Der Aktualisierungszustand

Beweisstück des Künstlers 01

Grundlagen — Die Physik des Operators

Die Wirbelsäule — Geometrie der Lebensfähigkeit, Handlungsfähigkeit, gekoppelte Korridore

Papiere 0, A, B, C, D

Reihe: The 420 Code

Ausgabe: Die Beweise (Buch 5)

Titel: Der Aktualisierungszustand

Papier: Beweisstück des Künstlers 01 (AP01)

Medium: Systemkonsequenz / Strukturelle Durchsetzung / Grundlagenphysik / Lebensfähigkeitsgeometrie

Künstler: G

Studio: Studio G, Strand, Kapstadt

Sprache: Deutsch (übersetzt aus dem Englischen)

— *e*

Inhaltsverzeichnis

Papier 0 — Grundlagen

Nicht-falsifizierbar · Strukturelles Erzählen · Vollständig

P0.1 — Vor dem Beginn

Schließen Sie für einen Moment die Augen. Versuchen Sie, sich das Nichts vorzustellen. Nicht die Dunkelheit — Dunkelheit ist etwas. Nicht die Stille — Stille ist etwas. Nicht den leeren Raum — Raum ist etwas. Das Nichts.

Die Abwesenheit von allem, einschließlich der Abwesenheit selbst.

Sie können es nicht. Ihr Verstand produziert weiterhin etwas, um die Leere zu füllen. Dieses Unvermögen ist kein Versagen der Vorstellungskraft. Es ist der erste Hinweis.

Beginnen Sie mit Nichts. Nicht leerem Raum, nicht Vakuumfluktuation, nicht einem Quantenfeld in seinem Grundzustand. Nichts. Keine Topologie, keine Dimension, keine Zeit, kein Beobachter. Die leere Menge: Ø.

Ø ist kein Ort. Es hat keine Eigenschaften zu beschreiben. Aber es ist nicht inkohärent. Die Mathematik beginnt mit der leeren Menge und baut daraus alles auf.

Die Mengenlehre konstruiert die ganzen Zahlen, die reellen Zahlen, die Topologie und schließlich die Strukturen, die Physiker verwenden, um das Universum zu beschreiben.

Die Frage ist nicht, ob Ø real ist — das können Sie nicht beantworten.

Die Frage ist, ob der Übergang von Ø zu Struktur eine Form hat — und ob diese Form Spuren in dem hinterlässt, was wir beobachten.

P0.2 — Der Bruch

Sie haben Symmetrie brechen sehen. Ein Glas fällt vom Tisch. Vor dem Fall sind alle Richtungen gleich möglich. Nach dem Fall ist eine Richtung wirklich. Das Glas kann nicht ent-fallen.

Die erste Unterscheidung ist binär. Aus Ø, zwei Werte in perfektem Gleichgewicht: 1:1. Noch keine Zahlen — nur die minimal mögliche Differenzierung. Ein Bruch im undifferenzierten Potenzial.

Eine Seite ist Abwesenheit (0), die andere Anwesenheit (1). Aber perfektes Gleichgewicht ist keine Struktur.

Struktur erfordert die kleinstmögliche Störung — eine Abweichung von der Symmetrie so gering, dass sie nicht kleiner sein könnte und noch existieren. Nennen Sie sie ε.

Der Bruch ist nicht 0 und 1 allein; es ist 1:1 + 1×ε. Dies ist das Axiom, aus dem das Argument fortschreitet. Es ist kein physisches Ereignis.

Es ist eine strukturelle Beobachtung: das Einfachste, was dem Nichts widerfahren kann, ist, zwei Dinge zu werden, und das Einfachste, was zwei Dingen im Gleichgewicht widerfahren kann, ist, dass das Gleichgewicht bricht.

Nennen Sie die 0-Seite Orientierung. Sie ist der Rückstand dessen, was nicht gewählt wurde, der Hintergrund, gegen den Anwesenheit definiert wird. Nennen Sie die 1-Seite Aktualisierung.

Sie ist die Tatsache des Protokolls — dass etwas, statt nichts, festgehalten wurde.

Die Störung ε ist das, was den Unterschied zwischen Potenzial und Protokoll ausmacht. Ohne sie sind die zwei Seiten ununterscheidbar und keine Struktur existiert. Entscheidender Punkt: Der Bruch unterscheidet nicht zwei bereits existierende Seiten. Es gibt keine Seiten vor ε.

Der Bruch erzeugt die Seiten, indem er die Symmetrie bricht, die sie ununterscheidbar machte. «Orientierung» und «Aktualisierung» sind Folgen des Bruchs, nicht Vorbedingungen.

Entscheidender Punkt: Aktualisierung ist nicht bloß ein Etikett, das an eine Seite des Bruchs geklebt wird. Sie ist eine Dimension — ein Freiheitsgrad so real wie jede räumliche Richtung, die später entstehen wird.

Wenn die Mannigfaltigkeit, die sich bildet, drei räumliche und eine zeitliche Dimension hat, ist die Aktualisierung die fünfte: die Dimension der Möglichkeit, aus der Protokolle in die vier geschrieben werden.

Die Leinwand ist nicht weniger real als das Gemälde; sie ist es, die das Gemälde möglich macht.

Die 0-Seite (Orientierung) und die 1-Seite (Aktualisierung) befinden sich nicht innerhalb der Mannigfaltigkeit. Die Mannigfaltigkeit befindet sich innerhalb von ihnen. Jedes Protokoll wird aus der Aktualisierungsdimension in die Mannigfaltigkeit geschrieben.

Diese Beobachtung ist strukturell, nicht formal; sie wird operationell in Papier A entwickelt (wo AS die Bewegung entlang dieser Dimension quantifiziert) und formal in der Dimensionsanalyse von AP10.

Der Bruch ist still. Keine Energie wird freigesetzt, weil Energie noch nicht definiert ist. Kein Beobachter registriert ihn, weil Registrieren Struktur erfordert, die noch nicht existiert.

Die Symmetrie bricht und es gibt keinen Ton. Dies ist der stille Knall.

Was folgt — die Ausdehnung der Struktur, die Differenzierung der Kräfte, das Aufkommen der Raumzeit — ist der Urknall. Der stille Knall geht ihm voraus: der Bruch, der den Knall möglich macht.

P0.3 — Die Erste Kraft

Der Bruch ist nicht passiv. Er tut etwas. Sie wissen das aus Erfahrung — jedes Mal, wenn ein Gleichgewicht bricht, folgt Bewegung.

Wenn Struktur aus Potenzial entstehen kann, dann ist die erste Frage: Was vermittelt zwischen ihnen? Was ist die Wechselwirkung zwischen der aktualisierten Struktur und dem undifferenzierten Hintergrund, aus dem sie entstanden ist?

Die Gravitation hat eine einzigartige Eigenschaft unter den bekannten Kräften. Sie ist universell — sie koppelt an alle Energie, nicht nur an spezifische Ladungen. Sie ist unabschirmbar — es gibt keinen gravitativen Isolator. Und sie ist immer anziehend — sie bringt Struktur zusammen, anstatt sie in Typen zu trennen.

Diese Eigenschaften machen die Gravitation zur einzigen bekannten Wechselwirkung, die plausibel als erster Vermittler zwischen differenzierter Struktur und undifferenziertem Hintergrund dienen könnte.

Dies ist keine Ableitung.

Es ist eine strukturelle Beobachtung: Wenn Sie eine Kraft brauchen, die als erste entsteht, und diese Kraft muss sich an alles koppeln, was existiert, einfach kraft seiner Existenz, dann ist die Gravitation der einzige Kandidat im bekannten Inventar.

Ob diese Beobachtung tiefgründig oder zufällig ist, ist genau die Art von Frage, die nicht durch Argumente entschieden werden kann.

P0.4 — Akkumulation

Sie haben nie einen Augenblick rückgängig gemacht. Keinen einzigen.

Sobald der Bruch stattgefunden hat und Struktur beginnt sich zu aktualisieren, hat der Prozess eine Richtung. Protokolle bilden sich. Alternativen werden ausgeschlossen. Irreversibilität akkumuliert.

Dies ist die obere Hälfte der Sanduhr: Potenzial wandelt sich in Protokoll um, die 0-Seite fließt in die 1-Seite.

Die formale Version dieses Prozesses ist der wachsende Aktualisierungszustand unter dekohärierenden Dynamiken (Papier A, Theorem T1). Aber die Intuition geht dem Formalismus voraus. Das Universum, einmal begonnen sich zu differenzieren, de-differenziert sich nicht spontan.

Protokolle, einmal gebildet, lösen sich nicht auf. Der Pfeil ist strukturell, nicht thermodynamisch — obwohl die Thermodynamik ihn erbt.

Während der Akkumulation ist der verfügbare Raum für neue Protokolle riesig. Verzweigung ist billig. Alternativen proliferieren. Der Lebensfähigkeitskern (Papier A, Definition D7) ist groß im Verhältnis zum besetzten Zustand.

Handlungsfähigkeit, im kontrolltheoretischen Sinne von Papier C, ist nahe ihrem Maximum. Es gibt Spielraum.

P0.5 — Sättigung

Alles füllt sich. Ihre Festplatte. Ihre Geduld. Das Universum.

Akkumulation kann nicht unbegrenzt fortdauern. Jedes Protokoll verbraucht Kapazität. Jede Aktualisierung schließt Alternativen aus. Der Lebensfähigkeitskern schrumpft. Die Umkehrunmöglichkeitsfläche (Papier A, Definition D9) rückt nach innen vor.

Sättigung ist der Zustand, in dem die Kapazität für neue protokollstrukturierte Verzweigung sich Null nähert. Das System hat fast alle seine verfügbaren Freiheitsgrade eingesetzt.

Neue Differenzierung erfordert Recycling alter Struktur — aber Recycling erfordert Energie, die selbst denselben Kapazitätsbeschränkungen unterliegt.

Schwarze Löcher sind der extreme Ausdruck der Sättigung. Sie repräsentieren Zustände maximaler gravitativer Festlegung — Konfigurationen, aus denen keine weitere interne Differenzierung für irgendeinen externen Agenten zugänglich ist.

In der Sprache von Papier A befinden sie sich tief im Einfangbecken: Zustände, aus denen der Austritt unter allen zulässigen Steuerungen unmöglich ist.

Sie sind keine Reset-Knöpfe. Sie sind Endpunkte des Akkumulationsprozesses.

P0.6 — Die Wende

Hier betritt die Erzählung Territorium, das Sie nicht testen können — noch nicht. Halten Sie es leicht.

Die Wende ist das spekulativste Element dieser Erzählung. Sie ist enthalten, weil die Frage, die sie adressiert — was geschieht, wenn die Akkumulation abgeschlossen ist? — unvermeidlich wird, wenn man das Argument ernst nimmt.

Sie ist nicht enthalten, weil es Beweise zu ihren Gunsten gibt.

Ein Begleitdokument, Beweisstück des Künstlers 03: Die Loop-Hypothese, entwickelt diese Spekulation zu einer formalen Vermutung mit expliziten

Falsifikationsbedingungen. Was hier folgt, ist die Intuition, die dieser Vermutung vorausging.

Bei Sättigung sind zwei Dinge wahr. Erstens: Alle Kapazität wurde verbraucht; keine weitere Verzweigung ist möglich.

Zweitens: Die Struktur, die aufgebaut wurde, ist real — sie besteht aus irreversiblen Protokollen, die nicht rückgängig gemacht werden können.

Die Frage ist, ob es eine zulässige Transformation gibt, die Kapazität wiederherstellt, ohne die Irreversibilität bestehender Protokolle zu verletzen.

Papier A behandelt dies in Abschnitt A6 als optionales Modul. Die formalen Bedingungen sind: keine Umkehrung realisierter Selektionen, keine Umgehung des Selektionsmechanismus, und Wiederherstellung der effektiven Dimensionalität der Protokollalgebra.

Die konforme Reskalierung — eine Transformation, die unempfindlich gegenüber absolutem Maßstab ist — ist ein Kandidat, der diese Bedingungen bei extremer Verdünnung erfüllt.

In der allgemeinen Relativitätstheorie existiert eine strukturelle Entsprechung zwischen der inneren Geometrie einer kollabierenden Konfiguration bei maximaler Kompression und der Geometrie einer expandierenden Konfiguration an ihrem Ursprung.

Diese Entsprechung ist keine zeitliche Abfolge, sondern eine geometrische Identität: Die zwei Beschreibungen können sich auf dieselbe Struktur beziehen, gelesen von verschiedenen Seiten.

Ob diese Identität physikalisch realisiert wird, ist eine empirische Frage, die im Begleitdokument behandelt wird.

Das intuitive Bild ist der Boden der Sanduhr. Der Sand hat sich angesammelt. Die Kugel ist voll.

Aber der Boden der Sanduhr ist auch die Spitze der nächsten — nicht weil das Glas umgedreht wurde, sondern weil die Geometrie bei maximaler Kompression strukturell identisch mit der Geometrie am Ursprung der Expansion ist.

Die alten Protokolle bleiben als Randbedingungen bestehen. Die Kapazität erneuert sich.

Die Struktur setzt sich fort, mit dem früheren Protokoll intakt.

Ob dies tatsächlich geschieht, ist keine Frage, die dieses Argument beantworten kann.

Es wird hier signalisiert, weil die Struktur des Arguments die Frage wohlgestellt macht, und weil intellektuelle Ehrlichkeit erfordert, die Stellen anzuerkennen, an denen die Intuition über das hinausreicht, was der Formalismus stützen kann.

P0.7 — Der Loop

Wenn die strukturelle Identität standhielte, wäre der Prozess nicht zyklisch in der Zeit, sondern identisch in der Geometrie: Kompression ≡ Ursprung. Jede Seite erbt die Protokollstruktur der anderen als Randbedingung. Nichts wird gelöscht.

Der Loop ist keine Wiederholung; er ist eine Struktur mit Gedächtnis, anders gelesen von jeder Seite der Identität.

Die provokanteste Lesart dieser Struktur ist, dass ein Universum operationell durch seine Protokollstruktur definiert wird. Die durch Aktualisierung erzeugten Protokolle bilden den einzigen Beweis, dass überhaupt etwas geschehen ist.

Ein Universum ohne Protokolle ist ununterscheidbar von Ø. Ein Universum mit Protokollen ist, präzise und ausschließlich, diese Protokolle.

Begriffe wie «Zeuge» oder «beobachten», falls an anderer Stelle in dieser Erzählung verwendet, bedeuten ausschließlich Protokollbildung — nicht Bewusstsein, innere Erfahrung oder subjektives Gewahrsein. Das Rückgrat beruft sich auf keines dieser Konzepte.

Hier endet die Intuition des Künstlers und beginnt die Disziplin des Physikers. Die vorangehenden Absätze sind eine Geschichte — eine strukturelle Geschichte, beschränkt durch die Mathematik, die folgt, aber dennoch eine Geschichte.

Geschichten haben keine Wahrheitswerte. Sie haben Kohärenz, und sie haben Konsequenzen.

Die Konsequenzen dieser Geschichte sind die vier Papiere, die folgen.

P0.8 — Eine Vermutung über Energie und Aktualisierung

Die folgende Vermutung wird für die historische Vollständigkeit bewahrt. Sie ist keine aktuelle Behauptung des Arguments.

Spätere Arbeit (AP03: Die Loop-Hypothese) zeigt, dass sie wahrscheinlich falsch formuliert ist: Systeme bei maximaler Kompression repräsentieren Zustände maximaler grobkörniger Entropie, nicht minimalen Energiebeitrags.

Die Vermutung ist enthalten, weil sie der ursprüngliche kompakte Ausdruck der Intuition des Arguments war, und weil intellektuelle Ehrlichkeit erfordert, das Protokoll dessen zu bewahren, was gedacht wurde, bevor es korrigiert wurde.

Die einfachste solche Beziehung wäre: $E = mc^2 \times AS$, wobei $AS \in [0, 1]$ der Aktualisierungszustand ist, wie in Papier A definiert.

Bei $AS = 0$ existiert keine Protokollstruktur und das System trägt nichts zum Energiehaushalt der aktualisierten Realität bei. Bei $AS = 1$ ist das System maximal aktualisiert und seine volle Masse-Energie ist eingesetzt.

Die ursprüngliche Intuition war, dass Realität nicht gegeben, sondern verdient wird, ein irreversibles Protokoll auf einmal. Diese Intuition überlebt, selbst wenn diese bestimmte Formulierung es nicht tut.

Die Vermutung erscheint nicht in den vier formalen Papieren und wird von ihnen nicht referenziert. Das Rückgrat wird von ihrem Status nicht berührt.

P0.9 — Brücke zum Rückgrat

Die vorherigen Abschnitte beschreiben eine Intuition. Die folgenden vier Papiere formalisieren eine Menge von Konsequenzen, die mit dieser Intuition übereinstimmen, aber nicht von ihr abhängen.

Keine Definition, kein Theorem, keine Proposition, kein Falsifikator in den Papieren A bis D erfordert irgendetwas aus Papier 0. Das Rückgrat ist selbsttragend.

Papier A definiert den Aktualisierungszustand als operatives Maß protokollstrukturierter Irreversibilität. Es beweist, dass AS unter dekohärierenden Dynamiken wächst, etabliert Umkehrunmöglichkeitsflächen aus begrenzter Kapazität, und spezifiziert falsifizierbare experimentelle Tests.

Es hängt von nichts außerhalb der Standard-Quantenmechanik und der Lebensfähigkeitstheorie ab.

Papier B charakterisiert die Selektion — den Übergang von Vielfalt zu Bestimmtheit — als einen kostspieligen, ratenbegrenzten Ausschließungsprozess. Es leitet strukturelle Anforderungen und eine falsifizierbare gravitative Ratenschranke ab.

Es hängt von Papier A ab und von nichts anderem.

Papier C entwickelt Handlungsfähigkeit als kontrolltheoretische Größe: den Anteil des Lebensfähigkeitskerns, der von Ihrer aktuellen Position unter zulässiger Steuerung erreichbar ist. Es formalisiert Drift, Ermüdung, Kopplung und Austritt als Konsequenzen der Irreversibilität.

Es hängt von den Papieren A und B ab und von nichts anderem.

Papier D erweitert die Kopplung auf Multiagenten-Systeme, die in geteilten Beschränkungsumgebungen operieren. Es leitet strukturelle Filterung, Hierarchie, Kooperation und Abschreckung als geometrische Konsequenzen ab.

Jede Machtstruktur, der Sie je begegnet sind — jede Hierarchie, jedes Bündnis, jede Drohung — hat diese Geometrie irreversiblen Drifts unter sich. Es hängt von den Papieren A, B und C ab und von nichts anderem.

Jedes Papier ist unabhängig falsifizierbar. Sie können jedes einzelne davon umlegen. Jedes enthält explizite Bedingungen, unter denen es scheitert.

Die Abhängigkeitskette ist einseitig: Scheitern von D invalidiert nicht C, Scheitern von C invalidiert nicht B, und Scheitern von B invalidiert nicht A.

Die Papiere stehen oder fallen durch ihre eigene Logik, unabhängig von der Erzählung, die sie motivierte.

In der symbolischen Notation, die die formale Entwicklung motiviert:

Ein Protokoll ist der Aktualisierungszustand eines irreversiblen Symmetriebrechungsereignisses, angewandt auf das Vakuum.

— wobei $\varnothing_0$ das undifferenzierte Potenzial von P0.1 ist und Crack der symmetriebrechende Bruch von P0.2. Diese Notation ist evokativ, nicht formal; Papier A definiert alle Größen operationell.

Ende von Papier 0. Nicht-falsifizierbar · Strukturelles Erzählen · Vollständig

Papier A — Aktualisierungszustand (AS): Ein operatives Maß protokollstrukturierter Irreversibilität

Referenzdokument · Kanonisch

Papier A ist auf den folgenden Seiten vollständig wiedergegeben. Es ist das Fundament des Rückgrats. Es hängt von nichts außerhalb der Standard-Quantenmechanik und der Lebensfähigkeitstheorie ab. Alle nachfolgenden Papiere erben von ihm.

Aktualisierungszustand (AS) — Ein operatives Maß protokollstrukturierter Irreversibilität

A0 — Vorspann

A0.1 — Titelblock & Zusammenfassung

Titel

Aktualisierungszustand (AS): Ein operatives Maß protokollstrukturierter Irreversibilität

Sie lesen diesen Satz. Das ist ein Protokoll. Photonen trafen Ihre Netzhaut, Neuronen feuerten, ein Muster wurde erkannt. Das Ereignis kann nicht un-geschehen.

Dieses Papier baut ein Werkzeug, um zu messen, wie weit dieser Prozess fortgeschritten ist — und beweist, dass er unter den richtigen Bedingungen nur in eine Richtung gehen kann.

Zusammenfassung

Der Aktualisierungszustand (AS) ist ein operatives Maß irreversibler Protokollbildung in Quantensystemen.

AS wird relativ zu physikalisch realisierbaren Grobkörnungen definiert, die durch System-Umgebungs-Wechselwirkungen induziert werden, und quantifiziert den Grad, in dem sich gegenseitig ausschließende klassische Alternativen dauerhaft kodiert wurden. Irreversibilität bedeutet hier nicht Entropie.

