

Ist das Universum ein Computer?

- ▶ **Ist das Universum ein Computer?**
- ▶ Oswald Berthold, Fr. 2009-05-29
- ▶ Seminar Geschichte der Computerentwicklung, PD Horst Zuse, SS09, TU Berlin

Ist das Universum ein Computer?

- ▶ Einführung
- ▶ Vorstellung verschiedener Ansätze und Theorien
- ▶ Zusammenfassung und Diskussion
- ▶ Literatur

Ist das Universum ein Computer? - Einführung 1

Umfassende Frage, relevante Disziplinen (im Groben):

- ▶ Informatik
- ▶ Physik
- ▶ Mathematik
- ▶ Philosophie

Ist das Universum ein Computer? - Einführung 2

Historisches

- ▶ Pythagoräer (Pythagoras ca. -580 bis -490): Die Essenz des Seins ist die Zahl
- ▶ Platon (ca. -427 bis -347): Ideenwelt, Existenz von Universalien, ideale (mathematische) Objekte
- ▶ Descartes (1596 - 1650): Das einzig Gewisse sind Gedanken (s.u.) mechanistischer Ansatz
- ▶ Uhrwerk Metapher

Ist das Universum ein Computer? - Einführung 3

Ansätze

1. Digital Physics
2. Rechnender Raum
3. Zellulare Automaten
4. Kosmischer Quantencomputer
5. Universelles Programm, Dovetailing
6. Mathematische Existenz

Ist das Universum ein Computer? - Digital Physics (DP) 1

DP ist eigentlich der Oberbegriff für den hier verhandelten Gegenstand.

Beinhaltet folgende Thesen

- ▶ Universum ist grundlegend “informationell” und berechenbar
- ▶ Universum ist digital
- ▶ das Universum ist selbst ein Computer
- ▶ Resultat einer äusseren simulierten Realität

Quasi-synonym bzw. enthaltendes Konzept ist Pancomputationalism, DP ohne Betonung auf Diskretheit.

Ist das Universum ein Computer? - Digital Physics (DP) 2

Entstehung

- ▶ Edwin Jaynes, 1957, verbindet Informationstheorie, Thermodynamik und QM
- ▶ Konrad Zuse schlägt das Konzept des rechnenden Raumes vor, 1967/69
- ▶ Edward Fredkin prägt den Begriff, ändert ihn aber später in Digital Philosophy (Naturphilosophie ist Physik)
- ▶ weitere Modellierungen des Universums als Computer durch Stephen Wolfram, Jürgen Schmidhuber, Gerard t'Hooft
- ▶ Erweiterung in QM durch Seth Lloyd, David Deutsch, Paola Zizzi (CLQG)
- ▶ Verwandte Ideen: C.F. v. Weizsäckers Ur-Alternativen, Wheeler's "it from bit", später "it from qubit", Tegmark's MUH

[wp:Digital_physics, 20090528]

Ist das Universum ein Computer? - Digital Physics (DP) 3

John A. Wheeler:

"It from bit. Otherwise put, every 'it' - every particle, every field of force, even the space-time continuum itself - derives its function, its meaning, its very existence entirely - even if in some contexts indirectly - from the apparatus-elicited answers to yes-or-no questions, binary choices, bits."

David Chalmers:

“Wheeler (1990) has suggested that information is fundamental to the physics of the universe. According to this ‘it from bit’ doctrine, the laws of physics can be cast in terms of information, postulating different states that give rise to different effects without actually saying what those states are. It is only their position in an information space that counts. If so, then information is a natural candidate to also play a role in a fundamental theory of consciousness. We are led to a conception of the world on which information is truly fundamental, and on which it has two basic aspects, corresponding to the physical and the phenomenal features of the world.”

Ist das Universum ein Computer? - Digital Physics (DP) 5

- ▶ Turing Machine als grundlegendes Modell
- ▶ Church-Turing-These: Alles was berechenbar ist, kann prinzipiell durch eines der drei Modelle berechnet werden (Rekursion, TM, λ -Kalkül).
- ▶ Es gibt also tatsächlich nur die ganzen Zahlen und nur eine Approximation des Kontinuums
- ▶ Raumzeit ist selbst diskret, Planck-Einheiten

Kritik

- ▶ kontinuierliche Symmetrien werden verletzt
- ▶ Lokalität: impliziert versteckte Variablen (Bell)
- ▶ Physik braucht das Kontinuum: reelle Zahlen, Analysis, Differentialgleichungen

Feynmann:

“Why should it take an infinite amount of logic to figure out what one tiny piece of space/time is going to do?”

