

Antworten zu den drei Aufgabenblättern

Workshop „Das Multiversum“ · Cusanuswerk-Ferienakademie

Das hier ist kein Lösungsschlüssel im Schulsinn. Bei vielen Fragen gibt es mehr als eine vertretbare Antwort, und bei einigen gibt es gar keine fertige. Diese sind blau markiert. Wo im Text etwas Bestimmtes steht, steht es hier auch, damit ihr nachschlagen könnt, ohne die Artikel noch einmal ganz zu lesen.

Die vier Ebenen

Ebene	Was variiert?	Wo sind die anderen Universen?	Woraus folgt sie?
I	Nur die Anfangsbedingungen, also die Verteilung der Materie. Gesetze und Naturkonstanten bleiben gleich.	Im gewöhnlichen Raum, jenseits unseres Sichthorizonts. Die nächste exakte Kopie in gewaltiger, aber abschätzbarer Entfernung.	Unendlicher Raum plus gleichmäßig verteilte Materie.
II	Naturkonstanten, Zahl der Raumdimensionen, Teilchenarten. Folge unterschiedlicher Symmetriebrechungen.	In anderen Blasen. Unerreichbar, weil der Raum dazwischen schneller expandiert, als man ihn durchqueren kann.	Chaotische ewige Inflation, plus String-Landschaft für die variierenden Konstanten.
III	Nichts qualitativ Neues, nur die Ausgänge von Quantenmessungen.	Nicht im Raum, sondern auf anderen Zweigen des Hilbert-Raums.	Unitäre Entwicklung der Wellenfunktion ohne Kollaps-Postulat.
IV	Die Naturgesetze selbst, also die zugrunde liegende mathematische Struktur.	Außerhalb von Raum und Zeit.	Die Annahme, dass jede mathematische Struktur physikalisch existiert.

Die häufigste Verwechslung ist I gegen III. Merksatz: In Ebene I sitzen die Doppelgänger woanders im Raum, in Ebene III auf einem anderen Quantenzweig. Tegmark sagt ausdrücklich, das sei der einzige Unterschied.

Blatt 1 — Tegmark

1. Welche Ebene nennt Tegmark selbst „eher trivial“?

Antwort Ebene I. Seine Begründung ist ein reines Denkargument: Wie sollte der Raum nicht unendlich sein? Steht dort ein Schild, und was läge dahinter?

Dazu Das ist wörtlich das Argument des Archytas von Tarent aus dem Vortrag, 2400 Jahre später.

Aber Tegmark kassiert die Trivialität im nächsten Absatz selbst wieder ein. Einsteins Gravitationstheorie erlaubt endliche, aber unbegrenzte Räume, etwa kugel- oder ringförmig. Trivial ist es also gerade nicht.

2. Welche Ebene fügt „nichts Neues“ hinzu?

Antwort Ebene III. Der Grund heißt Ergodizität: Die Verteilung der Ergebnisse über verschiedene Quantenzweige ist dieselbe wie die Verteilung über verschiedene Hubble-Volumina in Ebene I. Ebene III liefert also nur weitere ununterscheidbare Kopien derselben Universen.

Offene Frage. Warum ausgerechnet diese Ebene am meisten kritisiert wird, sagt Tegmark nicht. Plausibel ist: Sie berührt die Deutung der Quantenmechanik, an der sich Physiker seit hundert Jahren reiben. Und sie ist die einzige, die nicht in ferner Entfernung liegt, sondern hier, bei jeder Messung.

3. Welches konkrete Beispiel führt er für die Überprüfbarkeit an?

Antwort Den Ausschluss einer endlichen sphärischen Geometrie über die Fleckengröße im Mikrowellenhintergrund. Die beobachteten Flecken sind für eine Kugelgestalt zu klein.

Der Clou Die Aussage „mit 99,9 Prozent ausgeschlossen“ bedeutet nach Tegmark eigentlich: Wäre das Modell richtig, zeigte weniger als eines von tausend Hubble-Volumina so kleine Flecken wie unseres. Damit steckt das Ebene-I-Multiversum bereits in der ganz normalen kosmologischen Statistik, ohne dass es jemand ausspricht.

