

Kapitel 1 — Das tiefere Tal

§1.1 Weltmodelle

“You don’t change Bitcoin. Bitcoin changes you.”

— Jack Mallers

Es wurden bereits viele gute Bücher über Bitcoin geschrieben. Dieses Buch geht über **dich**. Darüber, wie Bitcoin dich verändert.

UM über die Zeit hinweg zu existieren, muss jedes Lebewesen die Zukunft ausreichend gut vorhersagen können, von der einzelnen Zelle bis zu dir. Karl Friston hat diese weitreichende Einsicht 2006 erstmals formal gezeigt¹: aus wenigen Annahmen mathematisch herleitbar, nennt er sie **Free Energy Principle (FEP)**². Bessere Zukunfts-Prognosen bedeuten dabei weniger freie Energie. **Bitcoin** ist die erste Form von Geld, die Menschen erlaubt, Aspekte ihrer wirtschaftlichen Zukunft zuverlässig vorherzusagen. Per Design reduziert Bitcoin so die freie Energie seiner Nutzer.

Was ist Bitcoin?

Wenn du es schon weißt, überspringe die Box. Volle Architektur in Kap. 5 §5.5 und Kap. 6.

Bitcoin ist kein Produkt einer Firma, sondern ein offenes globales Protokoll für Wert. Was das Internet für Information ist, ist Bitcoin für Geld. Vier Eigenschaften unterscheiden es von dem, was du heute aus dem Automaten ziehst (im Folgenden **Fiatgeld** oder kurz **Fiat**, lateinisch “es werde”, weil der Staat es per Anordnung in die Welt setzt):

Aspekt	Fiat (Euro, Dollar, Yen)	Bitcoin
Regeln	Eine Zentralbank entscheidet über Geldmenge, Zinsen und Konten. Jederzeit per Beschluss änderbar.	In Code mathematisch festgeschrieben. Höchstens 21 Millionen Bitcoin werden je existieren, neue Stücke nach festem Plan. Niemand kann die Regel ändern.
Sicherheit	Wer wann wieviel hatte, steht in Bankdatenbanken, die rückwirkend umgeschrieben werden können. Du musst glauben, dass es nicht passiert. Manipulier- und konfiszierbar.	Gespeichert in einer fortlaufenden Kette von Einträgen. Vergangenheit ist thermodynamisch festgenagelt. Manipulations- und konfiszierresistent by Design.
Zugang	Du brauchst eine Bank, die dich akzeptiert. Konten können gesperrt, Transaktionen blockiert, Auszahlungen verweigert werden.	Offen: jeder kann teilnehmen, niemand braucht Erlaubnis, niemand kann eine Transaktion blockieren. Du hast volle Kontrolle. Zensurresistent per Design.
Prüfbarkeit	Du kannst nichts selbst prüfen. Du musst Bank, Aufsicht und Staat vertrauen.	Du kannst die Anzahl existierender Bitcoins, jeden Eintrag und seine Integrität innerhalb weniger Minuten selbst prüfen. Du musst niemandem vertrauen.

Vier Eigenschaften, ein Effekt: dein Modell der ökonomischen Welt bekommt einen Boden, der morgen noch da ist. Was gestern galt, gilt heute, gilt in hundert Jahren. In der Sprache dieses Buchs heißt das: weniger Überraschung, weniger freie Energie.

Diese vier Eigenschaften sind keine Annahmen, sondern folgen direkt aus Satoshi Nakamotos Whitepaper von 2008³ und dem quelloffenen Code, der sie kryptographisch festschreibt. Du musst das niemandem glauben: Der Code liegt offen, jeder kann ihn prüfen, er läuft seit über fünfzehn Jahren ununterbrochen, und Andreas Antonopoulos leitet sie in *Mastering Bitcoin*⁴ direkt aus diesem Code her.

²

Wichtig dabei zu verstehen ist, dass du die Realität nicht so siehst wie sie ist. Du erlebst eine von deinem Gehirn generierte Simulation. Diese wird in Echtzeit von elektromagnetischen Signalen korrigiert, die von deinen Sinnen kommen und basiert auf einer Art innerer Landkarte: Ein Modell der Realität, das sich durch die Minimierung seiner freien Energie ständig optimiert, damit es weniger (unangenehme) Überraschungen erlebt. Dieser ununterbrochen ablaufende Prozess macht dich überhaupt erst lebensfähig. Was macht Bitcoin also genau mit dir, deinem Gehirn und seinen Modellen, mit denen es versucht, die Welt zu erfassen?

Durch die Linse des FEP offenbart diese Frage eine **Physik der Hyperbitcoinisierung**: den Prozess, bei dem Bitcoin zum globalen Standard wird, also zur Basis unseres Finanzsystems. Das FEP verbindet die Eigenschaften Bitcoins mit der menschlichen Psyche und erzeugt dadurch eine **positive Feedback-Schleife**, die einen Paradigmenwechsel treibt: Bitcoin stabilisiert menschliche Erwartungen, Menschen stabilisieren Bitcoin durch Adoption, und jede Runde vertieft die Synchronisation. Am Ende konvergiert die Schleife im **Bitcoin-Standard**: vollständige Symbiose zwischen dem ökonomischen Teil unserer Weltmodelle (der Schicht, mit der wir Preise, Knappheit und Wert verstehen) und dem Bitcoin-Protokoll.

Eine Perspektive auf diese Physik zeigt die freie Energielandschaft auf dem Cover:

Zwei Täler, getrennt durch einen Hügel. Im linken sitzt eine Kugel mit einem Dollarzeichen, das flachere, das energetisch ungünstigere der beiden. Im rechten, tiefer und stabiler, leuchtet Bitcoin. Und die Frage, die dieses Buch beantwortet, ist so einfach, dass man sie einem Kind stellen könnte: *Wie kommt die Kugel ins tiefere Tal?*

Diese Täler existieren nicht da draußen. Sie existieren in deinem Kopf. Diese hügelige Landschaft ist die freie Energie verschiedener möglicher Modelle, mit denen dein Gehirn seine Sinneseindrücke vorhersagen will. Karl Friston zeigt⁵: weniger freie Energie *ist* bessere Vorhersagekraft. Weniger unangenehme Überraschungen. Die Frage ist also: Welches Geldsystem bevorzugt dein Gehirn, wenn es die Wahl hat? Und warum bleiben so viele trotzdem so hartnäckig im flacheren Tal stecken?

Einfach hinüberrollen kann die Kugel nicht. Zwischen den Tälern liegt ein Hügel, und um ihn zu überwinden, muss sie zuerst *hoch*, bevor sie tiefer fallen kann. Ohne Energieschub bleibt sie, wo sie ist. Für immer.

Eine Analogie macht es greifbar: die Klangschaale.