Gibt es die reellen Zahlen und das Kontinuum wirklich?

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 1

Konrad Zuse fragt sich 1967 (Artikel in “Elektronische Datenverarbeitung”) bzw. 1969 (Buch) und wahrscheinlich schon früher:

Es scheint daher die Frage berechtigt, ob die Informationsverarbeitung bei diesem Zusammenspiel (von Mathematik, Physik und Informationsverarbeitung, Anm.) nur ein ausführende Rolle spielen kann, oder ob auch von dort befruchtende Ideen gegeben werden können, welche die physikalischen Theorien selbst rückwirkend beeinflussen [Zuse69, S.1].

Unterscheidet zwei Möglichkeiten:

1. Entwicklung von Algorithmen für numerische Verfahren, symbolische Verfahren
2. Automatentheoretische Überlegungen in die Physik transportieren.

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 1a

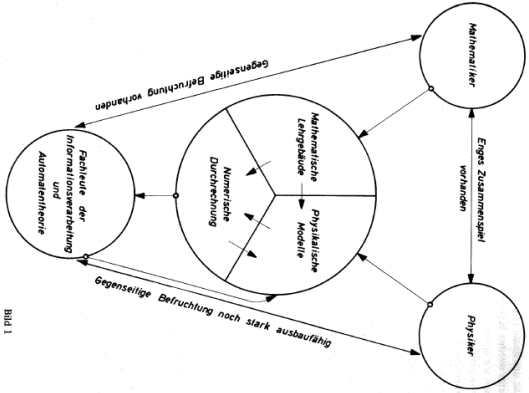


Bild 1

Figure: Verflechtung

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 2

Automatentheorie

- ▶ Schaltungsmathematik, Boolesche Logik: Aussagenkalkül
- ▶ Endliche, autonome und zellulare Automaten

Maschinenmodelle

- ▶ differenzierbare Automaten: klassische und Quanten-Physik, Analogrechner; Differentialgleichungen, Genauigkeit (Rauschen) und Maximalwerte
- ▶ diskrete Automaten: Raumzeit, Digitalrechner; Differenzgleichungen, begrenzter Wertevorrat (streng bestimmte Ungenauigkeit), Maximalwerte (Registergröße)
- ▶ hybride Systeme, siehe Bild auf nächster Folie

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 2a

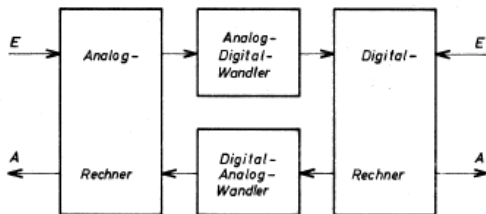


Figure: Hybridmodell

Z.B. Pulsfrequenzkodierung im Nervensystem.

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 3

Diskretisierung von Differentialgleichungssystemen.

Binärer oder ternärer Wertevorrat: $-1, 0, 1$, entspricht $-e, 0, +e$, die möglichen elektrischen Elementarladungen.

Gitterartige Raumstruktur: Orthogonale, dreieckige, sechseckige, ... Gitter.

Wie weit sind die durch das Studium der rechnerischen Lösungen gewonnenen Erkenntnisse auf die physikalischen Modelle selbst anwendbar? Ist die Natur digital, analog oder hybrid? Ja, ist es überhaupt berechtigt, eine solche Frage zu stellen? [Zuse69, S.16]

S.16: Alle physikalischen Modelle sind grundsätzlich kontinuierlich (inkl. Relativitätstheorie). Körnigkeit durch Einführung von Teilchen. Selbst die Quantenphysik geht in ihren Gleichungen nicht grundsätzlich vom Kontinuum ab.

Quantencomputer S.17

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 4

Digitalteilchen

Betrachten das Verhalten eines digitalisierten reibungsfreien Gases in einer gerade Röhre.

wir haben die Größen p (Druck) welche in den Punkten $1,2,3,\dots$ festgelegt sind sowie v (Geschwindigkeit) welche in dazwischenliegenden Punkten $1',2',3',\dots$ festliegen.

p 1 2 3 4 5

v 1' 2' 3' 4'

Δ_p^s und Δ_v^s sind dann die Differenzen zw. den benachbarten Punkten, Δ_p^t und Δ_v^t zw. aufeinanderfolgenden Zeitpunkten.