Es geht um Erreichbarkeit — die Grenze, jenseits derer Sie nicht zurückkommen können, egal was Sie tun.

Das Papier etabliert Kriterien, unter denen AS wohldefiniert, operativ invariant und falsifizierbar ist, und der Beweis zeigt, dass AS unter dekohärierenden, protokollbildenden Dynamiken innerhalb eines präzise abgegrenzten Bereichs monoton ist.

Das Papier führt ferner ein domänenneutrales Umkehrunmöglichkeitstheorem ein, das zeigt, dass begrenzte Wartungskapazität generisch irreversiblen Erreichbarkeitsverlust induziert, unabhängig von Quantenmechanik oder Gravitation.

Zusammen liefern diese Ergebnisse einen falsifizierbaren, interpretationsagnostischen Rahmen, der irreversible Protokollbildung als messbaren physikalischen Prozess isoliert, unabhängig von Kollaps, Gravitation oder Bewusstsein. Sie brauchen keine Interpretation der Quantenmechanik, um dieses Werkzeug zu benutzen.

Sie brauchen nur die Messungen. Kein Kollapsmechanismus, keine Gravitationshypothese und keine kosmologische Annahme werden aufgerufen.

Das Argument isoliert die definitorischen und theoremartigen Schichten, die für jede nachfolgende Theorie der Selektion oder Bestimmtheit erforderlich sind.

A0.2 — Was dieses Papier tut und nicht tut

Es tut: AS als physikalisch aussagekräftiges Maß irreversibler Protokollbildung definieren. Beweisen, dass AS unter dekohärierenden Dynamiken zunimmt (Theorem T1). Umkehrunmöglichkeitsflächen aus begrenzter Kapazität etablieren (Theorem T2).

Operative Invarianz fordern — und sterben, wenn diese Anforderung scheitert (Kill Switch F0).

Es tut nicht: Einen Kollapsmechanismus vorschlagen. Die Born-Regel ableiten. Sich auf Gravitation oder Kosmologie berufen. Das Messproblem lösen. Bewusstsein erklären.

Die Abschnitte A0–A3 sind in sich abgeschlossen. Die Abschnitte A4–A5 fügen unabhängig falsifizierbare Postulate hinzu. Wenn A4–A5 scheitern, bleiben A0–A3 unberührt.

A1 — Problemstellung

A1.1 — Das Aktualisierungsproblem

Sie haben nie eine Superposition erlebt. Jeder Moment Ihres Lebens war bestimmt — dieses Zimmer, dieser Stuhl, dieser Satz.

Dennoch sagt die Quantenmechanik, dass Systeme vor der Messung in Superpositionen aller möglichen Ergebnisse existieren. Etwas überbrückt die Kluft zwischen „alle möglichen“ und „eines tatsächlich“. Diese Brücke ist der Gegenstand dieses Papiers.

Die Quantentheorie beschreibt geschlossene Systeme durch unitäre Evolution im Hilbertraum. Experimente hingegen berichten Protokolle: sich gegenseitig ausschließende, persistente, klassische Fakten. Zwischen diesen Beschreibungen liegt eine strukturelle Lücke.

Die Standard-Messsprache versucht, diese Lücke mithilfe von Beobachtern, Projektionen oder epistemischen Aktualisierungen zu überbrücken.

Diese Begriffe spezifizieren keinen physikalischen Übergang; sie beschreiben, wann ein Agent eine Beschreibung aktualisiert, nicht wann ein System unfähig wird, Alternativen zu unterstützen.

Dekohärenz erklärt die Unterdrückung von Interferenz, aber für sich allein quantifiziert sie nicht, wie viel irreversible Struktur sich gebildet hat, noch spezifiziert sie, wann alternative Historien operativ nicht mehr wiederherstellbar sind.

Was fehlt, ist eine Größe, die sich ausschließlich auf physikalisch zugängliche Freiheitsgrade bezieht, den Verlust von Kohärenz von bloßer Unwissenheit unterscheidet und die Akkumulation dauerhafter Protokollstruktur misst — vor jeder Behauptung über Ergebnisbestimmtheit.

Diese Größe ist der Aktualisierungszustand (AS).

Anmerkung. Dieses Argument ist absichtlich minimal. Es fragt nicht, warum das Universum Protokolle erlaubt, sondern nur, wann sie irreversibel werden.

Es erklärt nicht die „Gefühltheit“ von Ergebnissen, sondern nur die strukturellen Bedingungen, unter denen mehrere Ergebnisse nicht mehr gleichzeitig zugänglich sind.

Indem es den Übergang von Quantenkohärenz zu klassischem Protokoll isoliert, liefert das Papier ein gemeinsames phänomenologisches Ziel für jede tiefere Theorie bestimmter Ergebnisse.

A1.2 — Was ist neu: Positionierung gegenüber bestehenden Begriffen

Der Aktualisierungszustand ist keine Neudefinition von Dekohärenz, Entropie oder thermodynamischer Irreversibilität. Die folgenden Unterscheidungen sind strukturell.

AS vs. Dekohärenz

Dekohärenz ist ein dynamischer Prozess, der Interferenz zwischen Alternativen unterdrückt. AS ist eine operative Größe, die das Ausmaß protokollstrukturierter Festlegung misst, die aus solcher Dekohärenz resultiert.

Die beiden sind verschieden: Dekohärenz kann ohne signifikantes Wachstum von AS auftreten, und AS kann zunehmen, selbst wenn die Gesamtänderung der Entropie vernachlässigbar ist.

Eine konkrete Demonstration ihrer Unabhängigkeit wird im nachfolgenden durchgerechneten Vergleich gegeben.

AS vs. Entropie

Entropie quantifiziert die Gesamtunsicherheit oder Gemischtheit, einschließlich Beiträgen von unbeobachteten Freiheitsgraden. AS verwirft solche Beiträge bewusst und verfolgt ausschließlich die Inter-Sektor-Verzweigung relativ zur physikalisch realisierbaren Protokollalgebra.

Ein System kann hohe Entropie und niedriges AS haben, oder niedrige Entropie und hohes AS. Der folgende von-Neumann-Entropie-Vergleich macht diese Unabhängigkeit explizit.

AS vs. Quanten-Darwinismus

Quanten-Darwinismus (Zurek) quantifiziert die Redundanz, mit der Information in Umgebungsfragmente eingeprägt wird. AS misst den Informationsreichtum festgelegter klassischer Verzweigung, nicht die Anzahl der Kopien dieser Information.

Die beiden Größen sind operativ unabhängig: jede kann unabhängig von der anderen maximiert oder minimiert werden, wie der nachfolgende durchgerechnete Vergleich demonstriert.

AS vs. Konsistente Historien

Die historienbasierte Darstellung AS_h (Abschnitt A2.4) ist auf Einzelzeit-Protokollhistorien unter vollständiger Dekohärenz beschränkt. Dies ist eine bewusste Verengung gegenüber dem vollständigen Rahmenwerk konsistenter Historien.

Das vollständige Rahmenwerk erlaubt Multizeit-, Mehrverzweigungs-Historienmengen; AS_h tut dies nicht. AS_h dient als Äquivalenzbrücke zur primären Definition, nicht als Ersatz für konsistente Historien.

Durchgerechneter Vergleich: Wo AS und Quanten-Darwinismus-Redundanz divergieren

Die vorstehenden Unterscheidungen sind strukturell, aber ihre Kraft zeigt sich am besten in einem konkreten System, in dem AS und Quanten-Darwinismus-Redundanz sich unabhängig bewegen.

Die folgenden zwei Fälle teilen identische Quantendynamik; sie unterscheiden sich nur in der Anzahl der Umgebungsfragmente und der Anzahl der Zeigersektoren.

Fall 1: Hohe Redundanz, AS gleich null. Ein Qubit S mit Zeigerbasis $\mathcal{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ wird im reinen Zeigerzustand $|0\rangle$ präpariert.

Die Umgebung besteht aus N = 1000 Fragmenten, von denen jedes unabhängig aufzeichnet, dass sich das System im Sektor $|0\rangle$ befindet.

Die Quanten-Darwinismus-Redundanz beträgt $R\delta \approx 1000$: die klassische Information „das System befindet sich in $|0\rangle$“ wird über tausend Umgebungsfragmente verbreitet, und jeder kleine Bruchteil der Umgebung genügt, um den Systemzustand zu bestimmen.

Jedoch sind die Sektorgewichte $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. Die Shannon-Entropie $H(\{p_i\}) = 0$ und daher AS = 0. Keine Verzweigung existiert.

Die Umgebung hat ein einzelnes, bestimmtes Ergebnis mit extremer Redundanz aufgezeichnet, aber es gibt keine protokollstrukturierte Irreversibilität zu messen.

Fall 2: Null Redundanz, maximales AS. Ein Vier-Niveau-System S mit Zeigerbasis $\mathcal{O} = \{\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4\}$ wird in einer gleichen Superposition präpariert und dann durch Kopplung an ein einzelnes Umgebungsfragment E vollständig dephasiert.

Die Sektorgewichte sind $p_i = 1/4$ für alle i. Die Quanten-Darwinismus-Redundanz beträgt $R\delta = 1$: nur ein Fragment trägt die klassische Information, und Verlust dieses Fragments zerstört den Zugang.

Aber AS = H({1/4, 1/4, 1/4, 1/4}) / log 4 = log 4 / log 4 = 1. Maximale protokollstrukturierte Verzweigung existiert über vier sich gegenseitig ausschließende Alternativen.

Im Fall 1 ist das System klassisch bestimmt und robust verbreitet, hat aber keine Aktualisierungsstruktur. Im Fall 2 ist das System maximal verzweigt, aber im darwinistischen Sinne fragil.

AS und Redundanz sind daher nicht nur in der Definition verschieden; sie sind operativ unabhängige Größen, die unabhängig voneinander maximiert oder minimiert werden können.

AS vs. von-Neumann-Entropie. Eine ähnliche Divergenz tritt bezüglich der von-Neumann-Entropie S(ρ) auf.

Betrachten Sie einen einzelnen Zeigersektor Π_1 mit Rang $d_i = 100$, wobei der Systemzustand vollständig in diesem Sektor in einem maximal gemischten Intra-Sektor-Zustand eingeschlossen ist.

Die von-Neumann-Entropie beträgt $S(\rho) = \log 100$, was groß ist. Aber AS = $H(\{1\}) / \log 1 = 0$, da das gesamte Gewicht in einem Sektor liegt.

Umgekehrt hat ein Zwei-Sektor-System mit Rang-1-Projektoren und gleichen Gewichten $p_0 = p_1 = 1/2$ $S(\rho) = \log 2$ und AS = 1. Die von-Neumann-Entropie verfolgt die Gesamtunsicherheit einschließlich Intra-Sektor-Entartung; AS verfolgt ausschließlich Inter-Sektor-Verzweigung.

Sie beantworten verschiedene Fragen.

Operator-Horizont vs. Zweiter Hauptsatz

Der Zweite Hauptsatz drückt das typische Wachstum der Entropie unter makroskopischen Dynamiken aus.

Der in Abschnitt A3 eingeführte Operator-Horizont definiert stattdessen Irreversibilität als Grenze operativer Zugänglichkeit: ein geometrischer Grenzwert im Zustandsraum, jenseits dessen Wiederherstellung unter begrenzter Kontrollkapazität unmöglich ist.

Irreversibilität ist hier keine Aussage über Wahrscheinlichkeit oder Typizität, sondern über Erreichbarkeit unter zulässigen Operationen. Dieser Begriff gilt gleichermaßen für Quanten-, klassische und abstrakte Kontrollsysteme und ist unabhängig von thermodynamischen Annahmen.

A1.3 — Bereichsklärung

Das Papier schlägt keinen Kollapsmechanismus vor, leitet die Born-Regel nicht ab und setzt keine kosmologische oder gravitationsbezogene Hypothese voraus.

Es isoliert die minimale definitorische und theoremartige Struktur, die erforderlich ist, um irreversible Protokollbildung zu einem wohldefinierten, operativ testbaren Konzept zu machen.

Jede nachfolgende Theorie der Ergebnisselektion oder Bestimmtheit muss auf diesem Fundament aufgebaut werden — oder an ihm scheitern.

A2 — Definitionen

Was folgt, sind die Werkzeuge. Jede Definition benennt eine spezifische Sache und sagt genau, was sie tut. Wenn Sie den Faden verlieren, kehren Sie hierher zurück. Die Definitionen bewegen sich nicht.

A2.1 — D1: Physikalisch realisierbare Grobkörnung $\mathcal{O}$

Sei $\mathcal{H}_s$ der System-Hilbertraum und $\mathcal{H}_e$ seine Umgebung.

Eine physikalisch realisierte Grobkörnung $\mathcal{O}$ ist eine endliche Menge gegenseitig orthogonaler Projektoren $\mathcal{O} = \{\Pi_i\}$, die alle folgenden Bedingungen erfüllen:

$\mathcal{O}$ wird nicht vom Beobachter gewählt. Sie wird von der Physik der Kopplung selektiert. Sie wählen nicht, was gemessen wird. Die Wechselwirkung wählt.

Der entscheidende Punkt: $\mathcal{O}$ ist nicht Ihre Wahl. Es ist die Wahl der Natur. Die Physik der Wechselwirkung bestimmt, was gemessen wird. Sie dürfen die Basis nicht auswählen. Die Kopplung wählt sie für Sie.

Berechnungsanmerkung. In der Praxis wird die physikalisch realisierbare Grobkörnung als die stabile Algebra identifiziert, die von den Zeigerobservablen des Wechselwirkungs-Hamiltonians erzeugt wird — beispielsweise über das Vorhersagbarkeitssieb (Zurek, 1993) oder Stabilitätsanalyse unter der System-Umgebungs-Kopplung.

Definition D5 (Operative Invarianz) testet dann die Robustheit über alle ko-zulässigen Kandidaten, die diese Selektion überleben.

Die Identifikation der Zeigeralgebra für einen gegebenen Hamiltonian ist ein Forschungsproblem, kein geschlossener Algorithmus; D5 wandelt diese Offenheit in eine falsifizierbare Bedingung um, anstatt sie als Mehrdeutigkeit zu belassen.

A2.2 — D2: Dephasierungsabbildung $\Delta\mathcal{O}$

Gegeben sei eine Dichtematrix ρ auf $\mathcal{H}_s$. Die Dephasierungsabbildung relativ zu $\mathcal{O}$ wird definiert als $\Delta\mathcal{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$. Sie entfernt Quanteninterferenz zwischen Protokollsektoren und bewahrt klassische Wahrscheinlichkeiten.

Kritische Klärung. Achten Sie darauf — hier entsteht die meiste Verwirrung. $\Delta\mathcal{O}$ misst nicht Unwissenheit.

Sie erzwingt die Projektion auf die Protokollalgebra und isoliert Entropie, die irreversibler Verzweigung zuschreibbar ist, anstatt mangelndem Wissen. Dieser Schritt verhindert die Vermischung klassischer Unsicherheit mit physikalischer Aktualisierung.

A2.3 — D3: Aktualisierungszustand — Primäre Definition

Aussage der Definition

Sei ρ die reduzierte Dichtematrix eines Systems nach Herausspuren unzugänglicher Freiheitsgrade. Sei $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ eine physikalisch realisierbare Grobkörnung, selektiert durch System-Umgebungs-Wechselwirkung (Definition D1).

Definiere die Dephasierungsabbildung relativ zu dieser Protokollalgebra: $\Delta\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$. Der Aktualisierungszustand (AS) wird definiert als AS = S_eff / S_max, wobei S_eff die unten definierte effektive Protokollentropie ist.

Effektive Entropie. Wenn Protokollsektoren Π_i Rang größer als eins haben, zerlegt sich die dephasierte Entropie, wobei $p_i = Tr(\Pi_i \rho)$ und σ_i der normalisierte Intra-Sektor-Zustand ist. AS verfolgt nur Inter-Sektor-Verzweigung.

Was innerhalb jedes Sektors geschieht, ist für AS unsichtbar — absichtlich. Die in AS eingehende effektive Entropie ist definiert mit nach Konstruktion verworfener Intra-Sektor-Entropie. Für Rang-1-Sektoren gilt $S(\Delta\mathscr{O}(\rho)) = H(\{p_i\})$ und keine Unterscheidung tritt auf.

Rang-1-Vereinfachung. Für Rang-1-Sektoren (reine Zeigerzustände) vereinfacht sich die Definition zu: AS = $H(\{p_i\})$ / log N, wobei H die Shannon-Entropie und N = $|\mathscr{O}|$ die Anzahl der Protokollsektoren ist.

Normierung und physikalische Schranken

Sei $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ die physikalisch realisierbare Protokollalgebra mit Gesamtdimension $d\mathscr{O} \equiv \Sigma_i$ rang(Π_i). Definiere: S_max($\mathscr{O}$) = log $d\mathscr{O}$, S_min($\mathscr{O}$) = 0, wobei das Minimum dem Fall entspricht, dass alles Gewicht in einem einzelnen Protokollsektor liegt.

Entscheidende Klärung. S_min($\mathscr{O}$) = 0 wird erreicht, wann immer der zugängliche Zustand des Systems rein ist und in einem einzelnen Protokollsektor eingeschlossen ist, selbst wenn Π_i einen Rang größer als eins hat.

Interne Entartung oder unüberwachte Freiheitsgrade innerhalb eines Sektors tragen nicht zur Aktualisierung bei. AS verschwindet daher bei vollständiger Selektion in einen einzelnen Protokollsektor, unabhängig vom internen Rang dieses Sektors.

Interpretation: Die AS-Inversion

Warum dephasierungsrelative Entropie (und nicht Reinheit allein). Reinheit $Tr(\rho^2)$ vermischt zwei verschiedene Situationen: ein System, das nie kohärent war, aber klassisch gemischt ist aufgrund von Unwissenheit, und ein System, das kohärent war und irreversibel in protokollkonsistente Alternativen dekohäriert ist.

Beide können dieselbe Reinheit teilen. Nur die zweite repräsentiert Aktualisierung. Durch Anwendung von $\Delta\mathscr{O}$ vor der Entropieberechnung isoliert die Definition die Unterdrückung von Interferenz relativ zu physikalisch realisierten Protokollen. Unwissenheit allein zählt nicht als Aktualisierung.

Operative Bedeutung

AS beantwortet eine Frage und nur eine: In welchem Maß hat das System protokollstrukturierte Festlegung über die Alternativen entwickelt, die seine physikalische Umgebung unterscheiden kann?

Denken Sie es so. Eine rotierende Münze hat AS = 1 — maximale Verzweigung, beide Seiten gleich möglich. Eine gelandete Münze hat AS = 0 — eine Seite, keine Alternativen.

AS misst, wie viel Rotation übrig ist. Nicht welche Seite landen wird. Nur: wie viel Rotation.

Es sagt Ihnen nicht, welches Ergebnis eintreten wird. Es sagt Ihnen nicht, wann. Es sagt Ihnen, wie viel Verzweigung jetzt existiert. Das ist alles.

Entscheidend: AS wird aus dem dephasierten Zustand $\Delta\mathscr{O}(\rho)$ berechnet, nicht direkt aus dem physikalischen Zustand ρ. Ein System kann AS = 1 haben, bevor Dekohärenz physikalisch stattgefunden hat, weil die Sektorgewichte des dephasierten Zustands bereits maximal verteilt sind.

AS misst Verzweigungsstruktur, nicht Dekohärenzfortschritt; letzterer wird durch die Umkehrunmöglichkeitsfläche (D13) verfolgt.

Klärung. AS misst Inter-Sektor-Verzweigungsstruktur in der Protokollalgebra. Es misst nicht von sich aus operative Irreversibilität, die separat durch Erreichbarkeitsverlust bestimmt wird (Definition D13, Abschnitt A4.1).

AS ist als Skalar definiert. Aber der Raum, den es misst — der Raum möglicher Protokollkonfigurationen — ist ein genuiner Freiheitsgrad.

Im vollständigen Corpus (AP10) ist es die fünfte Dimension: drei räumliche, eine zeitliche, eine Aktualisierungsdimension. Die Mannigfaltigkeit lebt in 3+1 Dimensionen; der Quantensektor lebt in der fünften.

Jedes Protokoll wird aus der Aktualisierungsdimension in die Mannigfaltigkeit geschrieben. AS misst, wie weit entlang dieser Dimension ein System fortgeschritten ist: von reiner Möglichkeit (AS = 0 in einem einzelnen Sektor) durch maximale Verzweigung (AS = 1).

Diese Interpretation wird nicht von den Definitionen in A0–A3 gefordert, die in sich abgeschlossen sind. Sie wird als strukturelle Orientierung für Leser angeboten, die AP01 im breiteren Corpus verorten.

Die fünfte Dimension geht der Mannigfaltigkeit voraus — sie ist die Vorbedingung für die Existenz der Mannigfaltigkeit — aber sie ist nicht weniger real, weil sie vorausgeht. Sie ist die Dimension, aus der Physik geschrieben wird.

Bereich und Kill-Switch

AS wird relativ zu einer Grobkörnung definiert. Absolutes, basisfreies AS ist bedeutungslos. Physikalische Legitimität wird durch Definition D5 (Operative Invarianz) erzwungen: wenn AS über experimentelle Toleranz hinaus zwischen physikalisch realisierbaren $\mathcal{O}$ variiert, scheitert das Argument.