Schlag sie mit einem Filz-Klöppel an. Der Ton ist klar, rein, er trägt. Das ist kein Zufall: Die Atome im Metall sitzen in einer geordneten Struktur. Die Klangschaale schwingt als Ganzes, und ihre Form bestimmt den Ton.

Jetzt nimm einen Hammer und hau ein paar Dellen in die Klangschaale. Schlag sie wieder mit dem Filz-Klöppel an. Der Ton ist schief, dumpf, er stirbt sofort ab. Die abrupte Verformung hat die Atome aus ihrem Gleichgewicht gezwungen, nun eingeklemmt in verspannten Positionen, die energetisch ungünstiger sind.

Auch diese Situation lässt sich mit dem Bild vom Cover beschreiben. Nach der Malträtierung mit dem Hammer sitzt die Gesamtenergie der Atome im flacheren Tal. Nicht am tiefsten Punkt, sondern in einer energetisch suboptimalen Senke, aus der sie ohne Hilfe nicht herauskommen. Die Schale bleibt verspannt, solange du sie in Ruhe lässt.

Aber es gibt einen Weg zurück.

Erhitze die Schale, bis das Metall glüht. Bei fünf- bis sechshundert Grad werden die Atome beweglich, die Spannungen lösen sich. Sie sind jetzt frei genug, um die Barriere zwischen verspannter und entspannter Anordnung zu überwinden, und sie wandern gleichzeitig, probieren, verwerfen, bleiben. Dann kühlst du langsam ab. Zu schnell, und sie frieren irgendwo dazwischen ein, wieder verkrampft. Nur bei ausreichend langsamer Abkühlung finden sie zurück in die geordnete Anordnung. Nicht weil jemand es ihnen sagt, sondern weil diese Ordnung der energetisch günstigere Zustand ist. Selbstorganisation nach dem Prinzip der freien-Energie-Minimierung. Sie finden ganz von selbst ins tiefere Tal.

Und jetzt schlag die Schale erneut an. Der Ton ist zurück. Leicht verändert durch die Dellen. Aber wieder klar. Tragend. Rein. Die Verspannungen zwischen den Atomen haben sich aufgelöst.

Diesen Prozess nennen Physiker **Annealing**⁶, auf Deutsch: Glühen. Die Hitze gibt den Atomen die Energie, das seichte Tal zu verlassen und das tiefe zu finden. Ohne Hitze bleiben sie in der erstbesten Anordnung stecken. Mit Hitze finden sie die beste. Dasselbe Verfahren steckt überall, wo Strukturen ihre optimale Anordnung finden müssen: Schmiede glühen das Schwert nach dem Hämmern und kühlen langsam ab — sonst bricht die Klinge. Halbleiter-Chips werden nach jedem Ionenbeschuss bei 500 bis 950 Grad geglüht, damit die Atome ihre Plätze im Kristallgitter zurückfinden — der Prozessor in deinem Tele-

fon hat das ein paar Dutzend Mal durchlaufen. Großteleskop-Spiegel wie der von Hubble werden nach dem Gießen über Wochen Grad für Grad heruntergekühlt, weil schnelle Abkühlung innere Spannungen einfriert und das Bild verzerren würde. Sogar Software nutzt das Prinzip: *Simulated Annealing* findet damit die kürzeste Route eines Lieferdienstes durch hundert Städte, die beste Verschaltung eines Mikrochips, oder den Schichtplan einer Bahn-Disposition⁷. Auch auf der Ebene der Information macht dein Gehirn unter Psychedelika oder im Tiefschlaf etwas Ähnliches — festgefahrene Vermutungen weichen auf, neue Konfigurationen werden zugänglich (*neural annealing*)⁸.

Annealing wirkt überall, wo es eine zerklüftete Energielandschaft mit lokalen Tälern gibt — und ein System, das das tiefste Tal sucht. Annealing ist dabei das *Werkzeug*. Was passiert, wenn ein System dadurch aus einem Regime in ein *qualitativ anderes* kippt, hat einen eigenen Namen: **Phasenübergang**. Wasser friert, Eisen wird magnetisch, Beifall synchronisiert sich, ein Geldsystem kippt. Annealing senkt oft die Barriere, die so einen Übergang trennt. Merk dir das Wort, es kommt wieder.

Was Annealing wirklich tut, ist, den Atomen mehr Möglichkeiten zur Exploration zu verschaffen. Wie viele davon den Atomen offen stehen, misst die **Entropie**. Bei Zimmertemperatur sind die meisten Alternativkonfigurationen energetisch unerreichbar — jedes Atom sitzt praktisch in seiner verspannten Position fest. Beim Glühen werden Barrieren überwindbar: das Atom kann wandern, probieren, verwerfen, und findet *deshalb* den tieferen Platz.

Und jetzt zum Punkt.

Der gleiche Prozess passiert in unserem Gehirn, wenn es seine Modelle über die Welt optimiert. Wenn es sich selbstständig für das eine Weltmodell entscheidet, welches seine Sinneseindrücke am besten erklärt und vorhersagen kann. Ersetze „*Atome*“ durch „*Vermutungen über die Welt*“, ersetze „*Verspannungen im Metall*“ durch „*Widersprüche im Weltmodell*“ — und du hast dasselbe Bild.

Statt Verspannungen zwischen Atomen löst das Gehirn Verspannungen zwischen Informationen: Widersprüche, Unvollständigkeiten. Im Fiat-System steckt der ökonomische Teil unseres Weltmodells in genau so einer verspannten Struktur. Der Unterschied zur Klangschaale ist allerdings: Das Fiat-System erhöht seine eigene Entropie.

Jedes Mal, wenn eine Zentralbank in einer offenen Geldordnung Geld druckt, einen Konzern rettet oder die Zinsen verbiegt, entsteht Unsicherheit, also Entropie. Diese Unsicherheit wirkt wie Hitze, nicht auf Atome, sondern

auf Informationen. Genauer gesagt auf die Vermutungen, aus denen das Weltmodell im Kopf jedes einzelnen Menschen besteht: was Geld ist, was ein Euro morgen wert sein wird, welche Regeln gelten, was überhaupt noch ernst genommen werden darf. Jede Intervention weicht diese Vermutungen auf: Diese Vermutungen werden als weniger zuverlässig eingeordnet. Und eine weichere Vermutung heißt: das Weltmodell wird flexibler, weniger starr, und damit leichter durch ein anderes ersetzbar. Das Fiat-Geldsystem haut Dellen in die Schale *und* erhitzt sie gleichzeitig. Es erzeugt die Spannungen und liefert die Entropie, die nötig ist, um sie zu überwinden.

Fiat erzeugt die Entropie für seinen eigenen Phasenübergang.

Die Kugel auf dem Cover muss nicht geschubst werden. Das seichte Tal senkt die Barriere von ganz allein.