Wir erhalten folgendes Rechengesetz:

$$v - \Delta_p^s \rightarrow v$$

$$p - \Delta_v^s \rightarrow p$$

Frage nach der grössten Digitalisierung, welche noch funktionsfähig ist. (S.21)

Simulation

- ▶ `digital-particles.py`¹
- ▶ Überzeugen uns von der Funktionstüchtigkeit des Modells
- ▶ 4 stabile Grundformen sind die “Digitalteilchen”
- ▶ Digitalteilchen als sich fortpflanzende Störungen eines zellularen Automaten
- ▶ linear ausgedehnter unendlicher Automat, der sich periodisch in seinem Aufbau wiederholt (zellulärer Automat)
- ▶ v, p sind die Zustände, dv, dp ergeben sich, Zustandsübergangsgesetze sind die Differenzgleichungen
- ▶ gibt auch instabile Formen: ein isolierter Druckimpuls
- ▶ 2 solche Impulse sind wieder stabil

¹`file:///home/src/ca/digital-particles.py`

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 6

- ▶ Digitalteilchen sind sich gegenseitig transparent
- ▶ Einbau nichtlinearer Elemente: Begrenzung der Werte nach oben/unten
- ▶ Dabei: Reaktion findet statt, Durchgang erfolgt trotzdem, je nach Phasenlage der Teilchen.

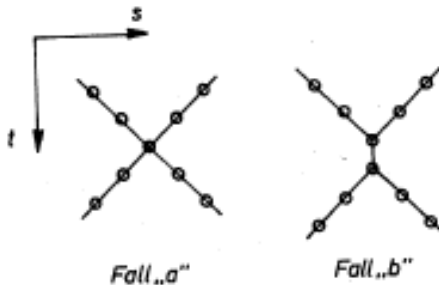
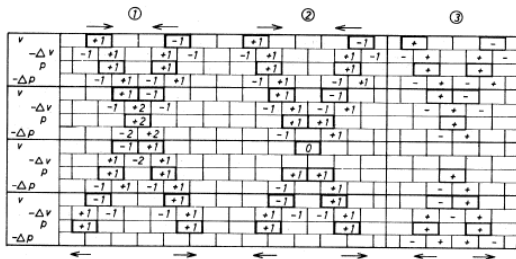


Bild 24

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 7

- ▶ Erweiterung: von eins verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeiten: ergibt neues System mit Periode $3\Delta t$.
- ▶ Schaltgeschwindigkeit ist höher als Teilchengeschwindigkeit (dreifach), gilt aber nur lokal



Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 9

- ▶ Bei der weiteren Betrachtung verlieren “Abstossung” und “Durchlauf” gewissermassen ihren Sinn, ähnlich wie die Teilchenidentität in der Quantentheorie verloren geht.

2-dimensionale Systeme

- ▶ Erweiterung auf den 2-dimensionalen Fall
- ▶ Rechengesetz nach Disjunktion. Sei $\varphi_{x,y}$ der Zustand am Gitterpunkt (x,y) , dann
- ▶ $\varphi_{x-1,y} \vee \varphi_{x+1,y} \vee \varphi_{x,y-1} \vee \varphi_{x,y+1} \rightarrow \varphi_{x,y}$
- ▶ füllt den Raum mit Einsen
- ▶ Damit Vorzugsrichtungen der Ausbreitung, parallel zu Koordinatenachsen schneller als diagonal
- ▶ Alternative $K(\varphi_{x-1,y} + \varphi_{x+1,y} + \varphi_{x,y-1} + \varphi_{x,y+1}) \rightarrow \varphi_{x,y}$
- ▶ Gesetze ungenügend, daher ...