4. Wie begründet er, dass die Konstanten nie herleitbar seien?

Antwort Weil die Konstanten in seinem Bild nicht in den Gesetzen verankert sind, sondern aus zufälligen Symmetriebrechungen hervorgehen. Berechenbar sind dann nur noch Wahrscheinlichkeitsverteilungen, und auch die nur unter Berücksichtigung von Auswahleffekten.

Schwachstelle Eine Vorhersage, dass etwas *nie* gelingen werde, lässt sich nie widerlegen, nur bestätigen. Genau hier setzt Hossenfelder an, siehe Blatt 3, Frage 7.

5. Wie dreht Tegmark Ockhams Rasiermesser um?

Antwort Über den algorithmischen Informationsgehalt. Die Menge aller ganzen Zahlen erzeugt ein triviales Computerprogramm, eine einzelne herausgegriffene Zahl kann dagegen beliebig lang sein. Also ist die Menge einfacher als ihr Element.

Übertragen Beim Schritt von unserem Universum zu Ebene I entfällt die Angabe der Anfangsbedingungen, bei Ebene II die der Konstanten, bei Ebene IV entfällt alles. Die Komplexität steckt nur in der Froschperspektive.

6. Wo wechselt er von Inflation zu ewiger Inflation?

Antwort Beim Übergang zu Ebene II. Er führt die Inflation als Erweiterung der Urknalltheorie ein, erklärt, welche Probleme sie löst, und schiebt dann nach, die Adjektive „chaotisch“ und „ewig“ bezögen sich auf das Geschehen im größten Maßstab.

Und Er begründet den Schritt nicht, er setzt ihn. Die ewige Variante erscheint bei ihm als *die* Inflation. Ellis nimmt genau diesen Punkt später auseinander.

7. Woher kommt die Unendlichkeit? Was ist Beobachtung, was Annahme?

Beobachtung Die WMAP-Fluktuationen sprechen für einen flachen Raum, und die Materieverteilung ist großräumig gleichmäßig, ohne Strukturen oberhalb von etwa 10^{24} Metern.

Annahme Dass sich dieses Muster jenseits des Horizonts fortsetzt. Tegmark formuliert es selbst im Konditional.

Die Lücke Flach heißt nicht unendlich. Ein flacher Raum kann durch eine nichttriviale Topologie endlich sein, etwa ringförmig. Tegmark erwähnt das, hakt es aber schnell ab, und schreibt an anderer Stelle einschränkend „oder zumindest genügend groß“. Dieser Punkt ist Ellis' Hauptvorwurf.

8. Vogelperspektive und Froschperspektive

Vogel Der Blick von außen auf die Mathematik. Dort gibt es nur eine Wellenfunktion, die sich glatt und deterministisch entwickelt, ohne jedes Anzeichen von Aufspaltung.

Frosch Der Blick des Beobachters, der in der beschriebenen Welt sitzt. Er nimmt nur einen winzigen Ausschnitt wahr und erlebt die Verzweigung als geringfügige Zufälligkeit. Die Dekohärenz täuscht ihm einen Kollaps der Wellenfunktion vor.

Wofür Dreifach. Erstens löst die Unterscheidung den scheinbaren Widerspruch bei Ebene III auf: von außen deterministisch, von innen zufällig. Zweitens ordnet sie den alten Streit zwischen Platon und Aristoteles, denn Platon nimmt die Vogel-, Aristoteles die Froschperspektive ein. Drittens trägt sie sein Ockham-Argument aus Frage 5.

9. Teil B — Die Ebenen auf der Linie

Offene Frage. Hier war euer Urteil gefragt, nicht Tegmarks. Auffällig ist, wenn Ebene III weit rechts landet, obwohl sie laut Tegmark gar nichts qualitativ Neues hinzufügt. Wer sie weit rechts platziert, benutzt offenbar ein anderes Kriterium als „wie viel Neues wird postuliert“.

