequenzen aus error correction codes prüfen.
 - Ein neues Verständnis des Quantenmechanischen Beobachters aufbauen.

Ende

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen



3D-Ring.DE. 2021. URL: <https://www.3d-ring.de/3d/3d-galerie.php?img=2038>.



Spektrum - Thema Bewusstsein. 2021. URL:
<https://www.spektrum.de/thema/bewusstsein/1356782>.



Wikipedia - Hopfield Netz. 2021. URL:
<https://de.wikipedia.org/wiki/Hopfield-Netz#/media/Datei:Hopfield-net-vector.svg>.