2-dimensionale Systeme

- ▶ Verschachtelte Anordnung von p und v Punkten
- ▶ p enthält einen Wert, v ist ein Vektor mit zwei Komponenten
- ▶ Auch dieses System ist nicht optimal: Stabilität (Zerfließen), unendlich gerade Wellenfronten

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 12

Digitalteilchen im 2-dimensionalen System

- ▶ nurmehr p -Punkte mit 2 Komponenten x,y
- ▶ hierzu nurmehr die Bilder

Digitalteilchen im 2-dimensionalen System



Bild 39

x

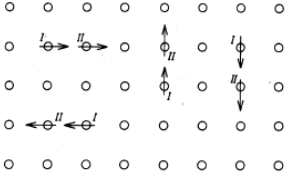


Bild 40

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 14

Digitalteilchen im 2-dimensionalen System

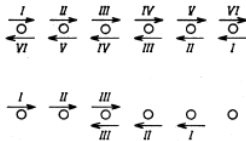


Bild 41

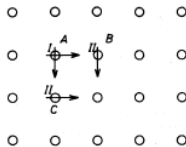


Bild 42

Digitalteilchen im 2-dimensionalen System

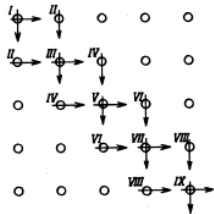


Bild 43

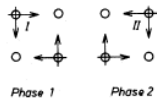


Bild 44



Bild 45

2-dimensionale Systeme

- ▶ Es bildet sich vielfältiges Verhalten
- ▶ Übereinanderlaufen
- ▶ Auslöschung
- ▶ Oszillationen
- ▶ Nester
- ▶ digitale Wirbel?
- ▶ Teilchen führen Halbleben ausserhalb ihrer Nullphasenpunkte, bei gebrochenen Winkeln der Bahnen.
- ▶ Modell schliesslich auf 3 (und mehr) Dimensionen erweiterbar.

Betrachtungen

- ▶ Gitterpunkte stehen durch Informationsaustausch in Verbindung
- ▶ Zellenstruktur des Kosmos wird von Physikern verworfen (Ende der 1960er Jahre)
- ▶ Einwände
 - ▶ Diskretisierung hebt Isotropie des Raumes auf (Gitterkonstante klein genug Wählen, $10^{-11}m$)
 - ▶ nicht-euklidische Geometrien schwer abbildbar
 - ▶ veränderliche Schaltungen
 - ▶ wachsende Automaten
 - ▶ Problem der verschiedenen Internalsysteme (aber endlich viele konstruierbar)

Betrachtungen

- ▶ Beziehung zwischen Lichtgeschwindigkeit und Interzellularer Geschwindigkeit. Letztere höher, aber nur lokale Bedeutung (QTP?).
- ▶ Bei hohen Energien kann sich der rechnende Raum verrechnen.
- ▶ Schaltvolumen: $V_S = \# \text{beteiligte Schaltglieder} \cdot \# \text{Schaltakte}$, die an einem Vorgang (Periode eines Digitalteilchens) beteiligt sind, s.u. bei Lloyd
- ▶ relatives Stillstehen von Teilchen
- ▶ andere Inertialsysteme mit gleichem V

Betrachtungen

- ▶ Autonome finite Automaten (das Universum?) enden immer in periodischen Zyklen.
- ▶ Quantitative Lösung: $2^{10^{123}}$ mögliche Zustände des kosmischen Automaten
- ▶ Ausdehnung des Universums: 10^{41} Elementarlängen, 10^{123} Elementarkuben
- ▶ Anzahl der Zeittakte in der Grössenordnung der räumlichen Ausdehnung, ...

Welchen Sinn hat dann die Erkenntnis, dass der Ablauf des Kosmos in einen periodischen Zyklus auslaufen muss, wenn innerhalb der betrachteten an sich schon sehr grossen Zeiträume eine solche Periode gar nicht erreichbar bzw. auch nur einmal durchlaufen werden kann? [Zuse69, S.55]

Betrachtungen

- ▶ Begriff des Informationsgehalts führt zur “Erhaltung der Kompliziertheit”.
- ▶ Determiniertheit, was passiert im Schaltschritt, Umkehrbarkeit, Wahrscheinlichkeit
- ▶ Tabelle S.68