Blatt 2 — Ellis

1. Welche Ebene hält Ellis für akzeptabel?

Antwort Level 1. Er schreibt, fast alle Kosmologen akzeptierten diese Art von Multiversum, und rechnet sich selbst dazu.

2. Unterschied im Grad oder in der Art?

Antwort Er argumentiert für einen Unterschied in der Art. Bei Level 1 gelten dieselben Gesetze, es variiert nur die Materieverteilung. Es ist Extrapolation des Bekannten, nicht das Postulat von etwas Neuem.

Die Spannung Er hält das nicht ganz durch. „Der Raum hat kein Ende“ führt er zugleich als erstes seiner sieben fragwürdigen Argumente auf. Und er schreibt, alle Paralleluniversen seien zu weit entfernt, um je Einfluss gehabt zu haben, was Level 1 einschließt. Wer das bemerkt hat, hat die interessanteste Stelle des Textes gefunden.

3. Die sieben Argumente und ihre Schwächen

1. Der Raum hat kein Ende. Extrapolation ins Unbeweisbare. Je nach Annahme bekommt man das eine oder das andere Ergebnis.

2. Die bekannte Physik sagt andere Bereiche voraus. Die nötigen Skalarfelder sind nicht nachgewiesen, und es ist nicht belegt, dass ihre Dynamik zu anderer Physik in anderen Blasen führt.

3. Die Theorie besteht einen Beobachtungstest. Der Mikrowellenhintergrund stützt die Inflation, aber nicht alle Inflationsmodelle sind ewig. Die Beobachtung zeichnet die nötige Art nicht aus. Steinhardt argumentiert sogar dagegen.

4. Die Konstanten sind fein abgestimmt. Er räumt ein, dass es eine gültige Erklärung sein könnte, sieht aber keine Möglichkeit, sie zu testen. Siehe Frage 4.

5. Die Konstanten entsprechen den Vorhersagen. Zirkulär. Siehe Frage 5.

6. Die Stringtheorie sagt Vielfalt voraus. Die Stringtheorie ist weder bestätigt noch vollständig. Aus einer unbewiesenen Theorie folgt kein Beleg.

7. Alles, was geschehen kann, geschieht. Braucht ein unüberprüfbares Ordnungsprinzip, das festlegt, was erlaubt ist. Reine Spekulation.

4. Was gesteht Ellis beim Fine-Tuning zu, was hält er zurück?

Zugeständnis Das Multiversum sei eine mögliche gültige Erklärung für die Dichte der Dunklen Energie, vielleicht sogar die einzige wissenschaftlich fundierte Option, die wir derzeit haben.

Vorbehalt Es gebe keine Hoffnung, sie durch Beobachtung zu testen. Und: Die meisten Analysen nehmen an, dass nur die Konstanten variieren und die Grundgleichungen überall gleich bleiben. Nimmt man das Multiversum ernst, muss das nicht so sein.

Die Pointe Er trennt „beste verfügbare Erklärung“ von „wissenschaftlich erwiesen“. Diese Unterscheidung ist sein ganzer Artikel.

5. Warum ist das Wahrscheinlichkeitsargument zirkulär?

Antwort Wahrscheinlichkeiten brauchen ein Ensemble, über das sie definiert sind. Bei einem einzigen existierenden Universum gibt es dieses Ensemble nicht. Das Argument setzt also voraus, was es zeigen soll.

Sein Fazit Wahrscheinlichkeit ist ein Prüfstein für die innere Konsistenz des Vorschlags, kein Beleg seiner Existenz.

6. Die drei Beobachtungstests

Kollisionsspuren Eine Kollision mit einer anderen Blase könnte Spuren im Mikrowellenhintergrund hinterlassen, ebenso Überreste eines vorherigen Zyklus. Das wäre echte Evidenz. Aber die Beobachtungsansprüche sind umstritten, und viele denkbare Multiversen erzeugen gar keine solchen Spuren.

Konstanten Nachweisbare Variation fundamentaler Konstanten würde stützen, dass die Gesetze nicht überall gleich sind. Einzelne Beobachtungsansprüche gibt es, die meisten halten die Belege für zweifelhaft.