Dies ist die eingebaute Abbruchbedingung.

Durchgerechnetes Beispiel: Zwei-Qubit-Dephasierung

Zahlen machen Abstraktionen real. Folgen Sie diesem Beispiel, und Sie werden AS besser verstehen als jede Menge Definitionslektüre bieten kann.

Betrachten Sie zwei Qubits, S_1 und S_2, jedes an ein unabhängiges Umgebungsfragment gekoppelt, mit Zeigerbasis $\mathcal{O} = \{\Pi_{00}, \Pi_{01}, \Pi_{10}, \Pi_{11}\}$ wobei $\Pi_{ij} = |ij\rangle\langle ij|$ und i, j ∈ {0, 1}. Die Protokollalgebra hat $d_t = 4$ Sektoren.

Anfangszustand: $|\psi(0)\rangle = (|00\rangle + |01\rangle + |10\rangle + |11\rangle)/2 \otimes |E_0\rangle$. Der reduzierte Zustand nach Dephasierung ist $\Delta_t(\rho_s) = \mathrm{diag}(¼, ¼, ¼, ¼)$. Sektorgewichte: $p_{ij} = ¼$ für alle (i,j).

Effektive Entropie: S_eff = H({¼, ¼, ¼, ¼}) = log 4. Normierung: S_max = log 4. Daher AS = log 4 / log 4 = 1. Maximale Verzweigung über vier Protokollsektoren.

Nun nehmen Sie an, nur S_1 hat dekohäriert, während S_2 kohärent bleibt. Der zugängliche Zustand ist $\rho_s = ½(|0\rangle\langle 0| \otimes |+\rangle\langle +|) + ½(|1\rangle\langle 1| \otimes |+\rangle\langle +|)$ wobei $|+\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2}$. Nach Dephasierung in der Vier-Sektor-Basis: $p_{00} = p_{01} = p_{10} = p_{11} = ¼$.

AS = 1 erneut. Die Sektorgewichte sind trotz partieller Dekohärenz identisch. Dies illustriert den Kernpunkt: AS verfolgt die Verzweigungsstruktur des dephasierten Zustands, nicht den physikalischen Fortschritt der Dekohärenz.

Die Unterscheidung zwischen diesen zwei Situationen wird nicht von AS erfasst, sondern von der Umkehrunmöglichkeitsfläche (D13): im ersten Fall hat das System sie überschritten; im zweiten nicht.

Schließlich nehmen Sie an, Dekohärenz ist abgeschlossen, aber ein Sektor wurde durch Dissipation entvölkert: $p_{00} = ½$, $p_{01} = ¼$, $p_{10} = ¼$, $p_{11} = 0$.

Dann S_eff = H(½, ¼, ¼, 0) = ½ log 2 + ½ log 4 = ½ log 2 + log 2 = ¾ log 2, und AS = (¾ log 2) / log 4 = ¾ = 0,75. Dissipation hat die Verzweigung reduziert.

Dies ist konsistent mit Proposition T1b: nicht-unitale Dynamiken können AS verringern.

A2.4 — D4: Historienbasierte Darstellung von AS (AS_h)

Sei $\{\alpha\}$ eine Menge grobkörniger Historien, definiert durch $\mathscr{O}$, mit Dekohärenzfunktional $D(\alpha, \beta)$.

Definiere die historienbasierte Darstellung des Aktualisierungszustands als $AS_h = H(\{p_a\}) / \log N$, wobei $p_a = D(\alpha, \alpha)$, $H(\{p_a\})$ die Shannon-Entropie und N die Anzahl zulässiger Historien ist.

$AS_h = 0$: eine einzige triviale Historie (keine Verzweigung). $AS_h = 1$: maximale protokollstrukturierte Verzweigung. Unter vollständiger Dekohärenz in der $\mathscr{O}$-Algebra reduziert sich die dephasierte Entropie zu $H(\{p_i\})$.

In diesem Regime stimmt AS_h mit der primären AS-Definition bis auf Normierung überein. Formale Bedingungen für die Äquivalenz werden in Anhang A etabliert.

Wenn Sie dem strukturellen Argument folgen, ist die primäre Definition alles, was Sie brauchen. Die Historiendarstellung existiert für Leser, die im Rahmenwerk konsistenter Historien arbeiten.

Konventionen zu Näherung und operativen Kriterien

Durchgehend in diesem Werk sind qualitative Begriffe wie „effektiv", „operativ" oder „unzugänglich" Kurzschreibweisen für quantitativ definierte Bedingungen.

Effektive Orthogonalität. Zwei Zustände ρ und σ sind effektiv orthogonal genau dann, wenn $\frac{1}{2}\|\rho - \sigma\|_1 \geq 1 - \varepsilon$, für feste operative Toleranz $\varepsilon > 0$.

Operative Unzugänglichkeit. Eine Eigenschaft ist operativ unzugänglich genau dann, wenn keine zulässige CPTP-Abbildung Λ, die auf dem zugänglichen System wirkt, den reduzierten Zustand um mehr als ε in Spurnorm ändern kann: $\|\Lambda(\rho_s) - \rho_s\|_1 \leq \varepsilon$ für alle zulässigen Λ.

Der Parameter ε repräsentiert experimentelle Auflösung und wird innerhalb jeder gegebenen Analyse festgehalten.

A2.5 — D5: Operativer Invarianztest (Kill Switch F0)

Aufstellung

Seien $\mathscr{O}_1 = \{\Pi_i^{(1)}\}$ und $\mathscr{O}_2 = \{\Pi_j^{(2)}\}$ zwei physikalisch realisierbare Grobkörnungen desselben experimentellen Systems, jeweils zulässig unter Definition D1 für dasselbe Präparations- und Kontrollprotokoll.

Sei ρ der aus experimentell zugänglichen Daten erschlossene reduzierte Zustand und $\delta\_exp > 0$ die experimentell gerechtfertigte Toleranz.

Definition D5 (Anforderung operativer Invarianz)

AS ist operativ invariant genau dann, wenn für alle zulässigen Paare ($\mathcal{O}_1$, $\mathcal{O}_2$) und alle experimentell zugänglichen ρ gilt: $|AS(\rho; \mathcal{O}_1) - AS(\rho; \mathcal{O}_2)| \leq \delta\_exp$.

Wenn zwei Grobkörnungen beide physikalisch durch dieselbe System-Umgebungs-Kopplung und Apparaturbeschränkungen realisiert werden, dürfen sie keine inkompatiblen AS-Werte jenseits experimenteller Toleranz liefern.

Falsifikator F0 (Globaler Kill Switch)

Wenn es irgendein experimentell realisierbares System und irgendein ko-zulässiges Paar ($\mathcal{O}_1$, $\mathcal{O}_2$) gibt, sodass wiederholte Versuche $|AS(\rho; \mathcal{O}_1) - AS(\rho; \mathcal{O}_2)| > \delta\_exp$ dauerhaft ergeben, dann ist AS keine wohldefinierte operative Größe und das Argument ist falsifiziert.

Das ist eine globale Abbruchbedingung.

Anmerkungen zum Bereich

Lesen Sie F0 noch einmal. Es ist der wichtigste Satz in diesem Papier. Wenn zwei legitime Messmethoden desselben Systems verschiedene AS-Werte jenseits experimenteller Toleranz ergeben, ist das GESAMTE Programm tot.

Nicht nur dieses Papier. Alles, was darauf aufbaut. Jeder nachfolgende Beweis. Jede ethische Schlussfolgerung. Alles.

So sieht ehrliches Argumentieren aus — es gibt Ihnen die Werkzeuge, um es zu zerstören.

D5 erfordert keine Invarianz unter willkürlichen Verfeinerungen, grob mathematischen Partitionen oder vom Beobachter gewählten Basen. D5 erfordert Robustheit nur über physikalisch realisierte Protokollalgebren innerhalb desselben experimentellen Kontexts.

Scheitern späterer dynamischer Postulate beeinflusst D5 nicht; umgekehrt invalidiert Scheitern von D5 das gesamte AS-Programm.

Durchgerechnetes Beispiel: Operative Invarianz in Circuit QED

Betrachten Sie ein Transmon-Qubit, das dispersiv an einen Mikrowellenresonator gekoppelt ist.

Die System-Umgebungs-Wechselwirkung selektiert die Ladungsparitätsbasis als Zeigeralgebra: $\mathcal{O}_1 = \{|g\rangle\langle g|, |e\rangle\langle e|\}$, wobei $|g\rangle$ und $|e\rangle$ der Grund- und angeregte Zustand des Transmons sind.

Dies ist eine physikalisch realisierbare Grobkörnung im Sinne von D1: sie wird durch den dispersiven Hamiltonian $H\_int = \chi a^\dagger a\, \sigma\_z$ selektiert, der Photonenzahl mit Qubit-Zustand verschränkt.

Betrachten Sie nun eine zweite Grobkörnung, die aus demselben physikalischen Aufbau hervorgeht. Für die dispersive Wechselwirkung erzeugt die bedingte Phasenverschiebung $\varphi = \chi t$ auf dem Kavitätsfeld Zeigerzustände, die die Energieeigenzustände $|g\rangle$, $|e\rangle$ bleiben, unabhängig von den Ansteuerungsparametern.

Jede ko-zulässige Grobkörnung $\mathcal{O}_2$, die aus derselben dispersiven Kopplung hervorgeht, muss daher mit $\mathcal{O}_1$ bis auf Umbenennung der Sektoren übereinstimmen.

Operativer Invarianztest. Präparieren Sie das Qubit im Zustand $|\psi\rangle = \alpha|g\rangle + \beta|e\rangle$ und lassen Sie Dekohärenz über photonenzahlabhängige Dephasierung zu. Der reduzierte Zustand ist $\rho_s = |\alpha|^2|g\rangle\langle g| + |\beta|^2|e\rangle\langle e|$.

$AS(\rho; \mathcal{O}_1) = H(|\alpha|^2, |\beta|^2) / \log 2$. Da $\mathcal{O}_2$ für diese Kopplung mit $\mathcal{O}_1$ übereinstimmt, ist $AS(\rho; \mathcal{O}_2) = AS(\rho; \mathcal{O}_1)$ exakt. D5 ist mit $\delta\_exp = 0$ erfüllt.

Das Beispiel ist absichtlich einfach: in Circuit QED bestimmt die dispersive Kopplung eindeutig die Zeigerbasis, sodass ko-zulässige Grobkörnungen trivial äquivalent sind. Das ist der Punkt.

Operative Invarianz ist am leichtesten in Systemen zu verifizieren, in denen der Kopplungs-Hamiltonian die Zeigeralgebra stark einschränkt.

Die interessanten Tests von D5 entstehen in Systemen mit reichhaltigeren Kopplungsstrukturen — und das sind die Systeme, die das Argument entweder bestätigen oder töten werden, wo mehrere Zeigerkandidaten konkurrieren und kleine Unterschiede in AS über ko-zulässige Basen gegen δ_exp gemessen werden können.

A3 — Theoreme: Irreversibilität und Umkehrunmöglichkeit

Die Definitionen sind gesetzt. Nun die Beweise. Was folgt, kann nicht argumentativ angefochten werden — es kann nur getestet werden.

A3.1 — Theorem T1: Monotonie von AS unter dekohärierenden Dynamiken

Aufstellung

Sei $\rho(t)$ der reduzierte Zustand eines Systems, das unter einer vollständig positiven, spurerhaltenden (CPTP) dynamischen Halbgruppe $\{\mathcal{E}_t\}_{t\geq 0}$ mit Generator $\mathcal{L}$ evolviert.

Sei $\mathcal{O} = \{\Pi_i\}$ eine physikalisch realisierbare Protokollalgebra (Definition D1), und sei $\Delta\mathcal{O}(\rho)$ die zugehörige Dephasierungsabbildung.

Theorem T1 (Aussage)

Hier ist das zentrale Ergebnis von Papier A. Alles davor war Vorbereitung. Alles danach ist Konsequenz.

Das Ergebnis sagt: Unter drei präzise angegebenen Bedingungen kann die Verzweigung nur wachsen. Die Münze kann nicht ent-landen. Die Tinte kann nicht ent-trocknen. Das Protokoll kann nicht ent-geschrieben werden.

Möglichkeit wird Tatsache, und der Übergang ist einseitig.

Nicht weil die Physik die Umkehr verbietet — sondern weil die Bedingungen, die Protokolle erzeugen, die Bedingungen sind, die die Ungleichung gelten lassen.

Der Aktualisierungszustand ist monoton nicht-abnehmend entlang der Evolution $\rho(t)$, vorausgesetzt die folgenden minimal hinreichenden Bedingungen gelten:

(1) Dekohärenz relativ zur Protokollalgebra. Interferenz zwischen Protokollsektoren wird nicht regeneriert: $(d/dt)\, C\mathcal{O}(\rho(t)) \leq 0$, wobei $C\mathcal{O}$ ein beliebiges Kohärenzmonoton ist, das auf $\Delta\mathcal{O}(\rho)$ verschwindet.

Gleichwertig: Nebendiagonalelemente in der $\mathcal{O}$-Basis zerfallen monoton.

(2) Abgeschlossenheit der Protokollalgebra. $\Delta\mathcal{O} \circ \mathcal{E}_t = \mathcal{E}_t \circ \Delta\mathcal{O}$ für alle $t \geq 0$. Dies stellt sicher, dass Populationen in den Protokollsektoren autonom evolvieren, sobald sie dekohäriert sind.

(3) Unitale (mischende) Dynamiken auf der Protokollalgebra. Die Sektorgewichte $p_i(t) = \mathrm{Tr}(\Pi_i\, \rho(t))$ evolvieren unter einer doppelt stochastischen Abbildung: $p(t) = M(t)\, p(0)$, wobei M die Gleichverteilung erhält.

In einfacher Sprache: Die Mischung ist fair. Kein Sektor wird bevorzugt. Die Dynamiken verteilen Wahrscheinlichkeit, anstatt sie zu bündeln.

Schlussfolgerung. Unter den Bedingungen (1)–(3) ist der Aktualisierungszustand monoton entlang dekohärierender, protokollbildender Dynamiken.

Bereich des Theorems. Theorem T1 ist eine bedingte Aussage. Sein Anwendungsbereich ist exakt die Menge der Dynamiken, die die Bedingungen (1)–(3) erfüllen.

Dynamiken außerhalb dieses Bereichs — einschließlich dissipativer, nicht-unitaler oder rückkopplungsgesteuerter Evolution — können AS verringern.

Dies widerspricht dem Theorem nicht; es zeigt an, dass die Dynamiken nicht rein protokollbildend im oben definierten Sinne sind.

Anmerkung zu Neuheit und Bereich. Die Bedingungen (1)–(3) sind hinreichend, aber nicht notwendig. Die Monotonie der Shannon-Entropie unter doppelt stochastischer Mischung ist ein Standardergebnis (Schur-Konvexität), und dieses Papier behauptet nichts anderes.

Neu ist nicht die mathematische Ungleichung, sondern ihre physikalische Anwendung: die Identifikation der Bedingungen, unter denen doppelt stochastische Mischung die korrekte effektive Beschreibung von Dekohärenz in einer physikalisch realisierten Protokollalgebra ist, die Isolierung der Inter-Sektor-Verzweigungsentropie (via Dephasierungsabbildung $\Delta_{\mathcal{O}}$) von thermodynamischer Entropie, und die explizite Ratenschranke (T1a) und Umkehrung (T1b), die die Monotonie in ein diagnostisches Werkzeug verwandeln.

Das Theorem ist eine bekannte Ungleichung, angewandt in einem neuen physikalischen Kontext; der Beitrag ist der Kontext, nicht die Ungleichung.

Sie sehen ein bekanntes mathematisches Werkzeug, angewandt auf eine neue physikalische Frage — und die Antwort, die es gibt, ist entscheidend.

Lemma T1.1 (Doppelt stochastische Mischung)

Unter den Bedingungen (2) und (3) evolvieren die Sektorgewichte p(t) unter einer doppelt stochastischen Matrix M(t) für alle $t \geq 0$. Der Beweis ist kurz, und er ist der Motor, der alles antreibt.

Beweis. Durch Bedingung (2) kommutiert die Evolution mit der Dephasierung: $\Delta_{\mathcal{O}} \circ \mathcal{E}_t = \mathcal{E}_t \circ \Delta_{\mathcal{O}}$. Daher evolvieren die Diagonalelemente autonom: es existiert eine lineare Abbildung M(t) mit p(t) = M(t) p(0).

Die Abbildung ist stochastisch, weil $\mathcal{E}_t$ spurerhaltend ist: $\Sigma_i\, p_i(t) = 1$ für alle t.

Unitalität (Bedingung 3) bedeutet $\mathcal{E}_t(I/d) = I/d$. Anwendung von $\Delta_{\mathcal{O}}$ auf beide Seiten und Verwendung von Bedingung (2): $\Delta_{\mathcal{O}}(\mathcal{E}_t(I/d)) = \mathcal{E}_t(\Delta_{\mathcal{O}}(I/d)) = \mathcal{E}_t(I/d) = I/d$. In Sektorgewichten ausgedrückt: die Gleichverteilung ist fixiert: $M(t)(1/N, \ldots, 1/N)^T = (1/N, \ldots, 1/N)^T$.

Eine stochastische Matrix, die die Gleichverteilung erhält, ist doppelt stochastisch. □

Das Lemma ist kurz. Seine Konsequenz nicht. Sobald Sie wissen, dass die Mischung doppelt stochastisch ist, erledigt Shannons Ungleichung den Rest.

Die Monotonie von AS folgt aus einer Kette von Implikationen, jedes Glied geschmiedet durch Standardmathematik. Mit Lemma T1.1 etabliert, folgt die Monotonie der Shannon-Entropie unter doppelt stochastischer Mischung als Standardergebnis (Schur-Konvexität von $-H$). Das Theorem folgt.

Der Beweis ist Standardmathematik, angewandt auf einen neuen physikalischen Kontext. Neu ist nicht die Ungleichung, sondern die Erkenntnis, dass protokollbildende Dynamiken exakt die Bedingungen erfüllen, die die Ungleichung gelten lassen.

Interpretation

Wenn Interferenz zwischen protokollunterscheidbaren Alternativen unterdrückt wird, die Protokollalgebra dynamisch geschlossen ist und Protokollsektor-Wahrscheinlichkeiten ohne kohärenten Rückfluss mischen, kann der Informationsreichtum festgelegter klassischer Verzweigung nicht abnehmen.

Dieses monotone Wachstum definiert den Pfeil der Aktualisierung. Sie haben Ihr ganzes Leben innerhalb dieses Pfeils gelebt. Jeder Moment war vorwärts.

Jedes Protokoll war dauerhaft. Das Theorem sagt, warum: Unter den Bedingungen, die Protokolle erzeugen, kann die Verzweigung nur wachsen.

Explizite Bereichsgrenze

Außerhalb dieser drei Bedingungen ist die Garantie nichtig. AS kann unter Kühlung, Zerfall, Relaxation, Rückkopplungssteuerung oder jeder Dynamik abnehmen, die Wahrscheinlichkeit in weniger Sektoren trichtert. Das Theorem beansprucht keine Universalität. Es beansprucht Präzision.

Diese Fälle widersprechen dem Theorem nicht; sie liegen nach Konstruktion außerhalb seines Bereichs.

Warum der Bereich exakt ist

Achten Sie darauf. Es ist der Unterschied zwischen einem echten Theorem und einer Handwedlerei.

AS misst Verzweigung, nicht Bestimmtheit. Dekohärenz erzeugt Verzweigung — AS nimmt zu. Selektion löst Verzweigung auf — AS nimmt ab. T1 gilt nur für die Erzeugungsphase.

Das Theorem behauptet nicht, dass AS immer überall für immer zunimmt. Es behauptet etwas viel Präziseres: Unter exakt diesen drei Bedingungen kann AS nicht abnehmen. Wenn Sie die Bedingungen verletzen, ist die Garantie nichtig.

Die Bedingungen sind keine technischen Details. Sie sind die Physik. Und die Physik ist testbar.

Quantitative Verschärfung: Ratenschranken und Umkehrung

Theorem T1 etabliert Monotonie, quantifiziert aber nicht die Rate, mit der AS sich seinem Gleichgewichtswert nähert, noch charakterisiert es Bedingungen, unter denen AS abnehmen muss. Die folgenden zwei Ergebnisse verschärfen T1 in beide Richtungen.

Korollar T1a (Konvergenzrate)

Unter den Bedingungen (1)–(3) sei die induzierte klassische Dynamik auf den Sektorgewichten durch eine zeitkontinuierliche doppelt stochastische Ratenmatrix W gegeben, sodass $dp/dt = Wp$.

Sei $\lambda_2 < 0$ der zweitgrößte Eigenwert von W (die Spektrallücke). Dann erfüllt die Abweichung von AS von seinem Gleichgewichtswert $AS_{eq} = 1$: $|AS(t) - 1| \leq C \cdot \exp(\lambda_2 t)$, wobei C von der Anfangsbedingung abhängt.