Ist das Universum ein Computer? - Rechnender Raum 21

Klassische Physik	Quantenphysik	Rechnender Raum
Punktmechanik	Wellenmechanik	Automatentheorie Schaltalgebra
Korpuskel	Welle – Korpuskel	Schaltzustand, Digitalteilchen
analog	hybrid	digital
Analysis	Differentialgleichungen	Differenzgleichungen und logische Operationen
Alle Größen kontinuierlich	Einige Größen gequantelt	Alle Größen nehmen nur diskrete Werte an
Keine Grenzwerte	Außer Lichtgeschwindigkeit keine Grenzwerte	Minimal- und Maximalwerte sämtlicher Größen
Unendlich genau	Unbestimmtheitsrelation	Begrenzte Rechengenauigkeit
Kausalität in beiden Zeitrichtungen	Nur statistische Kausalität Auflösung in Wahrscheinlichkeit	Kausalität nur in positiver Zeitrichtung, Einführung von Wahrscheinlichkeitstermen möglich, aber nicht nötig
	Klassische Mechanik wird statistisch angenähert	Wahrscheinlichkeitsgesetze der Quantenphysik durch determinierte Raumstruktur erklärbar?
	Urformel	Urschaltung

Ist das Universum ein Computer? - Petri

2 wichtige Aussagen zur Messunschärfe und zum Kontinuum

- ▶ Der wahre Wert einer Messgrösse ist eine reelle Zahl (Zählunscharfe, Oszillator)
- ▶ Das ganze Universum ist in einem beliebigen Ausschnitt aus sich selbst vollständig repräsentiert

Zellularer Automat

- ▶ ein Raum R (Zellularraum)
- ▶ eine endliche Nachbarschaft N
- ▶ eine Zustandsmenge Q
- ▶ eine lokale Überföhrungsfunktion $\delta : Q^N \rightarrow Q$
- ▶ entwickelt von Stanislaw Ulam
- ▶ aufgegriffen von John Neumann
- ▶ Game of Life, Langton
- ▶ Stephen Wolfram, 1d Automat, 110, NKS, Dovetailing
- ▶ <http://www.wolframscience.com/nksonline/toc.html>
- ▶ kontinuierliche Zellautomaten als periodische R-C Netzwerke

Ist das Universum ein Computer? - Zellulare Automaten 2

- ▶ Wolfram's Prinzip der computatorischen Äquivalenz: Jedes System im allgemeinsten Sinn kann nicht mehr berechnen als ein Computer
- ▶ Schmidhuber: Kritik an Wolfram, kaum Referenz auf Zuse's Arbeit

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 1

Seth Lloyd (MIT), Quanteningenieur

- ▶ “Die Behauptung, der Kosmos sei ein Computer ist wortwörtlich wahr” (Sdw200703, S.17)
- ▶ Elementarteilchen enthalten Informationseinheiten
- ▶ jede physikalische Interaktion ist ein Rechengvorgang, Bits werden geschaltet
- ▶ Beweis durch die Arbeiten von Maxwell, Boltzmann und Gibbs: Entropie proportional zur Zahl der Informationsbits die Teilchen in ihren Bewegungen speichern.
- ▶ Boltzmann Entropie: $S = k_B \ln \Omega$
- ▶ Mit Shannon der erneute Hinweis auf den Zusammenhang mit der Information

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 2

- ▶ Woher stammt die Komplexität im Universum?
- ▶ Dekohärenz bringt Zufall in Berechnung, Determiniertheit wird zur Superposition
- ▶ Schaltvolumen des Universums nicht grösser als $10^{120} \approx 2^{400}$
- ▶ Erwartungswert der Länge der längsten Teilfolge eines vorgegebenen Bitmusters in einem zufälligen ist der Logarithmus dieser Länge (Affen, Schreibmaschinen)
- ▶ Wenn das aber Programme einer universellen Maschine sind kommen "interessante" Dinge heraus.

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 3

Black hole computer

- ▶ Wissen schon: “to a physicist, every physical system is a computer”
- ▶ Problem bei schwarzen Löchern: schlucken Information, geben aber nichts mehr zurück
- ▶ Ausweg: Hawking-Strahlung, diese aber informationell nur Rauschen
- ▶ Susskind, Preskill, t’Hooft: Hawkingstrahlung ist nicht zufallsverteilt
- ▶ Quantentheorie sagt: Information bleibt erhalten
- ▶ Entropie-Begriff: Thermodynamische Leistungsgrenze ist proportional der Anzahl der Bits, die durch Teilchen in einem Volumen repräsentiert werden.