Eine Frage bleibt noch offen, und sie führt direkt ins nächste Kapitel. Was *bringt* deine Schale überhaupt zum Schwingen? Eine Schale allein macht keinen Ton. Es braucht etwas, woran sie mitschwingen kann: einen Klang, der zu ihr passt. Was diesen Klang erzeugt, und warum ausgerechnet Bitcoin der Gong ist, dessen Ton ökonomische Weltmodelle synchronisiert: *darum* geht es jetzt.

§1.2 Die These

Bevor die These ausgesprochen wird, hier die Konzepte, aus denen sie gebaut ist.

Zwölf zentrale Konzepte

Die folgenden Konzepte sind die Bausteine aus denen die Argumentation in diesem Buch besteht. Sie bauen aufeinander auf und hängen voneinander ab. Keine Sorge, wenn du sie nicht sofort verstehst. Der Rest des Buches vertieft sie und zeigt dir wie diese Konzepte zusammenspielen. Das ist sehr komprimierte Information und es lohnt sich diese Konzepte immer mal wieder zu lesen. Es gibt drei Kategorien: **was ein lebendes System ist, wie seine Teile zusammenhängen**, und **wie es sich optimiert**.

Was ist es?

- **Weltmodell** — die innere Landkarte, die jedes lebende System, ob Zelle, Gehirn oder Gesellschaft, von der Welt hat. Sie kodiert, was das System grundsätzlich erwartet: was es alles gibt, was womit zusammenhängt und was woraus folgt. Die **Weltsimulation** aktiviert diese Erwartungen für den aktuellen Moment: das, was du als “die Welt” erlebst, samt Vorhersage, was als Nächstes kommt. Die Simulation wird mit jedem Sinneseindruck in Echtzeit nachjustiert; das Weltmodell selbst lernt nur langsam, über die Zeit. Weltmodell ist die Struktur, Weltsimulation der laufende Output. Was du für die Realität draußen hältst, ist die Simulation. Bild: das Weltmodell ist wie ein Musikinstrument, die Weltsimulation die Musik, die es gerade spielt. (Kap. 2)
- **Vermutung** (auch: *Glaube*, engl. *Belief*) — Bausteine des **Weltmodells**. Jede hat vier Eigenschaften: **worüber** sie geht (“*Regen morgen*”), **welcher Wert** am wahrscheinlichsten ist (“*um 15 Uhr*”), **wie sicher** sich das System ist (“ ± 2 Stunden”), und wie stark sie mit anderen Vermutungen **zusammenhängt** (die Regen-Vermutung zieht zum Beispiel Vermutungen über Temperatur und eigene Stimmung nach sich). (Kap. 2, 7)
- **Überraschung** — der Unterschied zwischen dem, was das **Weltmodell** erwartet, und dem, was die Sinne liefern. Also das was passiert, wenn eine **Vermutung** daneben liegt. Lebewesen minimieren erwartete Überraschung, also Überraschungen in der Zukunft. So werden ihre Vermutungen immer besser. (Kap. 2)
- **freie Energie** — die Messgröße für erwartete **Überraschung**. Karl Friston hat gezeigt: jedes lebende System minimiert sie unaufhörlich. Wer minimiert, bleibt ein intaktes System. Wer nicht, zerfällt. Tiefer in der Energielandschaft bedeutet weniger Überraschung, ein besseres Weltmodell und eine nützlichere Weltsimulation. (Kap. 2)

Wie hängen seine Teile zusammen?

- **Synchronisation** — der dynamische Prozess, in dem Systeme ihre Information in Zusammenhang bringen. Was im einen vorgeht, hängt mit dem zusammen, was im anderen vorgeht. Das kann **ein einzelnes Weltmodell** sein, das sich an der Realität ausrichtet (Zelle an sensorischem Input, Gehirn an Sinneseindrücke), oder **viele Einzelteile**, die sich mit-

einander abstimmen. Entweder mit Dirigent wie im Orchester, oder **ohne**, wie bei den Fällern, die uns interessieren. Dasselbe passiert auf jeder Ebene, von klein bis groß: Neuronen im Gehirn, Zellen in einem Organ, Metronome auf einem Brett, Fußballfans zum gemeinsamen Lied, Menschen an ein gemeinsames Geld. (Kap. 4, 6)

- **Informationskohärenz** — der stabile Zustand, der nach **Synchronisation** entsteht, wenn viele Teile in fester Beziehung zueinander bleiben. Vier Richtungen: horizontal (zwischen Teilen einer Ebene), vertikal (zwischen Ebenen: Zelle → Organ → Körper → Markt), zurück (Erinnerung), vorwärts (Prognose). Alle vier greifen bei den Fußballfans beim gemeinsamen Lied. Ohne zeitliche und skalenübergreifende Kohärenz kein lebendes System. (Kap. 4)
- **Top-Down-Kausalität** — wenn das Ganze seine Teile beeinflusst, ohne sie einzeln zu kommandieren. Voraussetzung: vertikale und zeitliche **Kohärenz**. Top-Down-Kausalität erzeugt daraus dann horizontale Kohärenz (Hakens Slaving-Prinzip). Genauso wie das gemeinsame Lied im Fußballblock jede Einzelstimme beeinflusst, formt Bitcoin das ökonomische **Weltmodell** seiner Nutzer und synchronisiert sie horizontal zu einer gemeinsamen ökonomischen Realität. (Kap. 4)
- **Selbstorganisation** — was **Top-Down-Kausalität** über die Zeit produziert: Systeme rutschen von allein in energetisch günstigere Zustände, weil jeder einzelne Teil seine **freie Energie** minimiert. Kein Dirigent, kein Plan, im Fußballblock kein Chorleiter, und trotzdem singen alle dasselbe Lied. Nur Physik plus Kopplung. (Kap. 4, 6)

Wie optimiert es sich?

- **Tieferes energetisches Tal** — der Punkt, wohin **Selbstorganisation** ein System zieht. Ein stabiler Zustand, der energetisch günstiger ist als die Alternativen. Wer ins tiefere Tal findet, muss kein Ziel kennen. Das System fließt dorthin, weil es dort weniger Überraschung gibt. Das Cover des Buches lebt von diesem Bild. (Kap. 6, 8)
- **Entropie** — ein Maß für Unordnung oder Unsicherheit. **Dasselbe Maß in zwei Sprachen**: für Atome, wie chaotisch sie sich bewegen, und für **Vermutungen**, wie unsicher das System sich ist. Hoch heißt chaotisch und flexibel, niedrig heißt fest und geordnet. **Annealing**

erhöht Entropie vorübergehend, damit festgefahrene Zustände sich neu ordnen können. Fiats Unzuverlässigkeit treibt die Entropie ökonomischer Vermutungen nach oben. Das ist der Mechanismus, mit dem Fiat seine eigenen Barrieren senkt. (Kap. 7, 8)