Ableitung: Für jede Anfangsverteilung p(0) erfüllt Ihre Abweichung von der Gleichverteilung: $||p(t) - \pi||_1 \leq \sqrt{N} \cdot \exp(\lambda_2 t)$ *(durch Standard-Kontraktionsschranken für reversible Markov-Ketten).*

Die Shannon-Entropie H(p) ist Lipschitz in der L_1*-Norm auf dem Wahrscheinlichkeitssimplex:* $|H(p) - H(q)| \leq ||p - q||_1 \cdot \log N$ *(Stetigkeitsschranke für Entropie; Cover und Thomas 2006).*

Daher $|AS(t) - 1| = |H(p(t)) - \log N| / \log N \leq ||p(t) - \pi||_1 \leq \sqrt{N} \cdot \exp(\lambda_2 t)$*, wobei die Konstante* $C = \sqrt{N}$ *die Dimensionsabhängigkeit absorbiert.*

Die Konvergenzrate zum maximalen Verzweigen wird daher durch die Spektrallücke der Mischungsdynamik kontrolliert, nicht durch eine intrinsische Eigenschaft der AS-Definition.

Für das symmetrische d-Sektor-Modell mit gleichförmiger Inter-Sektor-Mischungsrate w ist die Spektrallücke $\lambda_2 = -dw$, und die Konvergenzzeit zu $AS \approx 1$ skaliert als $\tau \sim 1/(dw)$.

Dies verbindet AS-Wachstum direkt mit der physikalischen Dekohärenzrate der Protokollalgebra.

Je schneller die Umgebung das System aufzeichnet, desto schneller steigt AS. Sie können dies messen. Die Spektrallücke ist eine physikalische Größe. Die Konvergenzrate ist eine Vorhersage.

Proposition T1b (Umkehrung: Bedingungen für AS-Abnahme)

Wenn Bedingung (3) verletzt wird — insbesondere wenn die induzierten klassischen Dynamiken auf den Sektorgewichten durch eine stochastische Matrix M gesteuert werden, die nicht doppelt stochastisch ist, mit stationärer Verteilung $\pi \neq$ Gleichverteilung — dann existieren Anfangsverteilungen $p(0)$, für die AS strikt abnimmt.

Insbesondere, wenn $p(0)$ π majorisiert, kann die Shannon-Entropie $H(p(t))$ zunehmen, aber wenn π $p(0)$ majorisiert, dann kann $H(p(t))$ gegen $H(\pi) < \log d$ abnehmen.

Physikalisch entspricht Proposition T1b dissipativen Dynamiken, die Populationen bevorzugt in eine Teilmenge der Protokollsektoren trichtern (z.B. Amplitudendämpfung, spontaner Zerfall in einen Grundzustandssektor).

Solche Dynamiken verletzen die unitale Bedingung (3) und treiben AS nach unten.

Diese Umkehrung bestätigt, dass Bedingung (3) nicht bloß eine technische Bequemlichkeit ist, sondern eine physikalische Anforderung: Monotonie von AS ist eine Signatur symmetrischer, umgebungsgetriebener Mischung, nicht dissipativer Relaxation.

Wenn AS abnimmt, trichtert etwas Wahrscheinlichkeit in weniger Zweige — Kühlung, Zerfall, Relaxation. Wenn AS zunimmt, schreibt die Umgebung Protokolle. Die Richtung sagt Ihnen, welcher Prozess dominant ist.

Zusammenfassung. T1, T1a und T1b zusammen etablieren, dass AS-Monotonie der exakte Fingerabdruck doppelt stochastischer protokollbildender Dynamiken ist. T1 gibt die Richtung, T1a gibt die Rate, und T1b gibt die Umkehrung.

Keine weitere Charakterisierung der Monotonie wird benötigt oder beansprucht.

A3.2 — Der Operator-Horizont: Umkehrunmöglichkeit als Ungleichung (Theorem T2)

Aufstellung

Sei $x(t) \geq 0$ eine Skalarvariable, die den Grad aufrechterhaltener Struktur eines Systems repräsentiert — Abweichung von seinem ungewarteten Gleichgewicht.

Angenommen deterministische Dynamiken: $dx/dt = -a\, x + u$, wobei a eine intrinsische Zerfalls-/Driftrate zum Gleichgewicht ist, u eine Steuer-/Wartungseingabe, und $u_{max} \geq 0$ eine harte Obergrenze der Steuerkapazität.

Theorem T2 (Operator-Horizont)

Sie haben dieses Theorem in Ihrem Körper gespürt. Jedes System mit begrenzten Ressourcen — jeder Körper, jedes Unternehmen, jede Zivilisation — hat einen Punkt, jenseits dessen keine Strategie es retten kann.

Das Theorem benennt diesen Punkt. Definiere den Operator-Horizont x_h = u_max / a.

Wenn zu einem Zeitpunkt t_0 das System $x(t_0) > x_h$ erfüllt, dann gilt für alle zulässigen Steuerungen u(t): x(t) nimmt ab. Sobald Sie den Horizont überschreiten, nimmt x(t) ab, egal was Sie tun. Maximaler Aufwand verlangsamt den Niedergang, kann ihn aber nicht umkehren. Wiederherstellung allein durch Steuerung ist unmöglich.

Beweis

Aus der Dynamik: dx/dt = −a x + u ≤ −a x + u_max.

Wenn x > u_max/a, dann −a x + u_max < 0, folglich dx/dt < 0. Bei $x = x_h$ ergibt maximale Steuerung dx/dt = 0; Stetigkeit impliziert monotone Annäherung an x_h von oben. □

Interpretation

x_h ist eine Kapazitätsgrenze, keine physische Mauer. Es ist die maximal aufrechterhaltbare Struktur bei maximalem Wartungsaufwand.

Jenseits von x_h zerfällt das System zum Horizont hin ungeachtet der Strategie: Irreversibilität entsteht aus der Unzulänglichkeit zulässiger Steuerung, nicht aus dem Verbot umgekehrter Dynamiken.

Verallgemeinerungen

Nichtlinearer Zerfall: Wenn dx/dt = −g(x) + u mit g(0) = 0, g(x) wachsend, wird der Horizont implizit durch $g(x_h)$ = u_max definiert.

Ihr Körper operiert unter nichtlinearem Zerfall — die Wartungskosten der Gesundheit steigen mit dem Alter, und der Horizont verschiebt sich. Das qualitative Umkehrunmöglichkeitsergebnis ist unverändert.

Zeitabhängige Kapazität: Wenn a(t) oder u_max(t) variiert, definiert $x_h(t)$ = u_max(t)/a(t) einen zeitabhängigen Horizont; Überschreitung des augenblicklichen Horizonts für ausreichende Zeit ergibt praktisches Umkehrunmöglichkeitsverhalten.

Sie wissen das. Sie haben einen Garten zugesehen, wie er über den Punkt hinaus verwilderte, an dem Sie ihn pflegen konnten. Sie haben Schulden zusehen, wie sie über den Punkt hinaus wuchsen, an dem das Einkommen sie bedienen konnte.

Sie haben einem Körper zugesehen, wie er über den Punkt hinaus verfiel, an dem Medizin ihn wiederherstellen konnte. Die Mathematik bestätigt, was Ihre Erfahrung bereits weiß: Es gibt eine Linie, und sobald Sie sie überschreiten, reicht Anstrengung nicht aus.

Klassische Analogie: Betrachten Sie einen undichten Eimer mit einer begrenzten Nachfüllrate. Der Horizont ist der maximale Füllstand, der bei maximalem Pumpen aufrechtzuerhalten ist. Einmal darüber, läuft der Eimer leer, ungeachtet des Aufwands.

A3.3 — Umkehrunmöglichkeitsflächen und operative Irreversibilität

Aufstellung

Der skalare Horizont ist der einfache Fall. Reale Systeme haben viele Dimensionen. Die Verallgemeinerung verwendet die Lebensfähigkeitstheorie (Aubin, 1991) — die Mathematik des Überlebens unter Beschränkungen.

Definition D6: Zustandsraum und zulässige Dynamiken. Sei $X \subseteq \mathbb{R}^n$ der Zustandsraum. Zulässige Steuerungen erfüllen $u(t) \in U$, wobei U kompakt ist. Dynamiken: $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$, mit f lokal Lipschitz-stetig in x. Sei $R \subset X$ die wiederherstellbare (sichere) Menge.

Definition D7: Lebensfähigkeitskern. $\mathrm{Viab}(R) \equiv \{ x_0 \in R \mid \exists\, u(\cdot) \in U \text{ s.d. } x(t; x_0, u) \in R\ \forall t \geq 0 \}$. Zustände, von denen aus das System mittels zulässiger Steuerung unbegrenzt in R gehalten werden kann.

Definition D8: Einfangbecken. $\mathrm{Cap}(R) \equiv \{ x_0 \in X \mid \forall\, u(\cdot) \in U, \exists\, t \geq 0: x(t; x_0, u) \notin R \}$. Zustände, von denen aus der Austritt aus R unter allen zulässigen Steuerungen unvermeidlich ist.

Definition D9: Umkehrunmöglichkeitsfläche. $\Sigma_h \equiv \partial\, \mathrm{Viab}(R)$. Dies ist die geometrische Verallgemeinerung des skalaren Horizonts x_h.

Proposition P3.3

Unter den Standard-Lebensfähigkeitsbedingungen (lokale Lipschitz-Stetigkeit von f, kompaktes U) gilt: (1) Viab(R) besteht aus Zuständen, von denen mindestens eine zulässige Steuerung den Verlust unbegrenzt vermeidet; Cap(R) besteht aus Zuständen, von denen alle zulässigen Steuerungen in endlicher Zeit zum Verlust führen.

Das Überschreiten von Σ_h überführt das System von einer Region, in der Wiederherstellung erreichbar ist, in eine Region, in der sie es nicht ist. Vorbehalt: Viab(R) und Cap(R) partitionieren X bis auf die Grenze Σ_h. Grenzzustände können marginal sein.

Definition D10: Operative Irreversibilität (Quantifiziert). Ein Zustand x_0 ist operativ irreversibel bezüglich R genau dann, wenn $x_0 \notin \mathrm{Viab}(R)$. Der umgekehrte Übergang zu R existiert unter zulässigen Steuerungen nicht.

Operative Irreversibilität hängt von Erreichbarkeit unter Beschränkungen ab, nicht von mikroskopischer Zeitumkehrsymmetrie. Der Unterschied ist entscheidend. Eine zerbrochene Vase ist nicht irreversibel, weil die Physik den Zusammenbau verbietet.

Sie ist irreversibel, weil Sie nicht die Ressourcen, die Präzision oder die Zeit haben, sie zusammenzubauen. Irreversibilität handelt von dem, was Sie tun können, nicht von dem, was die Natur verbietet.

Konsistenz mit A3.2

A3.2 wird als Spezialfall wiedergewonnen: $n = 1$, $f(x, u) = -ax + u$, $R = [0, x_h]$. Dann $\mathrm{Viab}(R) = [0, x_h]$, $\Sigma_h = \{x_h\}$.

Der skalare Horizont ist exakt die eindimensionale Umkehrunmöglichkeitsfläche.

Sie haben nun die vollständige Umkehrunmöglichkeitsgeometrie. Der skalare Horizont (T2) ist der einfache Fall. Der Lebensfähigkeitskern (D7) ist der allgemeine Fall. Die Umkehrunmöglichkeitsfläche (D9) ist die Grenze zwischen dem, wo Sie sich noch erholen können, und dem, wo Sie es nicht können.

Jedes System, das Ihnen je wichtig war — Ihr Körper, Ihre Beziehungen, Ihre Arbeit — hat diese Geometrie. Die Mathematik benennt, was Ihre Erfahrung bereits weiß.

Robustheitsanmerkungen

Bei stochastischer Einwirkung ersetze Lebensfähigkeit durch fast-sichere oder probabilistische Lebensfähigkeit; Σ_h wird eine probabilistische Grenze. Das Konzept ist unverändert; nur der Quantor ändert sich. $\mathrm{Viab}(R)$ und Σ_h sind berechenbar über Hamilton-Jacobi-Erreichbarkeitsmethoden.

A4 — Quantenmechanische Instantiierung

Die Abschnitte A0–A3 sind abgeschlossen. Sie stehen für sich allein. Was folgt, fügt unabhängig falsifizierbare Postulate hinzu — jedes einzelne eine Einladung, einen bestimmten Anspruch zu zerstören. Wenn ein Postulat in diesem Abschnitt fällt, überlebt alles darüber.

Sie verlieren die Erweiterung, nicht das Fundament.

Die Abschnitte A0–A3 etablieren Definitionen und Theoreme, die in sich abgeschlossen sind: sie hängen nur von operativen Definitionen, Standard-Quantenmechanik und Lebensfähigkeitstheorie ab. Nichts in A0–A3 erfordert den Inhalt von A4 oder A5.

Der Übergang von Theorem zu Postulat wird an jeder Einführungsstelle explizit markiert.

A4.1 — Operative Irreversibilität in offenen Quantensystemen

Die Lebensfähigkeitsgeometrie von Abschnitt A3 trifft nun auf die Quantenmechanik. Das Abstrakte wird konkret.

Aufstellung: Zugängliche Dynamiken. Sie haben Zugang zum System, aber nicht zur Umgebung. Diese Einschränkung ist die Quelle der Irreversibilität.

Der Gesamt-Hilbertraum faktorisiert als $\mathscr{H} = \mathscr{H}_s \otimes \mathscr{H}_e$, wobei der Gesamtzustand unter H_{se} unitär evolviert. Der zugängliche Systemzustand — derjenige, den Sie tatsächlich messen können — ist $\rho_s(t) = \mathrm{Tr}_e[U(t)\, \rho_{se}(0)\, U^\dagger(t)]$.

Zulässige Operationen sind auf systemlokale CPTP-Abbildungen beschränkt — die Operationen, die Sie tatsächlich am System ausführen können, ohne auf die Umgebung zuzugreifen.

Definition D11: Kohärenz-wiederherstellbare Zustände. Ein Systemzustand ρ_s ist kohärenz-wiederherstellbar relativ zu $\mathscr{O}$ genau dann, wenn eine zulässige CPTP-Abbildung Λ existiert mit $\|\Lambda(\rho_s) - \rho\_coh\|_1 \leq \varepsilon$, für einen Zustand ρ_coh mit $\Delta\mathscr{O}(\rho\_coh) \neq \rho\_coh$.

Definition D12: Wiederherstellbare Menge und Lebensfähigkeitskern. $K\varepsilon(\mathscr{O}) := \{ \rho_s \mid \rho_s$ ist kohärenz-wiederherstellbar $\}$. $K\varepsilon(\mathscr{O})$ ist der Lebensfähigkeitskern der Kohärenz unter zulässiger Steuerung. Zustände außerhalb von $K\varepsilon(\mathscr{O})$ sind operativ irreversibel.

Proposition P4.1: Herausspuren induziert Erreichbarkeitsverlust.

Wenn System-Umgebungs-Wechselwirkung Korrelationen erzeugt, sodass verschiedene Protokollsektoren mit orthogonalen (oder spurabstandsgetrennten) Umgebungszuständen korreliert werden, dann gilt für hinreichend kleines ε: $\rho_s(t) \notin K\varepsilon(\mathscr{O})$.

Sobald Welcher-Protokoll-Information in unzugänglichen Freiheitsgraden kodiert ist, kann keine zulässige Operation auf S allein die Kohärenz zwischen Protokollsektoren wiederherstellen.

Sie haben das gespürt. Sobald die Worte Ihren Mund verlassen, können Sie sie nicht un-sagen. Die Umgebung hat sie aufgezeichnet — in der Erinnerung der anderen Person, in den Vibrationen der Luft, in der elektromagnetischen Strahlung, die den Raum mit Lichtgeschwindigkeit verließ.

Keine Operation an Ihrem Mund allein kann rückgängig machen, was die Umgebung jetzt hält.

Definition D13: Operative Umkehrunmöglichkeitsfläche (Quanten). Die operative Umkehrunmöglichkeitsfläche relativ zu $\mathcal{O}$ ist die Grenze $\partial K_\varepsilon(\mathcal{O})$.

Das Überschreiten dieser Grenze überführt das System von einer Region, in der Kohärenz wiederherstellbar ist, in eine Region, in der sie es nicht ist. Irreversibilität wird mit Erreichbarkeitsverlust identifiziert. Nicht mit Energiedissipation. Nicht mit Entropiezunahme. Sondern mit der Tatsache, dass Sie nicht zurückkommen können.

Interpretation. Operative Irreversibilität in der Quantenmechanik entsteht nicht aus Nicht-Unitärität, sondern aus eingeschränktem Zugang.

Das Herausspuren unzugänglicher Freiheitsgrade entfernt Zustände aus der wiederherstellbaren Menge K_ε und erzeugt eine Umkehrunmöglichkeitsfläche im Zustandsraum, exakt analog zu den Operator-Horizonten von Abschnitt A3.

A4.2 — Objektive Aktualisierungskanäle und Selektionsdynamik

Unmöglichkeit deterministischer Selektion durch lineare CPTP-Dynamiken.

Proposition. Keine deterministische, lineare CPTP-Abbildung, die auf den Systemzustand wirkt, kann eine diagonale Mischung über Protokollsektoren in einen einzelnen realisierten Sektor in einzelnen Durchläufen transformieren.

Lineare CPTP-Evolution erhält konvexe Mischungen: $\mathcal{E}(\Sigma_i\, p_i\, \rho_i) = \Sigma_i\, p_i\, \mathcal{E}(\rho_i)$. Jede lineare CPTP-Abbildung, die identisch auf jede Komponente wirkt, erhält die Mischungsstruktur und kann in einzelnen Realisierungen keine Einzelergebnis-Bestimmtheit liefern.

Jeder Mechanismus, der eine dekohärierte Mischung auflöst — jeder Mechanismus, der die Bestimmtheit erzeugt, die Sie erleben — zu einem einzelnen realisierten Zweig muss entweder eine stochastische Entfaltung oder eine explizit nichtlineare effektive Evolution auf der Ebene einzelner Trajektorien umfassen.

Lesen Sie das noch einmal. Standard-Quantenmechanik — linear, deterministisch, spurerhaltend — kann in einzelnen Durchläufen keine Bestimmtheit erzeugen. Etwas anderes ist erforderlich.

Definition D14: Dekohärenz vs. Selektion.

Dekohärenz unterdrückt Interferenz zwischen protokollunterscheidbaren Alternativen und ergibt eine stabile diagonale Mischung in der Protokollalgebra $\mathcal{O}$. Selektion ist der weitere Übergang von einer diagonalen Mischung zu einem einzelnen realisierten Zweig.

Dekohärenz reicht für Irreversibilität. Selektion ist erforderlich für Bestimmtheit. Sie leben in einer bestimmten Welt. Etwas selektiert.

Dies sind verschiedene Prozesse. Sie erleben sie als verschieden. Der Formalismus bestätigt Ihre Erfahrung.

Postulat P: Objektiver Aktualisierungskanal.

Das Papier postuliert einen objektiven Aktualisierungskanal, der auf den reduzierten Zustand nach Dekohärenz wirkt. Die Strukturellen Anforderungen (S0–S4):

(S0) Aktivierungsbedingung. $A_{\mathcal{O}} \approx 0$ bis die Dekohärenzbedingung (D13) innerhalb der Toleranz ε erfüllt ist. Selektion aktiviert sich erst, nachdem Zweige operativ verschieden sind.

(S1) Protokollalgebra-Lokalität. $A_{\mathcal{O}}(\rho_s) = A_{\mathcal{O}}(\Delta_{\mathcal{O}}(\rho_s))$. Selektion erzeugt nie Interferenz.

(S2) Sektor-Fixpunkte. $A_{\mathcal{O}}(\Pi_i \rho_s \Pi_i) = 0$ für alle i. Sobald ein Zweig realisiert ist, hören die Dynamiken auf.

(S3) Kontraktivität (Einzeldurchlauf-Auflösung). Unter der stochastischen Entfaltung ist die Shannon-Entropie $H(\{p_i\})$ ein Supermartingal: sie nimmt entlang einzelner Trajektorien fast sicher ab.

(S4) Born-Randbedingung. Für ein Ensemble identischer Präparationen beim Beginn der Selektion konvergiert die Verteilung realisierter Zweige zu $\{p_i\}$. S4 ist eine Randbedingung, keine Ableitung.

Beachten Sie, was dies sagt und nicht sagt. Es erklärt nicht, warum die Born-Regel gilt. Es sagt: Was auch immer Selektion ist, sie muss auf Ensembleebene Born-Statistiken erzeugen. Die Beschränkung ist strukturell. Die Erklärung ist das Problem eines anderen.

Fünf strukturelle Anforderungen. Kein Mechanismus — eine Schnittstelle. Was auch immer Selektion IST, sie muss diese fünf Beschränkungen erfüllen. Die Beschränkungen sind testbar. Der Mechanismus ist Sache der Natur.

Beziehung zum Aktualisierungszustand. Selektion reduziert AS.

Dekohärenz erhöht AS, indem sie protokollstrukturierte Verzweigung erzeugt (A3.1). Selektion verringert AS, indem sie diese Verzweigung in eine einzige realisierte

Historie kollabiert. Es gibt keinen Widerspruch: AS misst Verzweigungsreichtum, nicht Ergebnisbestimmtheit.