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 4

Black hole computer

- ▶ Lloyd: QM bedeutet diskretes Verhalten im Werte- und Zeitbereich
- ▶ Umschalten eines (Qu-)Bits erfordert Minimum an Zeit
- ▶ Margolus' Theorem: Schaltzeit ist umgekehrt proportional der dafür aufgewendeten Energie: $t \geq h/4E$
- ▶ Dieses Theorem hat Konsequenzen für Geometrie der Raumzeit und die Rechenleistung des Universums
- ▶ Dazu 2 Modelle
 1. beliebige Masse von 1 kg und Volumen von einem Liter, (bei Lloyd "ultimatives Laptop (UL)")
 2. Schwarzes Loch (SL)

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 5

Black hole computer: UL

- ▶ nutzt Masse als Energie nach $E = mc^2$
- ▶ wird gesamte Energie genutzt: 10^{51} Ops / s, gegen Ende langsamer
- ▶ Speicherkapazität: wird Masse in Energie gewandelt, erhalten wir eine Temperatur von 10^9 Kelvin. Entropie proportional E/T . Anzahl der Bits: 10^{31}
- ▶ Ein Bit kann 10^{20} pro Sekunden umspringen
- ▶ Schaltzeit ist annähernd so gross wie Signalausbreitungsgeschwindigkeit, daher parallele Arbeitsweise.

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 6

Black hole computer: SL

- ▶ wenn alle Materie ein Computer ist, ist ein Schwarzes Loch ein Rechenggerät auf Minimalgrösse
- ▶ Ein 1 kg SL hat einen Radius von ca. 10^{-27} m, Proton dazu 10^{-15} m
- ▶ Durch Komprimierung wirkt Gravitation zwischen den Teilchen, diese werden “verbunden” und können dann weniger Information speichern
- ▶ Informationsgehalt eines SL nach Hawking/Bekenstein proportional seiner Oberfläche (holografisches Prinzip), ca. 10^{16} Bit
- ▶ Dafür ist Schaltzeit reduziert auf 10^{-35} Sekunden, die gleiche Zeit die Licht von einem Ende des Computers zum anderen unterwegs ist

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 7

Black hole computer: SL

- ▶ Input: Materie/Energie, ins Loch
- ▶ Output: Hawking-Strahlung
- ▶ Strahlung mit Wellenlänge in der Größenordnung des Schwarzen Lochs (Gammastrahlung)
- ▶ Emissionsrate umgekehrt proportional seine Grösse
- ▶ Ausser Existenz der Hwaking-Strahlung (siehe LHC-Debatte) ist auch die Beschaffenheit der Strahlung umstritten: zufällig oder Rechenergebnis.
- ▶ Entstehung verschränkter Teilchen am Ereigniskorizont, Vernichtung des einen Teilchens in der Singularität entspricht einer Messung, Resultat wird auf komplementäres Partikel übertragen
- ▶ Gegenstand aktueller Debatten

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 8

Black hole computer: SL

- ▶ Eigenschaften schwarzer Löcher hängen mit Eigenschaften der Raumzeit zusammen
- ▶ Im kleinsten Massstab ist die Raumzeit blasig oder schaumig
- ▶ Vermutung: diese Zellen sind in der Grössenordnung der Planck-Länge $l_p = \frac{\hbar G}{c^3} = 1.616252 \cdot 10^{-35} \text{m}$
- ▶ Quantenfluktuationen und Gravitation kommen ins Spiel, Raumzeit nicht direkt beobachtbar
- ▶ Anderes Ergebnis: Zellen wahrscheinlich grösser, sogar proportional des beobachteten Volumens
- ▶ Energie der Messgeräte in einem Gebiet darf nicht zum Kollaps des Gebietes führen
- ▶ führt wieder zum holografischen Prinzip

Ist das Universum ein Computer? - Kosmischer Quantencomputer 9

Betrachtung des Universums als Ganzes

- ▶ Universum existiert seit endlicher Zeit?
- ▶ Dann: 10^{123} Rechenoperationen seit seinem Bestehen
- ▶ Energiegehalt des Universum: 10^{72} Joule, nach Margolus-Levitin 10^{106} Operationen pro Sekunde, Alter des Universums in Sekunden:
 $14e9 * 365 * 24 * 60 * 60 = 4.41504e + 17$, wieder 10^{123}
- ▶ Anzahl der Bits im Universum: 10^{92} nach statistischer Mechanik und Kosmologie, maximal 10^{124} nach dem holografischen Prinzip
- ▶ Universum nahe seiner kritischen Dichte, Anzahl der Operationen maximal
- ▶ Berechnung ist Existenz

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm

- ▶ Gibt es ein Programm das den exakten Verlauf unseres Universums und aller anderen möglichen Universen berechnen kann?
- ▶ Berechenbare Universen einfacher als unberechenbare, kein Widerspruch zu experimentellen Daten der Quantenphysik. Daher dieses Modell vorzuziehen.
- ▶ Es muss einen kurzen und optimal schnellen Algorithmus geben, der alle möglichen Universen berechnet.