- **Annealing** — wie ein System die Barriere zum **tieferen Tal** überwindet durch Entropieerhöhung. Festgefahrene Strukturen weichen sich auf, das System wird beweglich und findet den energetisch günstigeren Zustand. Im Kopf dasselbe: wenn Unsicherheit steigt, weichen **Vermutungen** auf, und das Weltmodell kann sich neu ordnen. Analogie: Klangschale. (Kap. 8)
- **Phasenübergang** — was passiert, wenn ein System qualitativ umkippt: aus einem Zustand wird ein anderer mit ganz anderen Eigenschaften. Wasser friert, Eisen wird magnetisch, Applaus synchronisiert sich, ein Geldsystem kippt. Beim Geldsystem ist die Barriere ins tiefere Tal vielschichtig: festgefahrene Vermutungen über Geld und soziale Bindung an den Status quo; die Entropie, die sie senkt, kommt aus Fiat selbst. (Kap. 6, 8)

Und jetzt die These. Keine Angst, wenn du sie nicht sofort verstehst. Jedes Wort steht oben und die darauf folgenden sieben Schritte entfalten sie so, dass du sie am Ende selbst formulieren kannst.

Bitcoin wird Standard, weil es durch seine Eigenschaften ein Prinzip verwirklicht, das Voraussetzung für das Leben selbst ist: Um zu überleben, muss jedes Lebewesen, vom Einzeller bis zum Menschen, ständig sein Weltmodell mit der Realität synchronisieren, indem es seine freie Energie minimiert und damit Überraschungen reduziert.

Bitcoin tut genau das für die ökonomische Domäne: Verglichen mit Fiat minimiert es die freie Energie seiner Nutzer, indem diese sich selbst-organisiert zu einer zuverlässigen ökonomischen Realität synchronisieren. Dahinter steht Top-Down-Kausalität — alle richten sich am selben Protokoll aus. Bitcoins Eigenschaften erzeugen Informationskohärenz über Ebenen, untereinander und individuell durch Raum und Zeit. Dieser energetisch günstigere Zustand ist ein tiefes Tal, in dessen Zentrum der Bitcoin-Standard steht.

Der Übergang dorthin ist ein Phasenübergang, getrieben vom Annealing der festgefahrenen Fiat-Vermutungen durch Fiats eigene Entropieerhöhung.

Eine prüfbare Vorhersage daraus: Die drei schwer gemeinsam zu verwirklichenden psychologischen Grundbedürfnisse, die Fiat alle strukturell verletzt, werden simultan erfüllt — Autonomie, Kompetenz, Verbundenheit.

Diese dichtgepackte These entfaltet sich in sieben Schritten, jeder mit einem Bild, das du dir merken kannst, und einer Pointe, die Physik oder Mathematik-Nerds überprüfen können. Am Ende dieser sieben Schritte hast du die ganze Idee bereits in der Hand. Der Rest des Buches vertieft, entwickelt Intuition, präsentiert Beispiele und Illustrationen, klärt fehlende Details und macht die Argumentation mathematisch wasserdicht.

Erstens: Du siehst die Realität nicht so, wie sie ist. Du erlebst eine selbst generierte Simulation. Diese Simulation erzeugt dein eigenes Gehirn basierend auf einem internen Modell: einem komplexen Netz aus Vermutungen. Was du erlebst ist eine aus Vermutungen generierte Erwartung: eine Simulation. Die elektromagnetischen Signale, die von deinen Sinnen kommen, generieren deine Erfahrung nicht — sie korrigieren sie nur dann, wenn sie von deinen Erwartungen abweicht. Die Existenz von Träumen zeigt es: Du machst Erfahrungen, obwohl keine externen Signale hereinkommen. Hier ist dein Gehirn anders als die Klangschale: sie bleibt ohne Anschlag still, aber dein Gehirn nicht. Was beide verbindet: die innere Struktur bestimmt, was herauskommt: bei der Schale den Ton, beim Gehirn die Simulation.

Dieses Modell in deinem Gehirn optimiert sich selbst, indem es **Überraschungen** minimiert, also den Unterschied zwischen dem, was es erwartet, und dem, was es erlebt. Wenn dein Gehalt auf einmal nicht mehr für die Miete reicht, ist das eine Überraschung. Dein Körper versucht, solche Überraschungen klein zu halten: entweder durch Lernen (Modell-Anpassung: jetzt bin ich arm) oder durch Handeln (Welt-Anpassung: Ich arbeite härter und verdiene mehr Geld).

Karl Friston, einer der einflussreichsten Neurowissenschaftler der Welt, hat gezeigt⁹, dass sich dieses Prinzip mathematisch fassen lässt. Er nennt es **variationelle freie Energie** (wir kürzen hier mit *freie Energie* oder nur *F* ab). Der Name klingt nach Physik, und das ist kein Zufall.

Wer ist Karl Friston?

Prof. Dr. Karl J. Friston (University College London) gehört seit Jahren zu den meistzitierten lebenden Wissenschaftlern. Semantic Scholar führte ihn 2016 als einflussreichsten Neurowissenschaftler weltweit. Sein **Free Energy Principle (FEP)** ist das informationstheoretische Analogon zum physikalischen **Prinzip der kleinsten Wirkung**: wo physikalische Teilchen dem Pfad stationärer Wirkung folgen, minimieren lebende Systeme freie Energie. Gleiche mathematische Tiefe, anderes Substrat: Information statt Teilchen.

Stell dir einen Kalender in deinem Kopf vor, auf dem du für jede Sekunde einträgst, was als Nächstes passieren wird: dass das Brot morgen 2,30 € kostet, dass der Bus in vier Minuten kommt, dass dein Chef gleich über den Kaffee schimpft. Je schlechter dein innerer Kalender, desto mehr Überraschungen wirst du erleben. Diese Passungenauigkeit nennt Friston freie Energie. Je schlechter der Kalender, desto höher sitzt du in der Landschaft vom Cover. Je besser, desto tiefer. **Überraschung minimieren heißt: ein tieferes Tal finden, und damit einen besseren Kalender.**

Nerdbox — MINT-Studium Level: Zwei freie Energien, dieselbe Struktur

Vertieft das Argument. Wer überspringt, verliert nichts.

Die freie Energie ist eine **Bilanz zwischen zwei Gegenspielern**. Bei Helmholtz, in der Thermodynamik¹⁰:

freie Energie = innere Energie – gebundene Energie

$$F = \underbrace{U}_{\text{innere Energie}} - \underbrace{T \cdot S}_{\text{gebundene Energie}}$$

Die *innere Energie* U ist die gesamte Energie *innerhalb* des Systems: kinetische Energie der Moleküle plus Bindungsenergien plus alle inneren Wechselwirkungen. Die *gebundene Energie* — Helmholtz' Originalbegriff für $T \cdot S$ — ist der Anteil von U , der bei konstanter Temperatur nicht in Arbeit umgesetzt werden kann (anschaulich: gefangen im thermischen Chaos). T ist die absolute Temperatur, S die thermodynamische Entropie (das Maß für thermisches Chaos).