Dekohärenz öffnet den Fächer. Selektion schließt ihn. AS verfolgt den Fächer.

Falsifizierbarkeit.

F1 (Zeigerversagen): Selektion respektiert die Protokollalgebra $\mathcal{O}$ nicht.

F2 (Born-Verletzung): Ensemblestatistiken realisierter Zweige weichen von $\{p_i\}$ ab.

F3 (Kontextabhängigkeit): Selektion hängt von Beobachtereingriff ab statt von objektiven Dynamiken.

Scheitern des Postulats invalidiert weder AS noch T1–T2 noch A4.1.

A4.3 — Physikalische Beschränkungen der Selektionsraten (Gravitation als Begrenzer)

Definition D15: Gravitationelle Selbstenergie-Unterscheidbarkeit. Seien zwei dekohärierte Protokollsektoren i und j mit Masse-Energie-Dichten $\rho_i(x)$ und $\rho_j(x)$ gegeben. Die gravitationelle Selbstenergie-Differenz ΔE_G quantifiziert den Grad, in dem die zwei Feldkonfigurationen unterscheidbar sind.

ΔE_G = 0: die zwei Protokolle sind gravitationell ununterscheidbar. Größeres ΔE_G: stärkere gravitationelle Unterscheidbarkeit.

Postulat G: Gravitationsbegrenzte Selektionsrate.

Die objektive Selektionsrate zwischen zwei Protokollsektoren ist nach oben durch ihre gravitationelle Unterscheidbarkeit begrenzt: $\lambda_{ij} \leq \Delta E\_G/\hbar$.

Die Schranke ist eine begrenzende Ungleichung, nicht eine Gleichung. Selektion kann langsamer sein. Selektion kann nicht schneller sein, ohne eine Kopplung aufzurufen, die stärker ist als die Gravitation.

Physikalische Motivation. Diese Schranke wird nicht aus ersten Prinzipien abgeleitet; sie ist ein Postulat. Aber sie ist nicht willkürlich.

Zwei Protokollsektoren mit verschiedenen Masse-Energie-Verteilungen sourchen verschiedene Gravitationsfelder. Wenn diese Sektoren in Superposition sind, befindet sich das Gravitationsfeld selbst in einer Superposition unterscheidbarer Konfigurationen.

Die Energie-Zeit-Relation $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar$ impliziert dann, dass die Mindestzeit, die für irgendeinen physikalischen Prozess erforderlich ist, um diese Unterscheidbarkeit aufzulösen, $\Delta t \sim \hbar/\Delta E\_G$ beträgt.

Denken Sie nach, was das für Alltagsgegenstände bedeutet. Eine Katze in einer Kiste hat enorme gravitationelle Selbstenergie-Differenz zwischen den Konfigurationen

„lebendig“ und „tot“ — verschiedene Masseverteilungen, verschiedene Gravitationsfelder.

Die Schranke sagt: Selektion geschieht fast augenblicklich. Sie sehen nie eine Katze in Superposition, weil die Gravitation es auflöst, bevor Sie es bemerken könnten.

Ein Elektronspin hat im Wesentlichen null gravitationelle Selbstenergie-Differenz zwischen „auf“ und „ab“ — gleiche Masse, gleiche Verteilung. Die Schranke sagt: Selektion ist vernachlässigbar. Elektronen bleiben unbegrenzt in Superposition.

Eine Ungleichung. Sowohl die klassische als auch die Quantenwelt erklärt.

Falsifizierbarkeit.

G1: Selektion tritt schneller auf als $\Delta E_G/\hbar$ für gravitationell unterscheidbare Protokolle. G2: Selektion tritt zwischen Protokollen mit $\Delta E_G = 0$ auf. G3: Selektionsraten skalieren universell mit nichtgravitationellen Parametern über makroskopische Protokolle.

Scheitern hier invalidiert nur die Gravitationsbegrenzer-Hypothese, nicht das Selektionspostulat oder frühere Ergebnisse.

A5 — Experimentelle Regime und Falsifikationspfade

A5.1 — Orientierung: Ausschlüsse vor Anpassungen

Bis A4.3 spezifiziert das Argument, was wahr sein muss, wenn die Theorie korrekt ist. A5 spezifiziert, wie sie scheitern kann und wie dieses Scheitern beobachtet würde. Prinzipien:

Qualitative Ausschlüsse vor quantitativen Anpassungen. Abwesenheitstests vor Ratentests. Zeigerbasisabhängigkeit vor Gravitationsskalierung. Operative Signaturen vor Interpretation.

Wenn irgendein Regime unten scheitert, ist die entsprechende theoretische Komponente tot — sauber und lokal.

A5.2 — Testkarte (R0–R5)

R0 — Operative Invarianz von AS (Globaler Kill Switch)

Bereiten Sie ein System mit zwei physikalisch realisierbaren Grobkörnungen $\mathcal{O}_1$ und $\mathcal{O}_2$ vor. Berechnen Sie AS(ρ; $\mathcal{O}_1$) und AS(ρ; $\mathcal{O}_2$). Vorhersage: $|AS(\rho; \mathcal{O}_1) - AS(\rho; \mathcal{O}_2)| \leq \delta\_exp$. Falsifikator F0: Dauerhafte Diskrepanz jenseits der Toleranz → gesamtes Rahmenwerk scheitert.

Prioritätsordnung. Die Tests sind in der Reihenfolge logischer Abhängigkeit aufgeführt, sollten aber in der Reihenfolge der Unterscheidungskraft ausgeführt werden. R0 (operative Invarianz) ist der globale Kill Switch und muss zuerst getestet werden.

R1 — Zeigerbasis vs. Ortsbasis

Aufstellung: Systeme, in denen die umgebungsselektierte Zeigeralgebra $\mathcal{O}$ nicht der Ort ist. Konkrete Beispiele: supraleitende Qubits, Kavitäts-QED, kollektive Spinensembles. Vorhersage: Selektion zielt auf $\mathcal{O}$, nicht auf den Ort. Falsifikator F1: Wenn Bestimmtheit konsistent im Ort erscheint, obwohl $\mathcal{O} \neq$ Ort, scheitert das Selektionspostulat.

R2 — Gravitationeller Nullfall (ΔE_G = 0)

Aufstellung: Dekohärierte Protokolle, die sich nur durch interne Freiheitsgrade mit identischen Masseverteilungen unterscheiden. Kandidaten: Kernspinzustände, Photonpolarisationszustände, Hyperfeinzustände mit identischen räumlichen Profilen. Vorhersage: $\Delta E\_G = 0 \Rightarrow \lambda_{ij} = 0$. Keine Selektionsdynamiken jenseits Standard-Dekohärenz.

R3 — Obere-Schranke-Ratentest (Geschwindigkeitsbegrenzung)

Aufstellung: Mesoskopische/makroskopische Superpositionen mit kontrollierten Masseverteilungen (levitierte Nanokugeln, optomechanische Resonatoren). Berechne:

$\Delta E\_G \Rightarrow \tau\_min = \hbar/\Delta E\_G$. Vorhersage: $\tau_{ij} \geq \tau\_min$. Falsifikator G1: Selektion schneller als $\hbar/\Delta E\_G$.

Konkrete Abschätzungen: Für eine kugelförmige Nanopartikel mit Radius R = 100 nm aus Wolfram (ρ ≈ 19 g/cm^3), mit zwei Protokollsektoren getrennt durch Δx ~ R, ergibt sich τ_min ~ 1–10 Sekunden — innerhalb der Reichweite aktueller kryogener Levitationsplattformen.

R4 — Born-Randbedingung

Wiederholte Präparationen identischer dekohärierter Mischungen $\{p_i\}$. Vorhersage: Das endgültige Ensemble realisierter Zweige konvergiert zu $\{p_i\}$. Falsifikator F2: Systematische Abweichung von Born-Gewichten.

R5 — Reihenfolge-der-Operationen-Test

Stimmen Sie die Umgebungskopplung kontinuierlich ab, um den Dekohärenzgrad zu steuern. Vorhersage: Selektion ist vernachlässigbar, bis Dekohärenz die Zeigersektoren operativ verschieden gemacht hat (D13). Falsifikator F3: Nachweis von Selektionssignaturen vor operativer Irreversibilität.

Dies tötet Modelle, in denen Kollaps aufgerufen wird, um Dekohärenz zu verursachen.

A5.3 — Operative Signatur der Selektion

Selektion entspricht nichtlinearen oder stochastischen Dynamiken auf der Einzeltrajektorienebene nach Abschluss der Dekohärenz und erzeugt Effekte, die durch keine lineare CPTP-Abbildung auf $\mathscr{H}_S$ reproduzierbar sind.

Nachweisbare Signaturen umfassen: Einzeltrajektorien-Anomalien, irreversiblen Verlust der Interferenz-Wiederbelebungskapazität, und Telegraph-artige Stabilisierung.

A5.4 — Was als Bestätigung vs. Überleben zählt

Das Bestehen eines Tests bestätigt das Argument nicht. Es erlaubt ihm nur zu überleben. Bestätigung würde gemeinsamen Erfolg über mehrere Regime erfordern. Selbst dann ist, was etabliert wird, Struktur, nicht Interpretation.

Scheitern hingegen ist sofortig und endgültig.

A5.5 — Zeitplan zur Falsifikation

R0 (Operative Invarianz): Kurzfristig (0–2 Jahre). Circuit-QED-Plattformen produzieren bereits Systeme mit mehreren ko-zulässigen Zeigerbäsen.

R1 (Zeigerbasis vs. Ort): Kurzfristig (0–3 Jahre). Supraleitende Qubit- und Kavitäts-QED-Experimente.

R5 (Reihenfolge der Operationen): Kurzfristig bis mittelfristig (1–5 Jahre). Erfordert kontinuierlich abstimmbare Umgebungskopplung mit Einzeltrajektorien-Auslesung.

R4 (Born-Randbedingung): Mittelfristig (2–5 Jahre). Erfordert große Ensembles identisch präparierter, vollständig dekohärierter Systeme.

R2 (Gravitationeller Nullfall): Mittelfristig bis langfristig (3–10 Jahre). Erfordert dekohärierte Protokolle mit gravitationell ununterscheidbaren internen Freiheitsgraden.

R3 (Obere-Schranke-Ratentest): Langfristig (5–15 Jahre). Erfordert Aufrechterhaltung räumlicher Superpositionen von Nanopartikeln hoher Dichte für Sekunden. Kryogene Levitation und weltraumbasierte Plattformen sind plausibel, aber noch nicht in der erforderlichen Größenordnung betriebsbereit.

A5.6 — Abbruchbedingung

Definitionen sind operativ. Sie können jede einzelne messen. Theoreme sind bereichsgebunden. Jedes sagt Ihnen genau, wo es gilt und wo nicht. Postulate sind isoliert. Töten Sie eines und der Rest überlebt.

Schranken sind testbar. Sie können sie mit vorhandener Ausrüstung überprüfen. Falsifikatoren sind explizit. Sie wissen genau, was jeden Anspruch töten würde.

Nichts Weiteres kann durch Argumentation geklärt werden. Die Mathematik hat gesprochen. Die Experimente sind spezifiziert. Die Kill Switches sind veröffentlicht. Was bleibt, ist die Antwort der Natur. Das Argument hat Ihnen alles gesagt, was es sagen kann.

Das Argument wartet. Es hat sich dem Urteil des Experiments ausgeliefert. Das ist der einzige Ort, an den ein ehrliches Argument gehört.

A6 — Optionales Modul: Die Wende

Status: Optionales Modul. Nicht tragend. Enthalten zur konzeptuellen Vollständigkeit; Scheitern lässt das gesamte Laborprogramm intakt.

A6.1 — Kapazitätssättigung

Sei K der Lebensfähigkeitskern aufrechterhaltbarer Struktur (A3.3). Kapazitätssättigung liegt vor, wenn der zugängliche Zustandsraum für die Erzeugung neuer dauerhafter Protokollsektoren das Maß Null unter zulässigen Steuerungen hat.

Operationell: Weitere Dekohärenz kann auftreten, aber keine neuen unabhängigen Protokolle können geschrieben werden.

Kapazitätssättigung entspricht dem thermodynamischen Wärmetod im Grenzfall, in dem alle freien Energiegradienten erschöpft sind. Sie ist im Allgemeinen nicht identisch mit dem Wärmetod: Sättigung kann lokal oder strukturell vor dem globalen thermischen Gleichgewicht eintreten.

A6.2 — Wiederherstellung ohne Umkehrung

Jede zulässige Wende muss erfüllen: (1) Keine Umkehrung: Zuvor realisierte Selektionen werden nicht rückgängig gemacht. (2) Keine Selektionsumgehung: A4.2 bleibt lokal gültig. (3) Kapazitätswiederherstellung: Die effektive Protokollalgebra gewinnt Raum für neue, unabhängige Zweige zurück.

Dies ist eine Schnittstellenspezifikation, kein dynamisches Gesetz.

A6.3 — Konforme Reskalierung

Bei extremer Verdünnung werden Dynamiken unempfindlich gegenüber absolutem Maßstab. Eine konforme Identifikation kann eine kapazitätsgesättigte Konfiguration auf eine Anfangskonfiguration mit erneuerter Verzweigungskapazität abbilden, ohne die kausale Ordnung umzukehren. Existenzbeweis, nicht Behauptung der Tatsächlichkeit.

„Protokolle werden komprimiert, nicht gelöscht“ bedeutet: Unterscheidbare Protokollsektoren zu späten Zeiten bilden sich unter der konformen Identifikation auf eine niedriger aufgelöste effektive Protokollalgebra ab, wobei Orthogonalitätsrelationen und kausale Vorrangigkeit bewahrt werden, während die zugängliche Unterscheidbarkeit reduziert wird.

A6.4 — Beziehung zum Wärmetod

Schwarze Löcher sind Kapazitätssenken, keine Reset-Knöpfe. Sie lokalisieren Sättigung und demonstrieren Umkehrunmöglichkeitsgrenzen (A3.3). Jede globale Wende, wenn sie existiert, muss dieselbe Nicht-Umkehrungs-Beschränkung respektieren.

A6.5 — Warum dieses Modul optional ist

Das Kernprogramm beantwortet, wie Irreversibilität entsteht, wie Bestimmtheit entsteht und wie schnell Bestimmtheit entstehen kann. Modul T adressiert nur, ob globale Kapazität jemals wiederhergestellt werden kann.

Scheitern von Modul T lässt das gesamte Laborprogramm intakt.

Papier A — Kanonische Referenz gesperrt · Ausführung abgeschlossen

Anhänge zu Papier A

Anhang E — Glossar der Begriffe und Notation

Aktualisierungszustand (AS). Ein operativer Skalar $\in [0, 1]$, der den Grad der Inter-Sektor-Verzweigung in der Protokollalgebra misst. AS = 0: alles Gewicht in einem Protokollsektor. AS = 1: maximale Verzweigung über alle Protokollsektoren. Definiert in D3 (A2.3).

Zulässige Operation. Eine CPTP-Abbildung, die auf dem zugänglichen System wirkt, optional mit frischer Ancilla, aber ohne Zugang zur ursprünglichen Umgebung. Die Menge der zulässigen Operationen definiert, was ein Agent tun kann, und damit, was als operativ irreversibel zählt.

Einfangbecken, Cap(R). Die Menge der Zustände, von denen aus der Austritt aus der wiederherstellbaren Menge R unter allen zulässigen Steuerungen unvermeidlich ist. Definiert in D8 (A3.3).

Kohärenz-wiederherstellbarer Zustand. Ein Systemzustand, von dem aus Kohärenz zwischen Protokollsektoren durch zulässige Operationen innerhalb der Toleranz ε wiederhergestellt werden kann. Definiert in D11 (A4.1).

Grobkörnung, physikalisch realisierbar ($\mathscr{O}$). Eine endliche Menge gegenseitig orthogonaler Projektoren, selektiert durch die Physik der System-Umgebungs-Kopplung, nicht durch Beobachterwahl. Definiert in D1 (A2.1).

Dephasierungsabbildung, $\Delta\mathscr{O}$. Die Abbildung $\Delta\mathscr{O}(\rho) \equiv \Sigma_i \Pi_i \rho \Pi_i$, die Quanteninterferenz zwischen Protokollsektoren entfernt und klassische Wahrscheinlichkeiten bewahrt. Definiert in D2 (A2.2).

Effektive Entropie, S_{eff}. Die Shannon-Entropie $H(\{p_i\})$ der Sektorgewichte, mit verworfener Intra-Sektor-Entropie. Dies ist die in die AS-Definition eingehende Entropie. Definiert in A2.3.

Falsifikator (F0, F1, F2, F3, G1, G2, G3). Eine experimentell beobachtbare Bedingung, deren Auftreten eine spezifische Komponente des Arguments invalidieren würde. F0 ist global (tötet AS selbst); F1–F3 zielen auf das Selektionspostulat; G1–G3 zielen auf den Gravitationsbegrenzer. Aufgeführt in A5.2.

Gravitationelle Selbstenergie-Unterscheidbarkeit, ΔE_G. Die Newtonsche Selbstenergie der Differenz-Masseverteilung zwischen zwei Protokollsektoren. Definiert in D15 (A4.3). Anhang C liefert explizite Formen.

Umkehrunmöglichkeitsfläche, Σ_h. Die Grenze des Lebensfähigkeitskerns. Zustände jenseits dieser Fläche können unter keiner zulässigen Steuerung zur wiederherstellbaren Menge zurückkehren. Definiert in D9 (A3.3) und D13 (A4.1).

Operator-Horizont, x_h. Die skalare Spezialisierung der Umkehrunmöglichkeitsfläche: $x_h \equiv u\_max/a$, die maximal aufrechterhaltbare Struktur bei maximalem Wartungsaufwand. Definiert in T2 (A3.2).

Operative Invarianz. Die Anforderung, dass AS-Werte, die aus verschiedenen physikalisch realisierbaren Grobkörnungen desselben Systems berechnet werden, innerhalb experimenteller Toleranz übereinstimmen. Definiert in D5 (A2.5). Verletzung löst den globalen Kill Switch F0 aus.

Operative Irreversibilität. Ein Zustand ist operativ irreversibel bezüglich einer wiederherstellbaren Menge R genau dann, wenn er außerhalb des Lebensfähigkeitskerns von R liegt. Irreversibilität wird durch Erreichbarkeitsverlust unter zulässiger Steuerung definiert, nicht durch Entropiezunahme oder Verletzung der Zeitumkehrsymmetrie. Definiert in D10 (A3.3).

Protokollalgebra. Die von der physikalisch realisierbaren Grobkörnung $\mathscr{O} = \{\Pi_i\}$ erzeugte Algebra. Zustände in dieser Algebra sind diagonal in der Protokollbasis. Die Protokollalgebra definiert, was die Umgebung physikalisch unterscheiden kann.

Selektion. Der Übergang von einer diagonalen Mischung über Protokollsektoren (nach Dekohärenz) zu einem einzelnen realisierten Zweig (Bestimmtheit). Unterschieden von Dekohärenz in D14 (A4.2). Der Mechanismus wird durch Postulat P spezifiziert; die Rate wird durch Postulat G begrenzt.

Lebensfähigkeitskern, Viab(R). Die Menge der Zustände, von denen aus das System mittels zulässiger Steuerung unbegrenzt innerhalb der wiederherstellbaren Menge R gehalten werden kann. Definiert in D7 (A3.3).

ε (operative Toleranz). Ein fester positiver Parameter, der die experimentelle Auflösung repräsentiert. Alle operativen Definitionen (effektive Orthogonalität, Unzugänglichkeit, Wiederherstellbarkeit) werden relativ zu ε quantifiziert. Definiert in A2.4.

Anhang A — Äquivalenz der AS-Darstellungen

A.1 Zweck

Dieser Anhang etabliert die präzisen Bedingungen, unter denen die primäre AS(ρ; $\mathscr{O}$) mit der historienbasierten Darstellung $AS_h(D)$ übereinstimmt. Keine Äquivalenz wird im Haupttext angenommen.

A.2 Objekte und Einschränkungen

Die Historien $\{\alpha\}$ werden so genommen, dass sie eineindeutig mit den Protokollsektoren $\{\Pi_i\}$ zu einem einzelnen Zeitpunkt korrespondieren. Keine Multizeit- oder Verzweigungsbaum-Historien sind eingeschlossen. Unter dieser Einschränkung: $N = d\mathscr{O}$. Diese Einschränkung ist explizit und beabsichtigt.

A.3–A.4 Dekohärenzbedingung und Blockentropie

Angenommen vollständige Dekohärenz: $D(\alpha, \beta) \approx 0$ für $\alpha \neq \beta$. Unter dieser Bedingung hat der dephasierte Zustand Blockform $\Delta\mathscr{O}(\rho) = \Sigma_i\ p_i\ \sigma_i$.

Die von-Neumann-Entropie zerlegt sich exakt als $S(\Delta\mathscr{O}(\rho)) = H(\{p_i\}) + \Sigma_i\ p_i\ S(\sigma_i)$. Keine Annahme maximaler Mischung innerhalb der Sektoren wird getroffen.