Form Multiversum-Szenarien sagen meist ein nicht-sphärisches Universum voraus, weil eine Sphäre sich schließt und damit endliches Volumen hätte. Nicht eindeutig, weil der Bereich jenseits des Horizonts anders geformt sein könnte. Besser wäre die Topologie: Ein in sich zurücklaufender Raum erzeugte wiederkehrende Muster am Himmel. Danach wurde gesucht, gefunden wurde nichts.

7. Warum zählt das Nullresultat nicht für das Multiversum?

Antwort Weil eine ausgebliebene Widerlegung keine Bestätigung ist. Die Topologiesuche hätte das Multiversum widerlegen können. Dass sie es nicht tat, heißt nur „nicht widerlegt“, nicht „bestätigt“.

Dahinter Das ist die Asymmetrie zwischen Falsifikation und Verifikation. Ellis nennt Popper nicht, aber der Gedanke ist derselbe.

8. Sein Kriterium, auf die vier Ebenen angewandt

Kriterium Kausaler Kontakt, gern indirekt. Eine unbeobachtbare Entität darf gelten, wenn sie für die Eigenschaften verifizierter Entitäten wesentlich ist. Die Beweislast liegt bei dem, der sie postuliert.

Offene Frage. Die Anwendung führt Ellis selbst nicht durch, das war eure Übertragung. Vertretbar ist etwa: Ebene I ist ein Grenzfall, den Ellis akzeptiert, obwohl er selbst schreibt, es habe nie Einfluss gegeben. Ebene II fällt durch, die Blasen sind kausal getrennt. Ebene III ist der interessanteste Fall, denn vor der Dekohärenz sind Interferenzeffekte messbar, danach nicht mehr. Ebene IV fällt klar durch.

9. Notwendigkeit, Zufall, Absicht

Ellis selbst Er meint es als Grenzziehung. Sein Punkt: Das Multiversum löst die letzten Fragen nicht, es verschiebt sie nur. Alle Fragen, die sich beim Universum stellen, stellen sich beim Multiversum erneut.

Offene Frage. Ob man das als redliche Selbstbeschränkung oder als Ausweichen liest, ist Bewertungssache. Beides ist gut vertretbar.

10. Die Streitfrage — Ockham bei Tegmark und bei Ellis

Tegmark Einfachheit als Beschreibungslänge der Theorie. Das Ensemble braucht weniger Angaben als ein herausgegriffenes Element.

Ellis Einfachheit als Zahl der postulierten Dinge. Eine Unendlichkeit unbeobachtbarer Entitäten, um ein einziges beobachtbares Universum zu erklären.

Offene Frage. Sie messen Verschiedenes und reden aneinander vorbei. Ockhams Originalformulierung ist ontologisch und stützt eher Ellis. Die Praxis der Physik stützt eher Tegmark, denn wir akzeptieren ohne Zögern unendlich viele Punkte in einem Kontinuum. Es gibt hier keinen Sieger, und das ist der Punkt: „Einfach“ ist selbst nicht eindeutig definiert.

11. Teil B — Hat sich eure Platzierung verschoben?

Offene Frage. Die Bewegung zwischen den beiden Fotos war das Ergebnis, nicht die Endposition.

Blatt 3 — Hossenfelder

1. Was heißt „awissenschaftlich“?

Antwort Eine Annahme ist awissenschaftlich, wenn sie zur Beschreibung des Beobachtbaren nicht nötig ist. Sie ist deshalb nicht falsch, sie liegt außerhalb dessen, worüber die Wissenschaft etwas sagen kann.

Wichtig Es ist eine Aussage über den *Status* einer Annahme, nicht über ihren Wahrheitswert. Wer „awissenschaftlich“ mit „falsch“ gleichsetzt, liest sie falsch. Sie betont das mehrfach selbst.

2. Trägt der Vergleich mit dem Gottesglauben?

Wo er passt Beide Annahmen sind für die Beschreibung des Beobachtbaren entbehrlich, beide nicht überprüfbar, beide in diesem Sinn Glaubensinhalte.