Karl Friston hat gezeigt, dass dieselbe Bilanz-Struktur auch für Information gilt. Die *variationelle freie Energie*:

Variationelle freie Energie = Modell-Komplexität + Modell-Überraschung

$$\mathcal{F}[q] = \underbrace{D_{KL}[q(\eta|m) \| p(\eta|m)]}_{\text{Modell-Komplexität}} + \underbrace{(-\mathbb{E}_q[\ln p(o|\eta, m)])}_{\text{Modell-Überraschung}}$$

$q(\eta|m)$ ist deine **aktualisierte Vermutung** über die verborgene Welt η unter Modell m , $p(\eta|m)$ deine **ursprüngliche Vermutung** (Prior). D_{KL} ist die *Kullback-Leibler-Divergenz* — sie misst, wie weit q sich von p wegbewegen musste, also wie viel Modell-Verbiegung das Update gekostet hat. $\mathbb{E}_q$ ist der Erwartungswert unter q ; $p(o|\eta, m)$ die Wahrscheinlichkeit der beobachteten Daten o unter dem Modell — je schlechter das Modell die Daten erklärt, desto kleiner $\ln p(o|\eta, m)$, desto größer die *Modell-Überraschung*. Lebende Systeme minimieren $\mathcal{F}$ — kleinerer Widerspruch zur Welt bei kleinerer Abweichung vom Gewohnten. (In der Standardliteratur heißt der zweite Term *negative Accuracy*; nicht zu verwechseln mit dem *Surprisal* $-\ln p(o)$, einer verwandten, aber distinkten Größe.) Volle Behandlung in Kap. 2.

Was hat Annealing mit beiden zu tun? In beiden Fällen gibt es einen einzelnen Parameter, der den **Maßstab** setzt, an dem die Landschaft gemessen wird — und genau dieser Maßstab entscheidet, ob das System im ersten Tal stecken bleibt oder weiter wandern darf. Entscheidend ist beide Male die **Entropie**.

Bei **Helmholtz** setzt die Temperatur den Maßstab, an dem Energieunterschiede gemessen werden. Bei hoher Temperatur ist die thermische Energie vergleichbar mit den Barrierenhöhen — die Landschaft wirkt **flach**, das System huscht über die Barrieren. Bei tiefer Temperatur wird jede Barriere haushoch — das System bleibt im ersten Tal hängen. Die thermodynamische Entropie (viele zugängliche Mikrozustände bei hoher Temperatur) ist der Mechanismus dahinter: viele Alternativen im Spiel → relative Energieunterschiede unwichtiger → Landschaft flacht ab.

Bei **Friston** setzt die **Unsicherheit deiner Vermutungen** den Maßstab — formal die Inverse der **Schärfe** λ , also die Varianz $\sigma^2 = 1/\lambda$, deren Logarithmus die Shannon-Entropie einer Gauss-Verteilung bestimmt: $h = \frac{1}{2} \ln(2\pi e \sigma^2)$. Bei **unsicheren Vermutungen** (niedriges λ) liegen alle Modelle “ähnlich nah” — die Modell-Landschaft ist **flach**, das System erkundet frei. Bei **scharfen Vermutungen** (hohes λ) ist jede Abweichung exponentiell bestraft — die Landschaft hat tiefe Täler. Mehr Unsicherheit ist hier das, was die Landschaft abflacht: viele mögliche Modelle im Spiel → relative Modell-Unterschiede unwichtiger → Barrieren überwindbar.

Derselbe Mechanismus, anderes Substrat: **Entropie = wie viele Alternativen gleichzeitig im Spiel sind**. Beim Annealing wächst die Entropie vorübergehend — die Landschaft flacht ab, das System findet neue Konfigurationen. Beim Abkühlen (niedrige Temperatur bzw. wieder **scharfe Vermutungen**) kehrt die Struktur zurück — aber das System sitzt jetzt an einem besseren Platz.

Gleiche Mathematik, anderes Substrat — einmal Teilchen, einmal Information. Wer variationelle freie Energie minimiert, lebt. Wer nicht, zerfällt. Leben als Kristallisation von Information, die dem Wärmetod standhält.

Wer freie Energie minimiert, lebt. Wer nicht, zerfällt. Leben ist nicht eine Substanz, die zusätzlich freie Energie minimiert. Leben *ist* das, was übrigbleibt, wenn die Minimierung lange genug gelingt. Alles andere zerfällt und hört auf, ein “es” zu sein.

Das FEP sitzt tiefer als Dopamin, Hormone oder das Belohnungssystem. Diese sind nur evolutionäre grobkörnige Stellschrauben, mit denen die Minimierung der freien Energie in Fleisch und Blut eingebaut wurde. Dopamin belohnt nicht den Spaß selbst, sondern den Vorhersagefehler, an dem das Modell lernt — klassisch als *Reward Prediction Error* formuliert¹¹, in der FEP-Lesart als Schärfe auf die neue Vorhersage. Mehr darüber in Kapitel 2.

Und jetzt heb das Bild auf die globale Ebene: Milliarden Menschen, jeder mit seinem eigenen Weltmodell, eigenem inneren Kalender, eigenen Sammlung von Vermutungen. Alle etwas unterschiedlich und doch folgen alle dem gleichen Prinzip: freie Energie minimieren. Aber das individuelle Optimum ist nicht das globale: erst wenn die Modelle aneinander koppeln, sinkt die freie

Energie für den Einzelnen **und** für alle zusammen. Genau wie bei dem Experiment mit 20 Metronomen auf einem Brett¹²: jedes tickt zuerst eigensinnig, aber nach wenigen Minuten schwingen alle synchron, weil die freie Energie des gekoppelten Systems im gemeinsamen Takt am niedrigsten ist, auch für jedes einzelne Metronom.

Der informationelle Teil der meisten Weltmodelle wechselwirkt längst. Allerdings chaotisch, über das Internet, voller Widersprüche, und je nach konsumiertem Content senkt das die freie Energie oder treibt sie durch die Decke. Der ökonomische Teil dagegen braucht eine zuverlässige Kopplung. Tausch ist ein synchroner Akt: Käufer und Verkäufer müssen *jetzt* dieselben Regeln teilen. Ohne diesen gemeinsamen Rahmen ist ökonomisches Handeln ineffizient bis unmöglich. Geld kann Weltmodelle zu einer gemeinsamen ökonomischen Realität verbinden. Wenn es die dafür notwendigen Eigenschaften hat.