A.5–A.6 Äquivalenzaussage

AS verwendet $S\_eff(\rho; \mathscr{O}) \equiv H(\{p_i\})$ mit Normierung $AS(\rho; \mathscr{O}) = H(\{p_i\}) / \log d\mathscr{O}$.

A.7 Nicht-Äquivalenz-Regime

Die Äquivalenz versagt, wenn: Dekohärenz unvollständig ist, Historien mehrere Zeitpunkte umspannen, oder man versucht, Intra-Sektor-Entropie als „Aktualisierung“ einzuschließen.

In diesen Regimen bleibt $AS(\rho; \mathscr{O})$ wohldefiniert; $AS_h(D)$ hört auf, eine treue Darstellung zu sein. $AS(\rho; \mathscr{O})$ wird in allen mehrdeutigen Fällen bevorzugt, weil sie nur den reduzierten Zustand und die Protokollalgebra erfordert, keinen vollständigen Historienraum.

Anhang B — Hintergrund zur Lebensfähigkeitstheorie

Dynamiken: $dx/dt = f(x, u)$, $u \in U$. Lebensfähigkeitskern: $\mathrm{Viab}(K) = \{x_0 \in K \mid \exists\ u(t): x(t) \in K\ \forall t \geq 0\}$.

Einfangbecken: $\mathrm{Cap}(K^c) = \{x_0 \mid \forall\ u(t), \exists\ t: x(t) \notin K\}$. Umkehrunmöglichkeitsfläche: $\Sigma\_NR = \partial\ \mathrm{Viab}(K)$. Die Partition gilt bis auf Grenzmengen vom Maß null.

Für weiteren Hintergrund siehe Aubin (1991), Viability Theory.

Anhang C — Gravitationelle Selbstenergie

C.1 Definition. Für zwei Protokollsektoren i, j mit Massedichten $\mu_i(x)$, $\mu_j(x)$: ΔE_G ist definiert als die Newtonsche Selbstenergie der Differenz-Masseverteilung.

C.3 Spezialfälle. Identische Masseverteilungen: $\Delta E\_G = 0$. Starre Kugel (Radius R, Verschiebung $\Delta x \ll R$): $\Delta E\_G \sim Gm^2/R \cdot (\Delta x/R)^2$ (Größenordnungsabschätzung).

C.4 Positivität. Nach Konstruktion gilt $\Delta E\_G \geq 0$.

Anhang D — Experimentelle Machbarkeitsabschätzungen

D.1 Hochdichte-Nanopartikel-Regime

Betrachten Sie eine kugelförmige Nanopartikel mit Radius R = 100 nm, zusammengesetzt aus einem hochdichten Material (Wolfram oder Osmium, $\rho \approx 19$–$22\ g/cm^3$). Zum Vergleich: Siliziumdioxid hat $\rho \approx 2\ g/cm^3$.

Mit zwei Protokollsektoren getrennt durch $\Delta x \sim R$ und unter Verwendung von $\Delta E\_G \sim Gm^2/\Delta x$ mit $m \propto \rho R^3$ skaliert die Selbstenergie als $\Delta E\_G \propto \rho^2 R^5$.

Zehnfache Dichtesteigerung ergibt ~100× Erhöhung von ΔE_G. Resultierende Zeitskala: $\tau\_min \sim \hbar/\Delta E\_G$ ergibt τ_min ~ 1–10 s für R ~ 100 nm hochdichte Partikel.

D.2 Experimentelle Plattformen

Zeitskalen im Bereich von Sekunden bis Dutzenden von Sekunden sind innerhalb der Reichweite von: kryogener optischer oder magnetischer Levitation schwerer Nanopartikel (z.B. Delić et al., 2020; Tebbenjohanns et al., 2021), hybriden optomechanischen Fallen mit aktiver Rückkopplungskühlung (z.B. Aspelmeyer-Gruppe, Wien), und weltraumbasierten oder Mikrogravitationsvorschlägen (Lang-Kohärenz-Freifallplattformen, z.B. MAQRO-Missionskonzept).

D.3 Interpretation

Der Zweck dieser Abschätzung ist zu demonstrieren, dass das relevante Regime experimentell zugänglich ist. Beobachtung von Selektion schneller als die Schranke falsifiziert die Gravitationsbegrenzer-Hypothese. Abwesenheit von Selektion beschränkt die Relevanz der Gravitation, ohne den AS-Kernrahmen zu untergraben.

Anhang F — Durchgerechnetes Beispiel: AS-Berechnung für ein dephasierendes Qubit

Dieser Anhang liefert eine vollständige, explizite AS-Berechnung für den einfachsten nichttrivialen Fall, beabsichtigt als pädagogischer Anker.

F.1 Aufstellung

System: ein einzelnes Qubit S mit Hilbertraum $\mathscr{H}_S = \mathbb{C}^2$, gekoppelt an eine Umgebung E. Zeigerbasis (selektiert durch Kopplung): $\mathscr{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$. Dimension der Protokollalgebra: $d\mathscr{O} = 2$.

F.2 Anfangszustand

$|\psi(0)\rangle = (|0\rangle + |1\rangle)/\sqrt{2} \otimes |E_0\rangle$. Das System befindet sich in einer kohärenten Superposition. Der reduzierte Zustand ist $\rho_s(0) = |+\rangle\langle +|$. Nach Dephasierung: $\Delta\mathscr{O}(\rho_s(0)) = \mathrm{diag}(½, ½)$. Sektorgewichte: $p_0 = p_1 = ½$.

F.3 Vor Dekohärenz

Nebendiagonalelemente sind vorhanden. Jedoch: $S_{eff} = H(\{p_i\}) = H(½, ½) = \log 2$. Normierung: $S_{max} = \log 2$. Daher AS = log 2 / log 2 = 1.

Selbst bevor Dekohärenz abgeschlossen ist, verteilen sich die Sektorgewichte bereits maximal. AS misst die Verzweigungsstruktur des dephasierten Zustands, nicht ob Dekohärenz physikalisch stattgefunden hat.

F.4 Nach Dekohärenz

Umgebung zeichnet Welcher-Weg auf: $|\psi\rangle \to (|0\rangle|E_0\rangle + |1\rangle|E_1\rangle)/\sqrt{2}$ mit $\langle E_0|E_1\rangle \approx 0$. Reduzierter Zustand: $\rho_s = \mathrm{diag}(½, ½)$. Nebendiagonale wurden physikalisch unterdrückt.

AS = 1. Gleicher Zahlenwert, aber jetzt hat das System die Umkehrunmöglichkeitsfläche überschritten: Kohärenz ist nicht wiederherstellbar. Operative Irreversibilität wurde etabliert.

F.5 Nach Selektion

Selektion löst die Mischung in Sektor $|0\rangle$ auf (sagen wir). Nun $p_0 = 1$, $p_1 = 0$. $H = 0$. AS = 0. Eine Geschichte verbleibt. Das System ist von maximaler Verzweigung zu Bestimmtheit übergegangen.

F.6 Zusammenfassung

AS verfolgt Verzweigungsreichtum, nicht Bestimmtheit. Es steigt während der Dekohärenz (Verzweigungsphase) und fällt während der Selektion (Bestimmtheitsphase).

Das durchgerechnete Beispiel illustriert, dass AS ≈ 0 und AS ≈ 1 beide physikalisch bedeutsame Endpunkte verschiedener Prozesse sind, keine Hierarchie von „mehr aktualisiert“ vs. „weniger aktualisiert“.

Papier B — Selektion als irreversible Ausschließung

Raten, Kosten und Beschränkungen der Bestimmtheit. Hängt von Papier A ab und von nichts anderem.

Papier A hat die Verzweigung gemessen. Es hat bewiesen, dass die Verzweigung unter den richtigen Bedingungen nur wachsen kann. Es hat den Punkt der Umkehrunmöglichkeit etabliert.

Aber es ließ eine Frage unbeantwortet — die Frage, die jede Interpretation der Quantenmechanik verfolgt.

Wenn Bestimmtheit in einzelnen Durchläufen auftritt — und das tut sie, jedes jemals durchgeführte Experiment sagt es — was muss Selektion sein?

Nicht was sie sein könnte. Was sie sein muss. Welche strukturellen Anforderungen muss jeder Selektionsmechanismus erfüllen? Was muss er kosten? Wie schnell kann er wirken?

Und gibt es eine universelle Schranke für diese Geschwindigkeit?

Kein Kollapsmechanismus wird vorgeschlagen. Keine Interpretation wird aufgerufen. Kein Ergebnis von Papier A wird neu abgeleitet. Alle Hypothesen sind unabhängig falsifizierbar. Scheitern einer Hypothese invalidiert Papier A nicht.

B0 — Abhängigkeit und Zweck

B0.1 — Abhängigkeitserklärung

Dieses Werk ist eine strenge Fortführung von Papier A und setzt als etabliert voraus: die operative Definition und Gültigkeit des Aktualisierungszustands (AS), operative Irreversibilität als Erreichbarkeitsverlust unter zulässiger Steuerung, die Existenz von Umkehrunmöglichkeitsflächen induziert durch begrenzte Kapazität, und die Trennung zwischen Verzweigung (AS-Zunahme) und Bestimmtheit.

Zur Referenz: Die Protokollsektor-Algebra $\mathscr{R}$ ist die von den Projektoren $\{\Pi_i\}$ einer physikalisch realisierbaren Grobkörnung $\mathscr{O}$ (Papier A, Definition D1) erzeugte Algebra. Alle Normen und Abbildungen in diesem Papier, die $\mathscr{R}$ referenzieren, wirken auf dieser Algebra.

Kein Konstrukt aus Papier A wird hier neu definiert oder neu abgeleitet.

B0.2 — Zweck

Papier A etabliert Irreversibilität ohne Bestimmtheit: nach Dekohärenz und Erreichbarkeitsverlust können mehrere sich gegenseitig ausschließende Protokollsektoren gleichzeitig in der reduzierten Beschreibung fortbestehen.

Dieses Papier adressiert die verbleibende physikalische Frage: Wenn Bestimmtheit auftritt, was muss Selektion sein, gegeben die bereits etablierten Beschränkungen?

Eine zweite Frage folgt notwendigerweise: Welche physikalischen Ressourcen müssen aufgewendet werden, um solche Selektion durchzusetzen?

Dieses Werk argumentiert nicht, dass Selektion existieren muss. Es charakterisiert die Struktur und Beschränkungen der Selektion, falls sie überhaupt existiert.

B0.3 — Harte Nicht-Behauptungen

Das Papier definiert AS nicht neu, schlägt keinen Kollapsmechanismus vor, leitet die Born-Regel weder ab noch setzt sie voraus, beruft sich nicht auf Beobachter, Bewusstsein oder epistemische Aktualisierung, führt keine Handlungsfähigkeit, Entscheidungsfindung oder Steuerung ein, und behauptet nicht, Gravitation verursache Selektion.

Scheitern dieses Papiers invalidiert Papier A nicht.

B1 — Das Bestimmtheitsproblem (Neu formuliert)

B1.1 — Was nach Papier A bleibt

Nach den Ergebnissen von Papier A ist Folgendes etabliert: (1) Interferenz ist unterdrückt zwischen protokollunterscheidbaren Alternativen (Papier A, T1). (2) Wiederherstellbarkeit ist verloren, sobald Protokollinformation in unzugänglichen Freiheitsgraden kodiert ist (Papier A, D13). (3) Der Aktualisierungszustand nimmt während der Verzweigungsphase zu und quantifiziert protokollstrukturierte Multiplizität (Papier A, T1).

Dennoch impliziert nichts davon, dass in einem einzelnen experimentellen Durchlauf nur ein Protokoll fortbesteht.

Ein diagonaler reduzierter Zustand der Form $\rho_s = \Sigma_i\, p_i\, \Pi_i\, \rho\, \Pi_i$, wobei $\{\Pi_i\}$ die in Papier A definierten Protokollsektor-Projektoren und $\{p_i\}$ die entsprechenden diagonalen Koeffizienten sind, ist mit allen Ergebnissen von Papier A vollständig konsistent.

B1.2 — Warum Dekohärenz nicht Bestimmtheit ist

Dekohärenz erklärt, warum Interferenzterme unzugänglich werden. Sie erklärt nicht, warum Alternativen ausgeschlossen werden.

Operationell: Dekohärenz beantwortet: warum Alternativen nicht interferieren können. Bestimmtheit fragt: warum Alternativen nicht mehr erreichbar sind.

Dies sind verschiedene Beschränkungen. Papier A löst die erste und hört dort absichtlich auf.

B1.3 — Einzelne Realisierungen (Operative Definition)

Eine einzelne Realisierung (oder ein einzelner Durchlauf) wird definiert als: ein einzelner experimenteller Durchlauf, der einen bestimmten, zeitlich geordneten Protokollstrom in der Umgebung produziert, der anschließend alles zukünftige zugängliche Systemverhalten beschränkt.

Diese Definition ist rein operativ und bezieht sich ausschließlich auf Protokollstruktur.

B1.4 — Selektion als irreversible Ausschließung

Wenn Bestimmtheit existiert, muss sie einem physikalischen Ausschließungsprozess entsprechen, der nach Etablierung der Irreversibilität wirkt, weil alle nachfolgenden experimentellen Ergebnisse im Protokollstrom kausal davon abhängen, welcher Sektor erlangt wird.

Selektion wird hier definiert als: Der Übergang des Systemzustands in eine eingeschränkte erreichbare Region des Zustandsraums (unter zulässiger Steuerung), in der nur ein Protokollsektor erreichbar bleibt. Gleichwertig: Selektion ist die irreversible Entfernung alternativer Protokollsektoren aus der operativen Zugänglichkeit in einer einzelnen Realisierung.

Sobald Selektion stattgefunden hat, kann keine zulässige systemlokale Operation die Erreichbarkeit ausgeschlossener Sektoren wiederherstellen.

B1.5 — Konsequenz für den Aktualisierungszustand

Selektion hat eine präzise Konsequenz für AS: Dekohärenz erhöht AS durch Erzeugung protokollstrukturierter Verzweigung (Papier A, T1). Selektion reduziert das zugängliche AS einer einzelnen Realisierung, indem sie die Erreichbarkeit auf einen einzelnen Protokollsektor einschränkt.

Dies impliziert nicht die Löschung von Umgebungsprotokollen. Es spiegelt den Kollaps zukünftiger operativer Zugänglichkeit wider, nicht die Zerstörung vergangener Struktur.

B1.6 — Selektionskosten (Vorausdeutung)

Ausschließung ist nicht kostenlos.

Jeder Prozess, der Erreichbarkeit von Alternativen entfernt, muss physikalische Ressourcen aufwenden, um diese Einschränkung durchzusetzen. Dies wird allgemein als die Kosten der Selektion bezeichnet: der minimale physikalische Ressourcenaufwand, der erforderlich ist, um irreversible Ausschließung durchzusetzen.

Diese Kosten müssen keine thermische Energie sein; sie können als Zeit, Wechselwirkungsstärke oder Verbrauch von Unterscheidbarkeitskapazität auftreten.

B2 — Die Nichtlinearitätsanforderung und Selektionskosten

B2.1 — Linearitätsbeschränkung

Deterministische lineare vollständig positive spurerhaltende (CPTP) Dynamiken, die auf den reduzierten Systemzustand wirken, erhalten konvexe Struktur. Folglich kann lineare Ensemble-Evolution für sich allein keine Einzelsektor-Bestimmtheit in einzelnen Realisierungen erzwingen.

Formal gilt für jede deterministische lineare CPTP-Abbildung $\mathscr{E}$: Linearität erhält konvexe Mischungen. Keine solche Abbildung kann eine einzelne Komponente aus einer diagonalen Mischung in einzelnen Durchläufen selektieren. Dies ist eine strukturelle Konsequenz der Linearität und hängt nicht von der Interpretation ab.

B2.2 — Ensemble-Linearität vs. Trajektorienauflösung

Die Implikation der Linearitätsbeschränkung ist präzise: Ensemble-Evolution kann linear und CPTP bleiben. Selektion, wenn sie auftritt, muss auf der Trajektorienebene wirken und einzelne Realisierungen über stochastische oder effektiv nichtlineare Dynamiken auflösen.

Es gibt keinen Widerspruch mit Quantenlinearität auf Ensembleebene.

B2.3 — Quantifizierung der Selektionsabweichung

Selektion ist ein Phänomen auf Trajektorienebene. Ihre Signatur ist nicht eine Abweichung des Ensemblezustands — Ensemblekonsistenz ist gefordert (B3.5) und der Ensemblezustand bleibt nach Konstruktion erhalten.

Die Signatur der Selektion ist, dass einzelne Trajektorien sich zu Ergebnissen auflösen, die keine deterministische CPTP-Abbildung aus demselben Anfangszustand erzeugen könnte.

Definiere die Selektionsabweichung: $\delta\_sel = \mathbb{E}[\|\rho^w(\rho) - \mathscr{E}\_ens(\rho)\|^2\_\mathscr{R}]$. Dies ist die erwartete quadratische Abweichung einzelner Trajektorienergebnisse vom Ensemblemittelwert, gemessen in der Protokollalgebra.

Für jede deterministische CPTP-Abbildung: $\delta\_sel = 0$. Für Selektion: $\delta\_sel > 0$.

Selektion erfordert $\delta\_sel > 0$. Wenn $\delta\_sel = 0$ für alle zugänglichen Zustände, erzeugt jede Trajektorie dasselbe Ergebnis wie die Ensembleabbildung, und keine Auflösung in einzelne Sektoren hat stattgefunden.

B2.4 — Definition: Selektionskosten

Die Kosten der Selektion werden definiert als der minimale physikalische Ressourcenaufwand, der erforderlich ist, um nichtverschwindende Trajektorienvarianz ($\delta\_sel > 0$) zu erzeugen, die ausreicht, um einzelne Realisierungen in einzelne Protokollsektoren aufzulösen.

Diese Kosten können ausgedrückt werden als: eine Zeitskala (Rate der Ausschließung), eine Kopplungsstärke an durchsetzende Wechselwirkungen, oder ein Ressourcenbudget, das zur Aufrechterhaltung der Ausschließung erforderlich ist.

B2.5 — Falsifikator B2: Prä-Irreversibilitäts-Selektion

Wenn Ausschließungssignaturen erscheinen, bevor das System die Umkehrunmöglichkeitsfläche (D13) überschritten hat, ist das gesamte Selektionsmodell tot. Selektion muss auf Irreversibilität warten. Wenn sie nicht wartet, ist das Modell falsch.

Selektion kann Irreversibilität nicht vorausgehen.

B3 — Strukturelle Anforderungen an Selektionsdynamiken

Jede zulässige Selektionsdynamik muss eine minimale Menge struktureller Anforderungen erfüllen, die gemeinsam von Papier A und den Abschnitten B1–B2 impliziert werden. Diese Anforderungen sind notwendig, nicht hinreichend.

Scheitern einer Anforderung falsifiziert die Selektionshypothese, ohne die Irreversibilitätsergebnisse von Papier A zu beeinflussen.

B3.1 — Post-Irreversibilitäts-Aktivierung. Selektion darf erst nach Etablierung operativer Irreversibilität wirken. Für alle Zustände $\rho \in K_\varepsilon(\mathscr{O})$ gilt: keine Selektionsabweichung erlaubt, während Wiederherstellung unter zulässiger Steuerung erreichbar bleibt.

B3.2 — Protokollalgebra-Lokalität. Selektion darf nur auf Freiheitsgraden wirken, die Protokollsektoren unterscheiden, und nur während aktiver Selektion. Selektion darf Interferenz nicht erzeugen oder wiedereinführen.

B3.3 — Absorbierende Protokollsektoren. Selektion ist ein absorbierender Prozess. Sobald ein Protokollsektor Π_i realisiert ist, muss die Sektorzugehörigkeit unter nachfolgender Selektionsdynamik fixiert bleiben.

B3.4 — Kontraktivität der Multiplizität. Selektion löst Multiplizität auf; sie darf sie nicht verstärken. Die Shannon-Entropie $H(\{p_i(t)\})$ muss ein Supermartingal

entlang einzelner Trajektorien sein, mit strikter Abnahme während aktiver Selektion.

B3.5 — Ensemblekonsistenz. Während einzelne Trajektorien sich zu einzelnen Sektoren auflösen, muss die Ensemblebeschreibung mit linearer Evolution konsistent bleiben. Mittelung über alle Trajektorienrealisierungen muss die Ensembleabbildung reproduzieren.

B3.6 — Randbedingung an Ergebnisse (BC1). Die Analyse beschränkt sich auf die Klasse der Born-konsistenten Selektionsdynamiken: die Randverteilung über realisierte Sektoren konvergiert zu den diagonalen Gewichten $\{p_i\}$.

B3.7 — Zusammenfassung der strukturellen Anforderungen

Selektionsdynamiken, wenn sie existieren, müssen sein: Post-irreversibel, Protokolllokal, Absorbierend, Kontraktiv, Ensemblekonsistent.

Jeder Kandidatenprozess, der diese Bedingungen verletzt, ist keine physikalisch zulässige Form der Selektion unter dem von Papier A etablierten Argument.