Wo er hinkt Die Multiversum-Annahme wird aus physikalischen Theorien abgeleitet, die aus anderen Gründen motiviert sind. Die Gottesannahme wird nicht aus einer physikalischen Theorie abgeleitet und beansprucht meist auch gar nicht, eine physikalische Hypothese zu sein. Der Vergleich unterstellt eine Kategorienzuordnung, die man bestreiten kann.

Zur Fairness Sie benutzt Gott als Beispiel für eine entbehrliche Annahme, nicht als Angriff. Am Kapitelende sagt sie ausdrücklich, niemand solle für seinen Glauben herabgesetzt werden.

3. Ist die doppelte Anwendung konsequent?

Dafür Wenn Wissenschaft nur über Beobachtbares urteilt, liegt jede Aussage über Unbeobachtbares außerhalb, die bejahende wie die verneinende. Das ist eine saubere Anwendung ihres eigenen Kriteriums.

Dagegen Die Kategorie wird dadurch sehr weit. Sie erfasst auch die kaum bestrittene Annahme, dass der Raum hinter dem Horizont weitergeht. Hossenfelder glaubt das selbst, nennt es aber trotzdem Glauben.

Offene Frage. Ob eine Kategorie nützlich ist, die selbst Unstrittiges einschließt, war genau die Streitfrage im Fishbowl.

4. Der Einwand mit den Schwarzen Löchern

Ihre Antwort Zwei Teile. Erstens sei das Innere prinzipiell beobachtbar, man könne nur nicht zurückkommen und berichten. Zweitens verdampfen Schwarze Löcher: Der Horizont schrumpft, das Innere ist also nicht dauerhaft von uns abgetrennt.

Stark daran Der erste Punkt. Beobachtbarkeit und Berichtbarkeit sind nicht dasselbe.

Schwach daran Der zweite Punkt stützt ihr Kriterium mit der Hawking-Verdampfung, die selbst nie beobachtet wurde. Sie verteidigt einen Beobachtbarkeitsmaßstab mit einer unbestätigten theoretischen Vorhersage.

5. Der Einwand mit der endlichen Lichtgeschwindigkeit

Ihre Antwort Sie glaubt selbst nicht, dass das Universum am Horizont aufhört. Aber es gehe nicht darum, was sie glaube, sondern was man wissen könne. Was jenseits der Beobachtungsgrenze liege, sei Glaubenssache.

Die Verbindung Das ist wörtlich Ellis' Level 1, das Ellis ausdrücklich akzeptiert. Zwei sorgfältige Kritiker, unvereinbare Urteile, und zwar bei der *harmlosesten* Ebene. Mehr dazu am Ende dieses Blattes.

Feinheit Keiner der drei diskutiert sauber, dass der Sichthorizont mit der Zeit wächst, ein Teil des Jenseitigen also künftig beobachtbar würde. Tegmark erwähnt es, schränkt aber wegen der beschleunigten Expansion selbst wieder ein.

6. Wen beschreibt sie mit „Mathematik ist real“?

Antwort Tegmark und seine Ebene IV. Er nennt seine Position selbst radikalen Platonismus und behauptet, mathematische Strukturen existierten physikalisch.

Detail Sie nennt Greene, Susskind, Cox und Linde namentlich. Tegmark nicht, obwohl die Beschreibung exakt auf ihn passt.

7. Dieselbe Tatsache, zwei Vorzeichen

Tegmark Dass die Konstanten nicht herleitbar sind, ist eine Vorhersage der Theorie und damit ein Erfolg.

Hossenfelder Man wollte sie berechnen, es misslang, und daraufhin behauptet man, alle Werte existierten irgendwo. Also ein kaschierter Misserfolg.

Wie entscheiden Die methodische Frage lautet, ob die Aussage vor oder nach dem Scheitern formuliert wurde. Eine Vorhersage, die erst nach dem Ausbleiben des Erfolgs aufgestellt wird, ist eine Nachhersage.