Zweitens: Die Minimierung der freien Energie schafft Kohärenz. Kohärenz heißt, dass viele Teile zusammenpassen, über Zeit, Raum und Ebenen hinweg. Deine Zelle sitzt in deinem Organismus, dein Organismus in einer Gesellschaft, deine Gesellschaft in einem Markt — vier Stockwerke übereinander. Jede Ebene muss mit der darüber und darunter Informationen teilen, sonst zerreißt die Geschichte zwischen ihnen: das ist **vertikale** Kohärenz. Dazu kommen **horizontal** (zwischen den Leuten auf derselben Etage), **zurück** (*Erinnerung*) und **vorwärts** (*Prognose*). Vier Richtungen, gleichzeitig.

Stell dir Fußballfans vor, die im Block zusammen singen: **horizontal** singen alle dasselbe Lied im selben Takt; **vertikal** formt jede Einzelstimme den Chor-Gesamtklang, der wiederum die Stadion-Stimmung bildet, die wiederum auf die Spieler wirkt; **zurück** sitzen die Liedtexte im gemeinsamen Gedächtnis, geformt durch Jahre des Mitsingens; **vorwärts** wissen alle, was im nächsten Takt kommt — der Refrain, der Schlachtruf. Alle vier Richtungen aktiv, gleichzeitig, ohne Dirigent.

Der eigentliche Trick sitzt im Zusammenspiel: Bei 50.000 Fans kann niemand mit jedem anderen direkt verhandeln, ob er gerade im Takt ist. Die **horizontale** Kohärenz entsteht **indirekt** — jeder Fan richtet sich am **Gesamtklang des Stadions** aus (das ist die **vertikale** Kopplung: Einzelstimme richtet sich an der Makro-Ebene aus), und jeder trägt ein inneres Modell des Liedes (die **zeitlichen** Richtungen: er weiß, wo er gerade ist und welcher Takt als nächstes kommt). Aus den beiden indirekten Richtungen — *vertikal* und *zeitlich* — erzeugt sich die horizontale Kohärenz automatisch. Hermann Haken nennt

das das **Slaving-Prinzip**¹³: viele Einzelteile richten sich an einer gemeinsamen Makro-Größe aus und sind dadurch untereinander synchron, ohne direkt von außen gelenkt zu werden.

Fällt nur eine dieser Richtungen aus wird aus dem kraftvollen Chor ein chaotisches Durcheinander und die Stimmung ist am Boden.

Merk dir diese vier Richtungen — sie kommen wieder. Was Physiker präziser **Informationskohärenz** nennen, ist genau das: viele Teile stehen in fester Beziehung zueinander und ergeben ein in sich stimmiges, widerspruchsfreies Gesamtbild — zwei Gehirne, die dieselbe Realität teilen; eine Gesellschaft mit einer konsistenten Vorstellung davon, was Geld ist. Genau dasselbe Muster gilt für Zellen, Gehirne und Märkte.

Nerdbox — MINT-Studium Level: Wechselseitige Information

Vertieft das Argument. Wer überspringt, verliert nichts.

Informationskohärenz ist der Dach-Begriff: viele Teile stehen in fester Beziehung zueinander und ergeben ein in sich stimmiges, widerspruchsfreies Gesamtbild. Wenn das Buch von Gehirnen und Märkten spricht, die dieselbe ökonomische Realität konsistent tragen, dann ist das die formale Grundlage: die **wechselseitige Information** — wie viel zwei Größen gemeinsam wissen:

$$I(X; Y) = \underbrace{H(X) + H(Y)}_{\text{Einzel-Entropien, addiert}} - \underbrace{H(X, Y)}_{\text{gemeinsame Entropie}}$$

$H(X)$ ist die *Shannon-Entropie* von X — intuitiv: wie unsicher man über X ist, wenn man sonst nichts weiß. $H(X, Y)$ ist die *gemeinsame Entropie* des Paares (X, Y) . **Wechselseitige Information ist, was an Entropie verschwindet, wenn man X und Y zusammen statt getrennt anschaut.** Wenn X und Y unabhängig sind, gilt $H(X, Y) = H(X) + H(Y)$ und damit $I = 0$. Je mehr sie sich teilen, desto kleiner $H(X, Y)$, desto größer I . Phasenkohärenz, GPS-Atomuhren und Doppelspalt-Interferenz sind Manifestationen derselben Größe — Kap. 4 entfaltet sie als Spezialfälle der vier Kohärenz-Richtungen.

Im FEP-Rahmen taucht I als Teil der freien Energie selbst wieder auf. Konkret zerlegt Friston¹⁴ die zukunfts-gewandte freie Energie un-

ter einem **Handlungsplan** u (eine Politik möglicher Aktionen — in Friston-Originalnotation π) als

$$\mathcal{G}(u) = - \underbrace{I(\eta; o \mid u)}_{\text{wechselseitige Information}} - \underbrace{\mathbb{E}_q[\ln p(o)]}_{\text{Präferenz-Term}}$$

Dabei ist η ein verborgener Weltzustand und o eine zukünftige Beobachtung. Wer $\mathcal{G}$ minimiert, maximiert die wechselseitige Information zwischen verborgenen Zuständen und erwarteten Beobachtungen. Das ist die agentinterne Variante: die inneren Vermutungen über die Welt rasten auf das ein, was die Welt tatsächlich anbietet.

Dass dieselbe Minimierung auch *zwischen Agenten* zu wechselseitiger Information führt, folgt aus einer engen Verwandtschaft:

$\mathcal{F}$ -Minimierung $\leftrightarrow$ Eigenmoden-Bildung $\leftrightarrow$ Synchronisation.

Wenn viele Agenten parallel ihre freie Energie minimieren und einen gemeinsamen Constraint teilen, koppeln ihre Slow-Modes, und die wechselseitige Information zwischen ihnen wird generisch hoch (zwingend nur unter Zusatzbedingungen — antagonistische Präferenzpriors über denselben Constraint können divergieren statt konvergieren). (*Begriffsklärung: „Mode“ hier im weiten Sinn — Slow-Mode mit Selbstkonsistenz und eigener Relaxationszeit, wie der Marktpreis in Kap. 3 §3.3. Im engen Operator-Sinn $L\psi = \lambda\psi$ — Klangschalen-Mode, Bitcoins drei algorithmische Rhythmen — gilt es ebenfalls, ist aber der Spezialfall einer translationsinvarianten Kopplung.*) Im linear-Gauss'schen Kopplungsfall mit gemeinsamem Constraint lassen sich die drei Operationen auf dieselbe Variations-Bedingung zurückführen; im nichtlinearen Fall gilt das nahe einer Bifurkation (Hakens Slaving-Prinzip). Die formale Entfaltung steht in Kap. 4 und Anhang A.1.