B4 — Universelle Ratenbeschränkungen der Selektion

Selektion, wenn sie existiert, kann nicht beliebig schnell auftreten. Dieser Abschnitt etabliert notwendige Oberschranken für die Rate, mit der zulässige Selektionsdynamiken wirken dürfen, ohne neue Physik einzuführen.

B4.1 — Selektionsrate als operative Größe

Für zwei Protokollsektoren i und j definiere die Inter-Sektor-Selektionszeit τ_{ij} als die Mindestdauer, die in einer einzelnen Realisierung erforderlich ist, damit das zugängliche Verhalten des Systems operativ ununterscheidbar von Einschluss in Sektor i wird. Die entsprechende Selektionsrate ist: $\lambda_{ij} = 1/\tau_{ij}$.

B4.2 — Anforderungen an einen universellen Ratenbegrenzer

Jeder Kandidat für einen universellen Ratenbegrenzer muss erfüllen: Universalität (gilt für alle makroskopischen Protokolle), Kontextunabhängigkeit (hängt nicht von Beobachtereingriff ab), Diskriminatorische Relevanz (koppelt direkt an die physikalischen Merkmale, die Protokollsektoren unterscheiden).

B4.3 — Gravitation als Kandidat für einen universellen Begrenzer (Hypothese)

Unter bekannten Wechselwirkungen erfüllt die Gravitation alle drei obigen Anforderungen: sie ist universell, unabschirmbar und direkt empfindlich für Masse-Energie-Konfigurationen, die makroskopische Protokolle unterscheiden.

Die Hypothese: dass die Gravitation eine universelle Obergrenze für Selektionsraten liefert. Dies ist eine empirische Behauptung über bekannte Wechselwirkungen, kein

Eindeutigkeitsbeweis, und sie behauptet nicht, dass die Gravitation Selektion verursacht.

B4.5 — Ratenungleichung

Die gravitationsbegrenzte Selektionsschranke (Papier A, Postulat G) lautet: $\lambda_{ij} \leq \Delta E\_G/\hbar$. Die Schranke ist begrenzend, nicht exakt. Selektion kann langsamer sein; sie kann nicht schneller sein, ohne eine Kopplung aufzurufen, die stärker als die Gravitation an Masse-Energie-Unterscheidbarkeit koppelt.

B4.6 — Nullfall (Bedingt)

Unter der gravitationsbegrenzten Hypothese: wenn zwei Protokollsektoren gravitationell ununterscheidbar sind ($\Delta E\_G = 0$), verschwindet der gravitationsbeschränkte Beitrag zur Selektionsrate. Wenn kein alternativer Begrenzer existiert, bestehen solche Superpositionen unbegrenzt fort.

B4.8 — Falsifikatoren (Ratenebene)

FG1: Selektion tritt mit $\lambda_{ij} > \Delta E\_G/\hbar$ auf. FG2: Selektion tritt zwischen Protokollen mit $\Delta E\_G = 0$ in Abwesenheit eines alternativen Begrenzers auf. FG3: Selektionsraten skalieren universell mit nichtgravitationellen Parametern über makroskopische Protokolle.

Scheitern hier invalidiert nur die Begrenzer-Hypothese; es invalidiert weder die Selektion wie in diesem Papier definiert, noch die Irreversibilität wie in Papier A definiert.

B4.9 — Schluss

Wenn Selektion auftritt, ist sie durch physikalische Grenzen beschränkt, wie schnell Alternativen unterschieden werden können. Bestimmtheit kann nicht beliebig schnell entstehen; sie kann nicht schneller entstehen, als eine universelle Wechselwirkung zwischen konkurrierenden Protokollen unterscheiden kann.

B5 — Experimentelle Regime und Unterscheidungstests

Testkarte:

BT1 — Reihenfolge der Operationen. Ziel: Selektion selbst. Falsifiziert: Selektion wie in B1.4 definiert. Methode: Dekohärenz kontinuierlich abstimmen und prüfen, ob Selektionssignaturen vor dem Austritt des Systems aus $K\varepsilon(\mathscr{O})$ erscheinen.

BT2 — Aktive Selektionssignatur. Ziel: Existenz der Selektion. Methode: Einzeltrajektorien-Statistiken mit allen linearen Lindblad-Modellen vergleichen. Observable: Telegraphenrauschen oder diffusives Wandern inkonsistent mit jeder CPTP-Entfaltung.

BT3 — Nullraten-Regime. Ziel: Gravitationsbegrenzer-Hypothese. Falsifiziert: FG2. Methode: Dekohärierte Superpositionen mit $\Delta E_G = 0$ präparieren und auf Selektion überwachen.

BT4 — Ratenschranken-Regime. Ziel: Gravitationsbegrenzer-Hypothese. Falsifiziert: FG1. Methode: Räumliche Superpositionen mesoskopischer Massen erzeugen, Selektionszeitskala messen, mit $\tau_{min} = \hbar/\Delta E_G$ vergleichen.

BT5 — Born-Randbedingung. Ziel: Born-Konsistenz der Selektion. Methode: Große Ensembles identisch präparierter Systeme mit Einzelschuss-Auslesung.

Kein Ergebnis rettet die Hypothese rückwirkend.

B6 — Schlussfolgerungen und Programmstatus

Zusammen mit Papier A vervollständigt diese Arbeit die physikbasierte Charakterisierung der Selektion:

Papier A etabliert Irreversibilität ohne Bestimmtheit. Papier B etabliert Bestimmtheit als kostspielige, ratenbegrenzte Ausschließung, wenn sie existiert.

Kein weiterer Fortschritt bei der Selektion kann allein durch Argumentation erzielt werden. Die verbleibende Ungewissheit ist empirisch.

Durchgerechnetes Beispiel: Strukturelle Anforderungen angewandt auf Qubit-Selektion

Papier A (Abschnitt A4.2) definiert ein Spielzeugmodell stochastischer Selektion auf einem Qubit mit Zeigerbasis $\mathcal{O} = \{|0\rangle\langle 0|, |1\rangle\langle 1|\}$ und Selektionsdynamiken $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$.

Die Verifikation zeigt, dass dieses Spielzeugmodell alle fünf strukturellen Anforderungen von B3 erfüllt.

B3.1 (Post-Irreversibilitäts-Aktivierung): Die Selektionsrate γ wird auf null gesetzt, während das System innerhalb der wiederherstellbaren Menge $K_\varepsilon(\mathcal{O})$ verbleibt. Die SDE aktiviert sich erst, nachdem Dekohärenz die Zeigersektoren operativ verschieden gemacht hat. Vor der Aktivierung gilt $\delta_{sel} = 0$ identisch.

B3.2 (Protokollalgebra-Lokalität): Die SDE wirkt ausschließlich auf das diagonale Sektorgewicht p. Keine Nebendiagonal-(Kohärenz-)Terme werden erzeugt oder abgerufen. Der Prozess ist protokollalgebra-lokal nach Konstruktion: $\Phi(\rho) = \Phi(\Delta_{\mathcal{O}}(\rho))$.

B3.3 (Absorbierende Sektoren): Bei $p = 0$ und $p = 1$ verschwindet der Diffusionskoeffizient $\sigma(p) = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)$ identisch. Beide sektor-reinen Zustände sind absorbierende Fixpunkte. Einmal realisiert, ist die Sektorzugehörigkeit dauerhaft.

B3.4 (Kontraktivität): Durch die vollständige Itô-Berechnung: $dH = -(\gamma/2)\, p(1-p)\, dt + \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p) \cdot \log[(1-p)/p]\, dW$. Der Driftterm $-(\gamma/2)\, p(1-p)$ ist strikt negativ für $p \in (0, 1)$. H ist ein Supermartingal mit strikter Abnahme während aktiver Selektion.

B3.5 (Ensemblekonsistenz): Die SDE $dp = \sqrt{\gamma} \cdot p(1-p)\, dW$ ist ein Martingal: $\mathbb{E}[p(t)] = p(0)$ für alle t. Mittelung über Trajektorien reproduziert den Ensemblezustand $\rho_{ens} = \mathrm{diag}(p(0), 1-p(0))$ zu allen Zeiten. Die Ensembleabbildung ist linear und CPTP.

Dies bestätigt, dass die strukturellen Anforderungen B3.1–B3.5 gemeinsam erfüllbar sind. Das Spielzeugmodell ist nicht die einzige Lösung; es ist ein Existenzbeweis.

Ende von Papier B.

Papier C — Handlungsfähigkeit als beschränkte Steuerung

Hängt von Papieren A und B ab.

Sie sind ein Handelnder. Sie treffen Entscheidungen. Sie erhalten sich gegen den Zerfall. Sie navigieren einen Raum von Möglichkeiten, der sich mit jedem irreversiblen Schritt verengt. Sie haben ein Budget, das sich erschöpft.

Sie stehen vor einem Drift, der nie aufhört. Und irgendwo vor Ihnen, unsichtbar aber real, liegt eine Grenze, jenseits derer keine Ihrer Entscheidungen Sie retten kann.

Alles, was Sie gerade gelesen haben, ist Geometrie. Nicht Philosophie. Nicht Metapher. Geometrie — messbar, berechenbar, falsifizierbar.

Dieses Papier streift die Philosophie von der Handlungsfähigkeit ab und ersetzt sie durch eine Zahl. Die Zahl misst den Anteil überlebensfähiger Zustände, den Sie von Ihrem aktuellen Standort aus noch erreichen können.

Diese Zahl ist ehrlicher als jede Definition, die die Philosophie je hervorgebracht hat, weil sie sich nicht um Ihre Absichten schert. Sie schert sich um Ihre Position im Zustandsraum und die Größe Ihrer Steuerungsmenge. Der Rest ist Arithmetik.

C0 — Bereich und Abhängigkeit

Papier C hängt explizit und ausschließlich von den in Papieren A und B etablierten physikalischen Ergebnissen ab. Papier C erfordert nur, dass Selektion Einschluss in einen einzelnen Protokollsektor erzeugt; es hängt nicht vom Mechanismus, der Rate oder der Statistik der Selektion ab.

Papier C adressiert eine Frage, die nicht physikalischen Ursprungs, aber struktureller Konsequenz ist: Gegeben irreversible Physik und kostspielige Bestimmtheit, wie kann kontrolliertes Verhalten innerhalb eines einzelnen realisierten Protokollsektors fortbestehen?

Handlungsfähigkeit wird nicht als Absicht, Überzeugung oder Wahl behandelt, sondern als Steuerungseigenschaft — eine Zahl, die Sie für ein System berechnen können, das unter irreversiblen Beschränkungen evolviert.

Das Papier führt keine neuen physikalischen Gesetze ein, modifiziert die Quantenmechanik nicht und beruft sich nicht auf Psychologie, Motivation, Ethik oder Bedeutung. Scheitern von Papier C invalidiert Papiere A oder B nicht.

C1 — Handlungsfähigkeit als geometrische Kontrollgröße

C1.1 — Definition der Handlungsfähigkeit

Innerhalb eines einzelnen realisierten Protokollsektors definiere Handlungsfähigkeit als: den Anteil des Lebensfähigkeitskerns, der vom aktuellen Zustand unter zulässiger Steuerung erreichbar ist.

Sei $x(t)$ der auf einen realisierten Protokollsektor beschränkte Systemzustand. Sei $\mathrm{Viab}(R)$ der in Papier A definierte Lebensfähigkeitskern und $\mathrm{Reach}(x)$ die von x unter zulässiger Steuerung erreichbare Zustandsmenge.

Definiere: $\mathcal{M} = \mu(\mathrm{Reach}(x) \cap \mathrm{Viab}(R)) / \mu(\mathrm{Viab}(R))$, wobei μ das natürliche Volumenmaß ist.

Die Normierung stellt sicher, dass $\mathcal{M} \in [0, 1]$: $\mathcal{M} = 1$ wenn der gesamte Lebensfähigkeitskern erreichbar ist, $\mathcal{M} = 0$ an der Umkehrunmöglichkeitsfläche, wo keine lebensfähige Zukunft verbleibt.

C1.2 — Steuerungsautorität

Bestimmt durch: Bandbreite (maximale Rate, mit der Steuerung irreversiblem Drift entgegenwirken kann), Erreichbarkeit (verbleibendes Volumen von $\mathrm{Viab}(R)$ zugänglich von $x(t)$), Spielraum (Zeit bis zur Grenze von $x(t)$ unter Nullsteuerung).

Grenzbedingung: An der Umkehrunmöglichkeitsfläche $\Sigma\_NR = \partial\,\mathrm{Viab}(R)$: $\mathscr{M} \to 0$. An der Grenze verbleibt nur eine einzige Zukunftstrajektorie.

C2 — Drift als Konsequenz der Irreversibilität

Proposition C2.1 (Handlungsfähigkeitsverfall unter Drift). Sei $x(t)$ die Evolution unter $dx/dt = f(x) + u$ mit f dem Drift Richtung Attraktor x^*. Wenn das System weit vom Attraktor entfernt ist ($\|x - x^*\| > u\_max/a$), ist die rechte Seite strikt negativ: Handlungsfähigkeit nimmt ab, ungeachtet der Steuerung.

Dies reproduziert den Operator-Horizont von Papier A (Theorem T2) im Handlungsfähigkeitsrahmen und quantifiziert die Rate des Handlungsfähigkeitsverlusts jenseits des Horizonts.

C3 — Notwendige Bedingungen für die Erhaltung der Handlungsfähigkeit

C3.1 — Kontinuierliche Steuerungskosten. Für offene Systeme mit $f(x) \neq 0$ abseits von Fixpunkten erfordert das Aufrechterhalten des Abstands von Σ_NR kontinuierlichen Steuerungsaufwand.

C3.2 — Varianzbedingte Steuerungseffektivität. Für konvexe Steuerungskosten $c(u)$ bewahren Niedrigvarianz-Steuerungstrajektorien $\mathscr{M}(x)$ effektiver als

Hochvarianz- oder impulsive Strategien mit demselben mittleren Steuerungsaufwand (Jensen-Ungleichung).

Korollar C3.1a (Wartungsbedingung). Für $dx/dt = -ax + u$ wird $\mathcal{M}(x)$ genau dann erhalten ($d\mathcal{M}/dt = 0$), wenn $u = ax$. Dies erfordert $x \leq u\_max/a = x_h$ (Operator-Horizont). Für $x > x_h$ kann keine zulässige Steuerung $\mathscr{M}$ erhalten, und $d\mathscr{M}/dt < 0$ strikt.

C5 — Steuerungsbudgets und Ermüdung

Theorem C5.1 (Überlebenszeitschranke). Sei $B(t) = B_0 - \int_0^t c(u(s))\, ds$ das Steuerungsbudget. Definiere die Überlebenszeit T^* als den ersten Zeitpunkt, an dem $B(T^*) = 0$ oder $x(T^*) \notin Viab(R)$. Dann: $T^* \leq B_0/c\_min$.

Endliche Budgets implizieren endliches Überleben: Kein System mit begrenzten Ressourcen kann Handlungsfähigkeit unbegrenzt gegen anhaltenden Drift aufrechterhalten.

C6 — Lärm und Stille

C6.1 — Lärm. Lärm besteuert Ihr Steuerungsbudget, ohne erreichbares Lebensfähigkeitsvolumen zu erweitern: $T\_verlärmt \leq B_0/(c\_min + \alpha\sigma^2) < T\_ruhig$.

C6.2 — Stille. Antwort zurückhalten ($u(t) = 0$) ist eine zulässige Steuerungsaktion. Wenn der Drift langsam oder günstig ist, bewahrt Stille das Steuerungsbudget ohne Handlungsfähigkeitskosten.

Dies ist keine Unterlassung im umgangssprachlichen Sinne; es ist die optimale Steuerungsstrategie, wenn die marginalen Handlungsfähigkeitskosten der Intervention die Handlungsfähigkeitskosten des Drifts übersteigen.

C7 — Kopplung und Rettung

C7.1 — Gekoppelte Systeme und Handlungsfähigkeitstransfer. Wenn Systeme gekoppelt sind, kombinieren sich ihre Driftfelder und Steuerungskapazitäten belasten sich gegenseitig. Die Gesamthandlungsfähigkeit des gekoppelten Systems ist nicht erhalten.

C7.2 — Rettungsinstabilität (Hinreichende Bedingung). Hinreichende Bedingung für gemeinsamen Lebensfähigkeitsverlust: $|f\_A| + |f\_B| > |u\_A|\_max + |u\_B|\_max$. Unter dieser Bedingung übersteigt die Gesamtdriftstärke die verfügbare Gesamtsteuerung.

C8 — Spielraum und Robustheit

Spielraum ist die Mindestzeit bis zum Erreichen von Σ_NR unter Nullsteuerung. Spielraum misst Zeit-bis-zur-Grenze, nicht euklidischen Abstand, und ist die operativ relevante Größe.

Größerer Spielraum impliziert größere Handlungsfähigkeit. Sie haben das gespürt — den Unterschied zwischen drei Monaten Ersparnisse und drei Tagen.

C9 — Austritt als Steuerungsergebnis

Wenn $\mathcal{M}(x(t))$ unter allen zulässigen Steuerungen in einem gekoppelten System monoton abnimmt, bewahrt Entkopplung mehr erreichbares Lebensfähigkeitsvolumen als fortgesetzte Kopplung.

Sie wissen das. Die Beziehung, die mehr Energie zu pflegen kostet als sie liefert, ist eine Beziehung, die Ihren Drift erhöht. Die Mathematik sagt: verlassen. Nicht weil Verlassen moralisch richtig ist. Weil die Geometrie Ihres Lebensfähigkeitskerns sich zusammenzieht, während Sie bleiben.

C10 — Falsifizierbarkeit und Abschluss

FC1: $\mathcal{M}(x)$ nimmt ohne entsprechenden Steuerungsaufwand zu. FC2: Irreversibler Erreichbarkeitsverlust wird ohne äußeren Eingriff umgekehrt. FC3: Stabile Steuerung besteht jenseits Σ_NR. FC4: Unbegrenztes Überleben mit endlichem Budget. FC5: Wiederherstellung nach Ruin.

Papier C führt keine neue Physik ein. Es wendet die irreversiblen und selektiven Beschränkungen der Papiere A und B auf beschränkte Dynamiken innerhalb eines realisierten Protokollsektors an.

Durchgerechnetes Beispiel: Umkehrunmöglichkeitsgeometrie in einem 2D linearen System

Betrachten Sie ein zweidimensionales System mit Zustand $x = (x_1, x_2) \in \mathbb{R}^2$, Drift $f(x) = (-a_1x_1, -a_2x_2)$ mit $a_1, a_2 > 0$, und Steuerung $u = (u_1, u_2) \in [0, u_1^{max}] \times [0, u_2^{max}]$.

Die Beschränkungsmenge ist $R = \{x : x_1 \geq 0, x_2 \geq 0\}$. Der Lebensfähigkeitskern ist das Rechteck $\mathrm{Viab}(R) = [0, x_{1h}] \times [0, x_{2h}]$ wobei $x_{ih} = u_i^{max}/a_i$ der Operator-Horizont pro Achse ist.

Die Umkehrunmöglichkeitsfläche Σ_NR ist die Grenze dieses Rechtecks: jeder Zustand mit $x_1 > x_{1h}$ oder $x_2 > x_{2h}$ befindet sich im Einfangbecken und wird ungeachtet der Steuerung zur Grenze getrieben.

Handlungsfähigkeitsberechnung. Für einen Zustand $x = (x_1, x_2)$ innerhalb von Viab(R): $\mathcal{M}(x) = \mu(\text{Reach}(x) \cap \text{Viab}(R))/\mu(\text{Viab}(R))$. Am Ursprung: $\mathcal{M} = 1$ (gesamter Lebensfähigkeitskern erreichbar). An der Ecke (x_{1h}, x_{2h}) schrumpft Reach auf einen einzelnen Punkt und $\mathcal{M} \to 0$.

Drei Merkmale: (i) die Umkehrunmöglichkeitsfläche ist im linearen Fall achsenseparabel; (ii) Handlungsfähigkeit variiert stetig von 1 bis 0 über den Lebensfähigkeitskern; (iii) die Position innerhalb von Viab(R) bestimmt, wie viel zukünftige Flexibilität verbleibt, unabhängig von der Systemgeschichte.

Experimentelle Instantiierung: E. coli Chemotaxis

Zustandsraum: Zellposition und interner chemotaktischer Signalzustand innerhalb des Gradienten. Lebensfähigkeitskern: Region der Kammer, in der Nährstoffkonzentration Wachstum unterstützt. Drift: Diffusion und Flüssigkeitsströmung tragen Zellen zur nährstoffarmen Zone. Steuerung: chemotaktisches Schwimmen ($u \in U$, begrenzt durch Flagellenmotor-Drehmoment und Tumble-Rate).

Operator-Horizont: die Position, jenseits derer maximales chemotaktisches Schwimmen die Strömungsrate nicht überwinden kann — $x_h = u\_max/a$. Budget: interne Energiereserven (ATP, Protonenmotorische Kraft). Ermüdung: bei Erschöpfung der Reserven blockiert der Flagellenmotor; Steuerung hört auf. Lärm: Brownsche Bewegung und Tumble-Stochastik verbrauchen Steuerungsbandbreite. Ruin: Zelle verlässt die lebensfähige Nährstoffzone.