Offene Frage. Historisch wurde die String-Landschaft tatsächlich erst nach dem Scheitern der Eindeutigkeitshoffnung prominent, um 2000 bis 2003. Sie folgt aber auch aus der Struktur der Theorie, nämlich der Vielzahl möglicher Kompaktifizierungen. Also weder rein nachgeschoben noch reine Vorhersage. Genau darüber wird in der Fachwelt gestritten.

8. Ben Carson

Ihr Argument Wenn Wissenschaftler Fakten und Fiktion vermischen, verwerfen Nichtfachleute am Ende beides gemeinsam. Der Schaden trifft also auch das gut Belegte.

Schwäche Sie räumt selbst ein, dass Carson vieles missverstanden hat. Ein Beispiel, in dem der Kritiker die Sache gar nicht erfasst hat, belegt schlecht, dass die Darstellung der Physiker schuld ist. Rhetorisch wirksam, empirisch dünn: ein Einzelfall ohne nachgewiesene Kausalität.

Wo sie ihm recht gibt Beim Satz, niemand solle wegen seines Glaubens herabgesetzt werden. Und beim banalen Punkt, dass Wissenschaft nicht immer richtig liegt.

9. Teil B — Ellis und Hossenfelder, dieselbe Position?

Offene Frage. In der Sache liegen sie nah beieinander, im Umgang mit der Gegenseite nicht. Ellis nennt die Multiversum-Vorschläge wissenschaftlich fundierte philosophische Spekulation und billigt ihnen zu, ein produktives Forschungsprogramm zu sein. Hossenfelder billigt ihnen nichts zu. Der Unterschied liegt weniger im Kriterium als in der Frage, ob Spekulation einen Eigenwert hat.

10. Teil B — Verliert eine awissenschaftliche Aussage an Wert?

Offene Frage. Wenn awissenschaftlich nicht falsch heißt, ist die Frage, was genau verloren geht. Eine nützliche Gegenprobe: Gilt dasselbe für die Frage, ob es Leben auf anderen Planeten gibt, solange wir keines gefunden haben?

Vier Verbindungen zwischen den drei Texten

Das Eigentliche liegt nicht in den Einzelantworten, sondern hier.

1. Der Level-I-Gradient. Tegmark nennt Ebene I trivial. Ellis akzeptiert sie ausdrücklich und rechnet sich zur Mehrheit der Kosmologen. Hossenfelder nennt genau dieselbe Annahme reine Glaubenssache. Drei Physiker, dieselbe Ebene, drei unvereinbare Urteile. Die Uneinigkeit beginnt also nicht bei der exotischsten Ebene, sondern bei der harmlosesten.

2. Ockham, zweimal gegensätzlich angewandt. Beide berufen sich auf dasselbe Sparsamkeitsprinzip und kommen zum entgegengesetzten Ergebnis, weil sie

Verschiedenes messen: Komplexität der Theorie gegen Zahl der postulierten Dinge.

3. Die Konstanten, zweimal gegensätzlich gedeutet. Dass sie sich nicht herleiten lassen, ist für Tegmark eine bestätigte Vorhersage und für Hossenfelder ein kaschierter Misserfolg. Derselbe Befund, entgegengesetztes Vorzeichen, je nach Erwartung, mit der man hineingeht.

4. Der Dreischritt. Inflation, ewige Inflation und Multiversum mit anderer Physik sind drei verschiedene Behauptungen mit drei verschiedenen Sicherheitsgraden. Tegmark setzt den Sprung vom ersten zum zweiten stillschweigend. Ellis nimmt genau ihn auseinander.

Zum Weiterlesen

Brian Greene, *Die verborgene Wirklichkeit* (Siedler 2012). Je ein Kapitel pro Multiversum-Typ, ohne Vorkenntnisse lesbar. Kapitel 2 entspricht Ebene I, Kapitel 3 und 6 der Ebene II, Kapitel 8 der Ebene III, die zweite Hälfte von Kapitel 10 der Ebene IV.

Sabine Hossenfelder, *Mehr als nur Atome* (Siedler 2023). Die vollständige deutsche Ausgabe des Buches, aus dem der dritte Text stammt.