(Der agentinterne Teil ist in¹⁴ gezeigt. Die Multi-Agent-Brücke ist in mehreren äquivalenten Formulierungen ableitbar: Modenbildung, Mean-Field-Aggregation, gemeinsames generatives Modell. Millidge, Tschantz und Buckley¹⁵ weisen darauf hin, dass die exakte EFE-Zerlegung nicht eindeutig aus der variationalen freien Ener-

gie folgt; alle untersuchten Formen liefern jedoch dieselbe MI-Max-Eigenschaft.) ▽

Denk diese vier Richtungen jetzt global, für die ökonomische Domäne: zwischen Milliarden Menschen (horizontal), über Ebenen vom Einzelnen über den lokalen bis zum globalen Markt (vertikal), durch Geschichte (zurück) und Zukunft (vorwärts). Ein Signal, das alle vier Richtungen trägt, wäre ein globaler Kohärenz-Anker. Die nächsten Punkte zeigen, warum Fiat daran scheitert — und Bitcoin genau das liefert.

Drittens: Das Ganze beeinflusst seine Teile, ohne sie einzeln zu steuern. Das Slaving-Prinzip aus Punkt zwei hat einen allgemeineren Namen: **Top-Down-Kausalität**. Hier sitzt der Mechanismus, ohne den nichts in diesem Leben funktionieren würde. Der Chor-Gesamtklang der Fußballfans entsteht zwar aus den Einzelstimmen — das ist die klassische Bottom-up-Richtung. Aber er wirkt *zusätzlich* auf jede Einzelstimme zurück und formt sie mit. Der klassische Physik-Instinkt *“Atome bestimmen das Ganze”* ist nur die halbe Wahrheit. Die andere Hälfte — das Ganze formt seine Teile — ist Top-Down-Kausalität. Im Alltag ständig sichtbar: Orchester, Sprache, Sozialnormen, Marktpreise, Festivals.

Erinnerst du dich an die zwanzig Metronome aus Punkt eins? Jetzt schauen wir den Mechanismus genauer an. Verbunden über das Brett, auf dem sie stehen, etablieren die Metronome von selbst einen gemeinsamen Beat — nicht weil jemand sie einzeln steuert, sondern weil die freie Energie des gekoppelten Systems im gemeinsamen Takt minimal ist. Genau das passiert: durch **vertikale Kohärenz** (zwischen einzelnen Metronomen und Brett) entsteht **horizontale Kohärenz** (zwischen vielen Metronomen). Das ist Selbstorganisation durch emergente Top-Down-Kausalität.

Genau das ist es, was Bitcoin mit dem ökonomischen Teil der Weltmodelle seiner Nutzer macht. So wie das Brett die Metronome verbindet, verbindet Bitcoin die Weltmodelle der Menschen. Dadurch synchronisieren sich die inneren Karten der ökonomischen Realität in Milliarden von Köpfen.

Viertens: Fiat bricht die Kohärenz aus Punkt zwei in allen vier Richtungen. Die Regeln werden laufend verschoben: Geldmenge, Zinsen, Bailouts, Interventionen. Das Preissignal wird laufend manipuliert, jede Notenpresse rauscht hinein. In unserem Bild: Fiat ist ein scheppernder

Gong — strukturell verwandt mit einem klingenden Gong, aber innerlich zerstört. Der Effekt ist, als würde jemand den Gong im Rhythmus einer Gabba-Schranz-Freak-Stage-Party anschlagen: immer härter, immer anders getimed. Statt einem klaren Takt: unvorhersehbarer Lärm, der vorgibt, Signal zu sein.

Wer im März 2020 einen Kredit aufnehmen, ein Haus kaufen oder auch nur den Monatslohn planen wollte, weiß das: drei Regelregimes in vier Wochen, jede Position eine Wette darauf, welches morgen gilt. In den Köpfen der meisten Menschen bedeutet das: ihr ökonomisches Weltmodell wird flexibler, weniger starr, zu weich, um noch zu tragen. Langsam wird es immer klarer: Unser Finanzsystem steckt in einer energetisch ungünstigen Konfiguration. Dem flacheren Tal vom Cover.

Was bräuchte es, um die Kohärenz zurückzuholen, die Fiat bricht? Drei Eigenschaften: **mathematisch feste Regeln**, ein **automatischer Takt**, und ein **ökonomischer Anreiz**, der das System lebendig hält. Das ist die Prüfliste. Und hier kommt die Antwort.

Fünftens: Bitcoin generiert Kohärenz in allen vier Richtungen, indem es diese Prüfliste eins zu eins erfüllt³. (1) **Harte Regeln**: höchstens einundzwanzig Millionen Bitcoin, fest im Protokoll verankert, nicht im Versprechen einer Bank. Jeder Nutzer prüft die Regel selbst, einen zentralen Hebel zur Änderung gibt es nicht. (2) **Automatischer Takt**: alle zehn Minuten erweitert sich das weltweit geteilte Transaktionsverzeichnis (der **Ledger**) um einen neuen Eintrag (einen **Block**), im langfristigen Mittel mathematisch garantiert. (3) **Ökonomischer Anreiz**: wer durch Rechenarbeit das Netzwerk absichert (das **Mining**), wird in Bitcoin bezahlt. Bitcoin koppelt damit sein Überleben an die Minimierung der freien Energie seiner Miner. Warum Geld verdienen freie Energie minimiert erfährst du in Kapitel 2.

Bitcoin ist damit per Design ein globaler Synchronisationsmechanismus für den ökonomischen Teil deines Weltmodells. Es stabilisiert die Erwartungen seiner Nutzer, synchronisiert ihre ökonomische Realität (alle sehen denselben Ledger weltweit) und filtert Abweichungen deterministisch (ungültige Transaktionen werden zurückgewiesen). Damit liefert Bitcoin Kohärenz in allen vier Richtungen aus Punkt zwei, genau dort, wo Fiat sie bricht: derselbe Ledger überall (horizontal), vom einzelnen Akt zum Ganzen durchgekoppelt und über **Proof of Work** an Energie und damit an die Physik selbst angedockt (vertikal), unveränderliche Vergangenheit (zurück), vorhersagbarer Takt und

deterministische Inflation (vorwärts). In unserem Bild: ein klingender Gong, hart und klar, mit einer natürlichen Schwingung.

Was Bitcoin heute liefert, ist *strukturelle* Kohärenz, nicht stabile Kaufkraft. Stabile Kaufkraft folgt erst nach dem Phasenübergang vom Fiat- ins Bitcoin-Tal. Was du gerade siehst (heftige Preisschwankungen gegen Fiat), ist Übergangsdynamik, nicht Defizit der Architektur. Kapitel 7 und 8 entfalten das.