Falsifikator: Wenn ein nicht-motiler Mutant ($u\_max = 0$) seine Position im Gradienten ohne äußeren Eingriff aufrechterhält, ist Handlungsfähigkeit wie hier definiert falsifiziert.

Jedes Konstrukt in Papier C — Drift, Steuerung, Horizont, Budget, Ermüdung, Lärm, Spielraum, Ruin — bildet sich auf eine messbare Variable in diesem System ab. Die Experimente sind mit Standardausrüstung für Mikrofluidik durchführbar.

Experimentelle Instantiierung: Autonome Roboternavigation

Zustand: (Position, Batteriestand) $\in \mathbb{R}^2 \times \mathbb{R}_+$. Drift: Schwerkraft oder Geländeneigung. Steuerung: Motordrehmoment ($u \in U$, begrenzt durch Motorkapazität). Budget: Batterieladung (B_0). Lebensfähigkeitskern: Zustände, von denen aus der Roboter eine Ladestation erreichen kann, bevor die Batterie erschöpft ist.

Umkehrunmöglichkeitsfläche: Zustände, in denen die verbleibende Batterie nicht ausreicht, um unter optimaler Steuerung einen Lader zu erreichen.

Testbare Vorhersage: Die erreichbare lebensfähige Menge des Roboters schrumpft monoton mit abnehmender Batterie (Proposition C2.1). Optimale Steuerungsstrategien sollten Stille (null Motor) auf günstigen Neigungen ausnutzen, konsistent mit C6.2.

Diese Instantiierungen sind keine Metaphern. Jede bildet die abstrakten Größen ($\mathcal{M}$, B, s, Σ_NR) auf physikalisch messbare Variablen mit quantitativen Vorhersagen ab.

Ende von Papier C. Kanonische Referenz gesperrt · Ausführung abgeschlossen

Papier D — Gekoppelte Lebensfähigkeit: Strukturelle Bedingungen für Multi-Agenten-Persistenz unter irreversiblen Dynamiken

Hängt von Papieren A, B und C ab. Scheitern von Papier D invalidiert Papiere A, B oder C nicht.

D0 — Abhängigkeit, Bereich, Positionierung

Papier D erweitert die Kopplung auf Multi-Agenten-Systeme. Es adressiert: Gegeben mehrere Agenten, jeder beschrieben durch den Formalismus von Papier C, die in geteilten Beschränkungsumgebungen unter irreversibler Physik operieren, was sind die strukturellen Bedingungen für persistente gemeinsame Dynamiken, und welche Formen emergenter Ordnung sind zulässig?

Dies ist eine Frage über die Geometrie gekoppelter Lebensfähigkeitskerne unter Drift. Es ist keine Frage über Gesellschaft, Kooperation oder Moral.

Papier D ist Lebensfähigkeitsgeometrie, angewandt auf physikalisch irreversible, protokollstrukturierte, handlungsfähigkeitstragende gekoppelte Systeme. Es ist nicht evolutionäre Spieltheorie, nicht Multi-Agenten-Reinforcement-Learning, nicht Mechanismus-Design.

D0.5 — Geladene Begriffe: Geometrische Definitionen

„Kooperation“ — geometrische Bedingung, bei der gegenseitige Protokoll-Externalitäten die gemeinsame Lebensfähigkeit erweitern. Keine Absicht, Reziprozität oder Auszahlung impliziert.

„Hierarchie“ — asymmetrische Kopplung, bei der Protokoll-Externalitäten von Agenten höherer Kapazität die Beschränkungslandschaft niedrigerer Agenten dominieren. Konsequenz von Skalenasymmetrie.

„Abschreckung“ — Kopplungskonfiguration, bei der die Kosten einseitiger Entkopplung die Kosten fortgesetzter Kopplung für beide Agenten übersteigen. Eine Lebensfähigkeitsgeometrie.

„Impedanz“ — $Z = u_{max} / a$. Zwei Agenten sind impedanzangepasst, wenn ihre Operator-Horizonte vergleichbar sind.

D1 — Geteilte Beschränkungsumgebungen

D1.2 — Beschränkungskopplung. Wenn Agent As Handlungen die geteilte Umgebung so modifizieren, dass sich Agent Bs Driftfeld, Steuerungsmenge oder Lebensfähigkeitskern ändert, sind die Agenten beschränkungsgekoppelt. Kein direkter Energieaustausch erforderlich.

D1.3 — Protokoll-Externalitäten (Geometrisches Ausschließungsprinzip). Für gekoppelte Agenten mit $K_A \cap K_B \neq \emptyset$: wenn Agent A eine protokollschreibende Handlung ausführt, die die geteilten Beschränkungskoordinaten ändert, dann ändert sich K_B generisch.

Korollar D1.3 (Generizität der Nicht-Neutralität): In glatten Familien von Kopplungsabbildungen hat die Menge protokollschreibender Handlungen, die exakt null Änderung in $\mu(K_B)$ erzeugen, das Maß null. Neutrale Externalität erfordert Parameter-Feinabstimmung.

D2 — Zusammensetzung der Handlungsfähigkeit

Proposition D2.1: Gemeinsame Handlungsfähigkeit ist nicht-additiv. $\mathscr{M}_{joint} \neq \Sigma\, \mathscr{M}_i$ im Allgemeinen.

Super-additiv ($\mathcal{M}_{joint} > \Sigma\, \mathcal{M}_i$) wenn Driftfelder anti-aligniert (Agenten stehen komplementären Bedrohungen gegenüber) und Steuerungsmengen kompatibel. Sub-additiv ($\mathcal{M}_{joint} < \Sigma\, \mathcal{M}_i$) wenn Driftfelder ko-aligniert oder Steuerungsmengen im Konflikt.

D2.2 — Impedanzanpassung. Kopplungseffizienz verschlechtert sich, wenn das Impedanzverhältnis $|Z_i/Z_j|$ von Eins abweicht. Primärer Verschwendungsmechanismus: Steuerungsaufwand, der außerhalb des Interventionsfensters des niedrig-Z-Agenten angewendet wird.

Theorem D2.3 (Spielzeugmodell): Resonanz und Phase. Das Maß der gemeinsamen Lebensfähigkeitsmenge wird maximiert bei $\omega_1 = \omega_2$ und $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ (In-Phase-Resonanz). Kontrahiert monoton mit wachsendem Phasenunterschied.

D3 — Stabile Konfigurationen unter Drift

D3.1 — Kompositionsgleichgewicht (CE). Ein gemeinsamer Zustand-Steuerungs-Konfiguration, in der alle Agenten positive Handlungsfähigkeit ($\mathscr{M}_i > 0$) unbegrenzt aufrechterhalten. CE ruft weder Rationalität noch Auszahlungsmaximierung auf. Es ist eine geometrische Fixpunktbedingung.

CE ≠ NE: Das operator-erforderliche Ladegerät

System: Zwei Roboter, jeder mit Batterie $b_i(t) \in [0, 100]$. Ruin bei $b_i \leq 10$. Drift: Batterie entlädt mit 12 Einheiten/Stunde. Kopplungsbedingung: Zum Laden muss der andere Roboter kurbeln. Laderate: +30 Einheiten/Stunde. Kurbelkosten: zusätzlich −4 Einheiten/Stunde.

CE (Wechsel): R1 lädt, R2 kurbelt. Dann wechseln. Beide oszillieren zwischen 84 und 100. Beide bleiben weit über der Ruinschwelle. Unbegrenztes Überleben.

Nash-Abweichung (Verweigerung des Kurbelns): Strikte lokale Verbesserung (+4/Stunde). Aber: Partner stirbt bei t ≈ 6,375 Stunden. Ohne Partner kann der Abtrünnige nicht laden und stirbt bei t ≈ 13,5 Stunden.

Schlussfolgerung: CE erzeugt unbegrenztes Überleben. Die Nash-Bewegung ist eine strikte lokale Verbesserung. Die Nash-Bewegung tötet den Partner. Ohne Partner stirbt der Abtrünnige. Lebensfähigkeit ≠ Nutzen. Ein rationaler Agent kann sich in die Auslöschung kalkulieren, indem er den Operator-Horizont ignoriert.

D3.2a — Notwendige Bedingungen für Persistenz (unter Alignierung):

(N1) Aggregierte Steuerungskapazität übersteigt aggregierten Drift. (N2) Impedanzkompatibilität: Driftzeitskalen nah genug, dass Hilfe innerhalb des Spielraumfensters des niedrig-Z-Agenten eintreffen kann. (N3) Keine Externalitäten eines Agenten drängen einen anderen über dessen Umkehrunmöglichkeitsfläche schneller als jener kompensieren kann. (N4) Gemeinsames Steuerungsbudget ausreichend.

Verletzung einer Bedingung impliziert, dass mindestens ein Agent seine Umkehrunmöglichkeitsfläche in endlicher Zeit erreicht.

D3.3 — Instabilität und Kaskadenversagen.

Versagen von Agent i propagiert zu Agent j, wenn die Entfernung von is Steuerungsbeitrag js effektiven Drift über js verbleibende Steuerungsmarge ($u_{j,max}$) hinaus erhöht. Eindämmung: Kaskade stoppt bei Agent j, wenn j genügend Spielraum hat, um den Schock zu absorbieren.

D4 — Emergente Ordnung ohne Design

D4.1 — Nullmodell und Ordnungsmetrik. Ordnungsmetrik: Spielraumkorrelation $\rho_{ij} = \mathrm{corr}(s_i(t), s_j(t))$. Zufällige Überlebende: $\rho \approx 0$. Koordinierende Agenten: ρ signifikant positiv.

Statistischer Test: p-Wert berechnen. Ordnung erklären wenn $p < 0{,}05$.

D4.2 — Strukturelle Filterung von Konfigurationen. Unter irreversiblem Drift werden Konfigurationen, die die notwendigen Bedingungen von D3.2a verletzen, eliminiert. Überlebende sind zu Konfigurationen verzerrt, die diese Bedingungen erfüllen — nicht weil sie dafür selektiert wurden, sondern weil alles andere den Lebensfähigkeitskern verlassen hat.

Keine Optimierung, keine Fitnessfunktion, keine Teleologie erforderlich.

D4.3 — Hierarchie als Beschränkungsgeometrie. Bei asymmetrischen Agentenkapazitäten (verschiedene Z-Werte) weisen stabile Konfigurationen generisch hierarchische Struktur auf: Protokoll-Externalitäten von Agenten

höherer Kapazität dominieren die Beschränkungslandschaft von Agenten niedrigerer Kapazität. Die Hierarchie ist geometrisch, nicht intentional.

D4.4a — Kooperation: Kooperationsgleichgewichte existieren, wenn gegenseitige Protokoll-Externalitäten die Lebensfähigkeitskerne stärker erweitern als Kopplungskosten sie kontrahieren. Beobachtbar: $\mathscr{M}$_joint > Σ $\mathscr{M}$_i.

D4.4b — Abschreckung: Abschreckungsgleichgewichte existieren, wenn einseitige Entkopplungskosten die Kopplungskosten für beide Agenten übersteigen. Beobachtbar: $\mathscr{M}$_i(gekoppelt) > $\mathscr{M}$_i(entkoppelt) für alle i.

Beide sind geometrisch. Keines ist normativ.

D5 — Experimentelle Instantiierungen

System 1: Mikrobielle Ökologie (Chemostat)

Geteilter Lebensfähigkeitsbereich: Nährstoff-Populations-Konfigurationsraum. Protokoll-Externalitäten: Abfallprodukte, die pH/Nährstoffverfügbarkeit verändern (irreversible Umgebungsmodifikation). Impedanzanpassung: Stoffwechselratenkompatibilität zwischen Spezies. Spielraum: Zeit-bis-Auswaschung bei aktueller Verdünnungsrate und Populationsdichte. Kaskadenversagen: trophische Kopplungspropagation.

Jedes Konstrukt bildet sich auf eine messbare Variable mit einer quantitativen Vorhersage ab.

System 2: Operator-erforderliches Ladegerät (Zwei Roboter)

Geteilter Lebensfähigkeitsbereich: gemeinsamer (Position, Batterie)-Raum mit geteilter Ladeinfrastruktur. Protokoll-Externalitäten: Stationsbelegung. Kopplungsbedingung: Laden erfordert Kurbeln des Partners. CE ≠ NE Demonstration: Abschnitt D3.1.

Jedes Konstrukt bildet sich auf eine messbare Variable mit einer quantitativen Vorhersage ab.

D5.2 — Falsifikatoren

Jede Proposition hat mindestens einen testbaren Falsifikator mit einer spezifizierten Beobachtungsgröße. Falsifikatoren sind unabhängig von A, B, C.

F0 (Globaler Kill Switch): Multi-Agenten-System überlebt unbegrenzt unter Verletzung aller N1–N4 unter Monoton-Alignierungs- und Regularitätsannahmen.

D1 (Kein kostenloses Überleben). D2.1 (Additivität unter Kopplung). D2.2 (Impedanzunabhängige Effizienz). D2.3 (Anti-Resonanz-Optimalität). D3.3

(Kaskaden-Nichtpropagation). D4 (Ordnung ununterscheidbar von Rauschen). D4.2 (Persistente Verletzer). D4.3 (Hierarchie-Inversion). D4.4a (Kooperations-Nichtexistenz). D4.4b (Abschreckungs-Austritt).

Jede Proposition hat mindestens einen testbaren Falsifikator mit einer spezifizierten Beobachtungsgröße. Scheitern einer Proposition lässt alle vorherigen Papiere intakt.

D5.3 — Bereichsabschluss

Papier D etabliert: wie Multi-Agenten-Zusammensetzung unter den Beschränkungen der Trilogie aussehen muss, was persistente Konfigurationen erfordern, was sie zerstört, und wie diese Behauptungen getestet werden können.

Es bestimmt nicht, ob spezifische Konfigurationen in der Natur realisiert werden. Diese Frage bleibt empirisch.

D6 — Struktureller Abschluss

Papier A: Irreversibilität als Erreichbarkeitsverlust. Unabhängig von B, C, D.

Papier B: Selektion als kostspielige Ausschließung. Hängt von A ab. Unabhängig von C, D.

Papier C: Handlungsfähigkeit als beschränkte Steuerung. Hängt von A ab; nutzt Ergebnis von B. Unabhängig von D.

Papier D: Gekoppelte Lebensfähigkeit unter Multi-Agenten-Beschränkung. Hängt von A, B, C ab.

Die einseitige Abhängigkeit ist erhalten. Scheitern von D invalidiert nicht C, B oder A. Jede Schicht fügt Struktur hinzu. Keine fügt Physik hinzu.

Was bleibt, ist empirisch: welche Systeme diese Strukturen realisieren und wie genau.

Ende von Papier D. Kanonische Referenz gesperrt · Ausführung abgeschlossen

Struktureller Abschluss

Zusammen etabliert die Trilogie eine geschichtete, einseitige Abhängigkeitskette:

Papier A: Irreversibilität als Erreichbarkeitsverlust unter beschränkter Steuerung. Definiert den Aktualisierungszustand, beweist Monotonie unter dekohärierenden Dynamiken und etabliert Umkehrunmöglichkeitsflächen. Unabhängig von Papieren B und C.

Papier B: Selektion als kostspielige, ratenbegrenzte, irreversible Ausschließung alternativer Protokollsektoren, wenn sie existiert. Leitet strukturelle Anforderungen und eine falsifizierbare gravitative Ratenschranke ab. Hängt von Papier A ab; unabhängig von Papier C.

Papier C: Handlungsfähigkeit als normiertes erreichbares Lebensfähigkeitsvolumen unter beschränkter Steuerung innerhalb eines einzelnen realisierten Protokollsektors. Etabliert Propositionen zu Handlungsfähigkeitsverfall unter Drift, Überlebenszeitschranken, Lärm-induzierter Erschöpfung, Nicht-Erhaltung unter Kopplung und Spielraum-Handlungsfähigkeits-Korrespondenz. Hängt von Papier A ab; nutzt Ergebnis von Papier B, aber nicht dessen Mechanismus.

Papier D: Gekoppelte Lebensfähigkeit unter Multi-Agenten-Beschränkung. Hängt von A, B, C ab. Erweitert Kopplung (C7), führt geteilte Beschränkungsumgebungen ein, leitet strukturelle Filterung, Hierarchie, Kooperation und Abschreckung als geometrische Konsequenzen ab.

Scheitern von Papier C invalidiert nicht Papier B. Scheitern von Papier B invalidiert nicht Papier A. Jede Schicht ist unabhängig falsifizierbar.

Was bleibt, ist empirisch: welche Systeme diese Strukturen realisieren und wie genau.

— *e*

Kill Switch Hauptbuch

Das folgende Hauptbuch bildet jeden falsifizierbaren Anspruch in AP01 auf das corpus-weite Kill-Switch-Nummerierungssystem ab. Jeder Kill Switch hat eine eindeutige Kennung (KS-N), einen Status und eine spezifizierte Beobachtungsgröße.

Status-Typen: GESCHLOSSEN (innerhalb des Arguments bewiesen), LIVE-EMPIRISCH (durch Experiment testbar), LIVE-HART (offenes theoretisches Problem).

Papier A — Kill Switches

F0 (Globaler Kill Switch): Operative Invarianz von AS. $|AS(\rho; \mathscr{O}_1) - AS(\rho; \mathscr{O}_2)| > \delta\_exp$ dauerhaft → gesamtes Programm tot. Status: LIVE-EMPIRISCH.

T1 (Monotonie): AS nimmt unter Bedingungen (1)–(3) ab. Status: LIVE-EMPIRISCH. Beobachtbar: AS-Zeitreihe unter kontrollierten Dekohärenzbedingungen.

T2 (Operator-Horizont): System erholt sich jenseits von x_h = u_max/a unter zulässiger Steuerung. Status: LIVE-EMPIRISCH.

F1 (Zeigerversagen): Selektion respektiert die Protokollalgebra nicht. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: R1.

F2 (Born-Verletzung): Ensemblestatistiken realisierter Zweige weichen von $\{p_i\}$ ab. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: R4.

F3 (Kontextabhängigkeit): Selektion hängt von Beobachtereingriff ab. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: R5.

G1: Selektion schneller als ΔE_G/ħ. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: R3.

G2: Selektion zwischen Protokollen mit ΔE_G = 0. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: R2.

G3: Universelle Skalierung mit nichtgravitationellen Parametern. Status: LIVE-EMPIRISCH.

Papier B — Kill Switches

B2: Prä-Irreversibilitäts-Selektion. Ausschließungssignaturen vor ∂Kε. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: BT1.

FG1: Selektionsrate überschreitet ΔE_G/ħ. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: BT4.

FG2: Selektion bei ΔE_G = 0. Status: LIVE-EMPIRISCH. Test: BT3.

Papier C — Kill Switches

FC1: $\mathcal{M}(x)$ nimmt ohne Steuerungsaufwand zu. Status: LIVE-EMPIRISCH.

FC2: Irreversibler Erreichbarkeitsverlust ohne äußeren Eingriff umgekehrt. Status: LIVE-EMPIRISCH.

FC3: Stabile Steuerung jenseits Σ_NR. Status: LIVE-EMPIRISCH.

FC4 (Gratismahl): Unbegrenztes Überleben mit endlichem Budget unter anhaltendem Drift. Status: LIVE-EMPIRISCH.

FC5 (Auferstehung): Wiederherstellung von $\mathcal{M} > 0$ nach Ruin. Status: LIVE-EMPIRISCH.

Papier D — Kill Switches

D1 (Kein kostenloses Überleben): $\mu(K\_B)$ steigt trotz negativer Externalität ohne Kompensation. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D2.1 (Additivität unter Kopplung): $\mathcal{M}$_joint = Σ $\mathcal{M}$_i bei nichtverschwindender Kopplung. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D2.3 (Anti-Resonanz-Optimalität): Maximale gemeinsame Lebensfähigkeit bei Antiphase. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D3.3 (Kaskaden-Nichtpropagation): Versagen propagiert nicht entlang Kopplungsketten. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D4 (Ordnung ununterscheidbar von Rauschen): $p \geq 0{,}05$ für Spielraumkorrelation in allen Kandidatensystemen. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D4.3 (Hierarchie-Inversion): Niedrig-Z-Agent dominiert Beschränkungslandschaft von Hoch-Z-Agent. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D4.4a (Kooperations-Nichtexistenz): $\mathcal{M}$_joint ≤ Σ $\mathcal{M}$_i in allen positiv-Externalitäts-Systemen. Status: LIVE-EMPIRISCH.

D4.4b (Abschreckungs-Austritt): Agent erhöht $\mathcal{M}$ durch einseitige Entkopplung in einem Abschreckungsgleichgewicht. Status: LIVE-EMPIRISCH.

Alle angegebenen Beweise in diesem Dokument folgen aus den lokal deklarierten Definitionen und Annahmen. Alle Propositionen haben spezifizierte Beobachtungsgrößen und testbare Falsifikatoren. Alle Vermutungen sind eingezäunt.

Papiere 0, A, B, C, D
Reihe: The 420 Code
Beweisstück des Künstlers 01 — Die Physik des Operators
Künstler: G

STUDIO G

Veröffentlicht für immer kostenlos