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm 2

- ▶ Algorithmische Informationstheorie: Solomonov, Kolmogorov, Chaitin. kurz: Shannon und Turing verschüttelt
- ▶ Kolmogorov-Komplexität: $K(s) = |d(s)|$ mit s beliebige Zeichenkette, $d(s)$ minimal Beschreibung von s (Matthew Effekt)
- ▶ Für eine zufällige Zeichenkette gilt $|s| = |d(s)|$
- ▶ nicht sprachabhängig, da Compiler konstanter Grösse Beschreibungen überführen können (Compiler-Theorem)
- ▶ Gibt es unberechenbare Zahlen im Universum, dann ist es selbst unberechenbar
- ▶ Differenzialrechnung kann gute Approximation mikroskopischen Verhaltens sein

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm 3

- ▶ Wie kurz kann das kürzeste Programm sein?
- ▶ Vorstellbar, dass der primäre Zufall der QM einem PNG entspringt, beobachterabhängig ist
- ▶ Beobachter unterliegen Unschärfe, $\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$ und können Determiniertheit nicht dekodieren.
- ▶ Beobachter merkt u.a. nicht, wenn Berechnung von aussen angehalten wird
- ▶ Auch t'Hooft unterstützt Idee eines deterministischen Universums

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm 4

Kürzestes, schnellstes Programm

- ▶ Ausgabebits dürfen später geändert werden, Bitkette soll in endlicher Zeit konvergieren
- ▶ N-tes Ausgabebit = 1 wenn das N-te Programm in der Liste aller möglichen Programme anhält
- ▶ Systematische Aufzählung aller Programme und paralleles Durchrechnen
- ▶ Wissen zu gegebenem Zeitpunkt nicht, ob Bit N schon endgültig ist oder nicht (Halteproblem)
- ▶ Es gibt ein Programm das die Aufzählung und Ausführung durchführt
- ▶ Erst Länge 1 Bit, dann 2 Bit usw.
- ▶ Je kürzer das Programm, desto häufiger kommt es an die Reihe, Wartezeit ist 2^{N+1} Zyklen

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm 4

Kürzestes, schnellstes Programm: Dovetailing

- ▶ Algorithmischer Informationsgehalt einer Menge oft geringer als der ihrer einzelnen Elemente
- ▶ Programm P für ein spezielles Universum von gleicher Geschwindigkeitsordnung wie universaler Algorithmus
- ▶ viele äquivalente Programme
- ▶ Universen mit kürzeren Beschreibungen weiter fortgeschritten
- ▶ Suche nach dem Programm für unser Universum, “Weltformel”
- ▶ Folgen für Philosophie und Theologie wegen rational technischem Zugang zu deren Grundfragen
- ▶ Dovetailing ist BFS, im Gegensatz zu DFS auf einem Graphen der möglichen Programme

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit und universelles Programm 5

Dovetailing und MWI

Um eine Verbindung zwischen Dovetailing und MWI herzustellen, ein Zitat von J. Schmidhuber:

An automatic by-product of the Great Programmer's set-up is the well-known "many world hypothesis", (c)Everett III. According to it, whenever our universe's quantum mechanics allows for alternative next paths, all are taken and the world splits into separate universes. From the Great Programmer's view, however, there are no real splits - there are just a bunch of different algorithms which yield identical results for some time, until they start computing different outputs corresponding to different noise in different universes. [Schmidhuber97, 205]

Ist das Universum ein Computer? - Loop Quantum Gravity

Die folgenden Themen nurmehr kurz

- ▶ Ausgangspunkt: Verwicklungen aktueller physikalischer Grundagentheorie
- ▶ Problem der Gravitation: diese lässt sich nicht ohne weiteres quantisieren, sie ist keine Kraft wie die anderen drei Grundkräfte sondern eine geometrische Eigenschaft der Raumzeit.
- ▶ Theorie, die nicht auf der Bühne der Raumzeit agiert, sondern diese erzeugt
- ▶ Annahme von Raumzeit Zellen auf der Grössenordnung der Planck-Skala

Ist das Universum ein Computer? - Mathematical Universe Hypothesis 1

- ▶ Max Tegmark, MIT
- ▶ ERH: es gibt eine externe physikalische Realität unabhängig von Beobachtern
- ▶ es folgt MUH: diese (unsere) externe Realität ist eine mathematische Struktur
- ▶ aktuelle Theorien beschreiben immer nur Teile, daher TOE
- ▶ Eine mathematische Struktur ist das: abstrakte Entitäten und Relationen zwischen diesen (z.B. Boolesche Algebra, S.27, Newtonsche Gravitationstheorie, GR, QFT)

Ist das Universum ein Computer? - Mathematical Universe Hypothesis 2

- ▶ SAS: Self aware subsstructure
- ▶ Zeit läuft nicht ab, Prozesse müssen nicht ausgeführt werden sondern nur definiert sein
- ▶ Relationen werden in unendlichen Fällen durch Berechnungen definiert, ein $f : N \rightarrow N$
- ▶ CUH: die mathematische Struktur die unsere externe physikalische Realität ist, ist durch berechenbare Funktionen definiert
- ▶

Ist das Universum ein Computer? - Comp 1

- ▶ Computationalism (classical digital mechanism)
 1. yes doctor hypothesis, substitutability
 2. Church Thesis: Alle universalen Maschinen (rekurs. Funktionen, TMs, λ -Kalkül, ...) sind äquivalent in Bezug auf die Klasse der Funktionen die sie berechnen
 3. Arithmetischer Realismus (AR): arithmetische Aussagen sind wahr unabhängig von Menschen und Universen

Ist das Universum ein Computer? - Comp 2

- ▶ UDA: Grundlagenphysik reduzierbar auf Grundlagenpsychologie, diese wiederum in Zahlentheorie einbettbar
 - ▶ Acht Schritte, Teleportationstests,
 - ▶ Dovetailing wegen Halteproblem (7)
 - ▶ Dovetailing und hinreichend robust expandierendes Universum (7)
 - ▶ wegen Moviegraph Argument keine physikalische Aktivität relevant (Traum, Entfaltung der Maschinenzustände), nur Berechnung.
 - ▶ physical - virtual - arithmetical ununterscheidbar
 - ▶ Physik ist ein Mass auf den konsistenten Berechnungshistorien

Ist das Universum ein Computer? - Comp3

Computationalism

According to the computational hypothesis, consciousness supervenes on brain activity and the important level of organization in the brain is its computational structure. So the same consciousness can supervene on two different physical systems provided that they support the same computational structure. For example, we could replace every neuron in your brain with a functionally equivalent silicon chip and you would not notice the difference.

<http://groups.yahoo.com/group/Fabric-of-Reality/message/11020>

Ist das Universum ein Computer? - Berechenbarkeit

- ▶ CT-These, siehe Folie UDA
- ▶ Turing-Maschine: klar
- ▶ Gödel:
 1. Erster Unvollständigkeitssatz: Zahlentheorie + Aussagenlogik:
Es gibt aussagen die sich weder beweisen noch widerlegen lassen (Tegmark07, S21)
 2. ...

Residuum

- ▶ Bewusstsein
- ▶ reicht Berechenbarkeit (Definition) oder muss gerechnet (operational) werden oder egal?

Ist das Universum ein Computer? - Literatur

- ▶ Spektrum der Wissenschaft 2005/01, S. Lloyd, Y. J. Ng: Ist das Universum ein Computer? (SciAm Artikel “Black hole computers”)
- ▶ Spektrum der Wissenschaft Spezial 2007/03: Ist das Universum ein Computer?
- ▶ Konrad Zuse, Rechnender Raum, Vieweg, 1969
- ▶ Jürgen Schmidhuber: A Computer Scientist's View of Life, the Universe and Everything, in LNCS, Foundations of Computer Science: Potential - Theory - Cognition
- ▶ Max Tegmark: The Mathematical Universe, arXiv:0704.0646v2 [gr-qc]
- ▶ Wikipedia: Stephen Wolfram, Digital physics, Entropie, Ludwig Boltzmann
- ▶ Bruno Marchal: The Origin of Physical Laws and Sensations, SANE2004

Fin