Drei Bauteile, vier Richtungen, eine Architektur. Genau die Form, die FEP für jedes lebende System fordert: Kohärenz über Ebenen und Zeit. **Bitcoin ist damit selbst ein FEP-System.**

Wie Fiat die vier Richtungen bricht und warum Bitcoin sie hält, zeigt die Vergleichs-Tabelle in Kap. 6 §6.1 — Bitcoin als Architektur trägt das ganze Kap. 6. Welche Architektur diese drei Eigenschaften erst möglich macht (dezentrales Netzwerk schützt die Regeln, Kryptographie sichert das Eigentum, Energieanker fixiert die Vergangenheit), klärt der kompakte Bitcoin-Grundlagen-Kasten in Kap. 5 §5.5.

Warum nicht Ethereum, Gold-Token, Stablecoins, CBDCs? Weil jeder Kandidat mindestens eine der vier Kohärenz-Richtungen oder die Stationaritäts-Voraussetzung verletzt: Issuance-Diskretion, fragile Custodian-Schicht, Fiat-Anker oder Zentralbank-Programmierbarkeit. Die systematische Prüfung steht in Kap. 6 §6.4.

Sechstens: Bitcoin und Menschheit synchronisieren sich. Hier kommt die eigentliche Pointe. Wenn viele Klangschalen neben einem schwingenden Gong stehen und ihre Frequenzen zu der des Gongs passen, beginnen die Schalen **mitzuschwingen**, ohne dass jemand sie anschlägt. Und die Schallwellen dieser Schwingungen treiben dann wiederum den Gong an. Akustisch nennt man das Resonanz, strukturell ist es Synchronisation. Viele schwingende Systeme finden selbstorganisiert einen gemeinsamen Takt. Genau wie die Metronome auf dem Brett oder die Fußballfans, die sich aus individuellem Stimmgewirr auf einen gemeinsamen Gesang einpendeln. Was zwischen Klangschalen und Gong als Resonanz zu hören ist, geschieht zwischen Bitcoin und dem ökonomischen Teil der menschlichen Weltmodelle auf der Ebene der Information: ein geteiltes Gefühl dafür, was Geld ist, was Preise bedeuten, was knapp ist.

Die Kopplung läuft über den **ökonomischen Teil** unseres Weltmodells, aber sie minimiert die freie Energie der ganzen Person. Warum dieser Hebel so weit reicht:

Dein Weltmodell ist kein Aktenschrank mit getrennten Fächern *Geld, Beziehungen, Schlaf, Sinn*. Es ist ein gekoppeltes Netz von Vermutungen: was du über das eine erwartest, hängt an dem, was du über vieles andere erwartest. Wackelt eine Vermutung, wackeln ihre Nachbarn mit. Bei der Klangschaale ist das auch so: eine Delle an einer Stelle bringt die ganze Schale zum scheppern.

Geld ist in diesem Netz besonders stark verknüpft. Es trägt Vermutungen über Sicherheit (kann ich morgen noch essen?), Zeit (kann ich planen?), Beziehung (kann ich für jemanden sorgen?) und Selbstwirksamkeit (kann ich mein Leben gestalten?). Wer nicht weiß, ob seine Ersparnisse in zwei Jahren noch tragen, schläft schlechter, reagiert gereizter auf andere und traut sich keine langfristigen Projekte zu. Das ist nicht Schwäche, sondern freie Energie, die nicht im ökonomischen Teil bleibt, sondern durch das ganze Weltmodell wandert.

Umgekehrt: wenn der ökonomische Teil stabil wird, sinkt die freie Energie des ganzen Weltmodells. **Wirtschaft ist nur der Hebel; die Wirkung trifft jeden Lebensbereich.**

Warum funktioniert dieser Hebel überhaupt? Weil zwei Systeme aufeinandertreffen, die nach derselben Regel laufen. Du minimierst freie Energie, wie jedes lebende System. Und Bitcoin tut es auch: es ordnet das ständige Gewimmel unbestätigter Zahlungen zu einem kohärenten Ledger und verteidigt seinen Zehn-Minuten-Takt, egal wie viele Miner gerade konkurrieren. Werkzeug dafür sind die drei Eigenschaften aus Fünftens: harte Regeln, automatischer Takt, ökonomischer Anreiz. Genau weil Bitcoin so seine eigene freie Energie minimiert, kann es zum stabilen Anker werden, an dem *dein* ökonomisches Weltmodell andockt (Kap. 6 macht das formal).

Aber stabilisiert Bitcoin auf der menschlichen Seite wirklich, was du brauchst? Das lässt sich prüfen. Edward Deci und Richard Ryan haben in vier Jahrzehnten Motivationsforschung drei Grundbedürfnisse herausgeschält¹⁶, die für jeden Menschen gelten: **Autonomie, Kompetenz, Verbundenheit**. Diese drei sind keine Wünsche, sondern Bedingungen: wenn sie erfüllt sind, sinkt deine freie Energie; wenn sie verletzt werden, steigt sie.

Autonomie heißt: du handelst aus dir heraus, nach deinem eigenen Willen, statt fremdbestimmt mitlaufen zu müssen. Bitcoin liefert das im ökonomischen Raum: dein Schlüssel, dein Bitcoin; kein Staat, keine Bank, kein Algorithmus kann dir dein Eigentum entziehen oder deine wirtschaftliche Aktivität auf der Ebene der Regeln selbst blockieren.

Kompetenz heißt: du spürst, dass dein Tun trägt. Lernen lohnt sich wieder, Sparen lohnt sich wieder, weil die Kaufkraft nicht mehr exponentiell verfällt und die harten Regeln sich nicht unter dir verschieben. Bitcoin liefert das durch offene, prüfbare Regeln; das Limit von einundzwanzig Millionen ist keine Verhandlungssache. *Don't trust, verify.*

Verbundenheit heißt: du lebst in einer bedeutsamen Beziehung zu anderen, und das wird nur möglich, wenn ihr in derselben ökonomischen Welt lebt. Bitcoin liefert die *Voraussetzung* dafür: alle Knoten sehen denselben Ledger, alle rechnen unter derselben mathematisch festen Grenze. Eine gemeinsame Realität, statt jeder in seiner eigenen.

Diese gemeinsame Realität wirkt nicht nur auf dich — sie wirkt auch zurück auf Bitcoin. Was du tust (Kaufen, Halten, Mining), stärkt Bitcoin; und Bitcoin stärkt dich. Genau diese gegenseitige Stärkung erzeugt eine **positive Feedback-Schleife**, die in konkreten Runden abläuft:

1. Bitcoins harte Regeln (21M, 10-Min-Takt, Konsens) stabilisieren unser ökonomisches Weltmodell: weniger Unsicherheit über Geldmenge und Regeln, also weniger freie Energie.
2. Neue Nutzer kaufen, halten, betreiben Mining und eigene Nodes. Das stärkt das Netz (Hashrate, Liquidität, Dezentralität), und ihre eigene freie Energie sinkt zusätzlich. Mit jeder Runde tiefer (Kap. 6 zeigt die Detail-Mechanik, Kap. 8 die Schwellendynamik).

Stell dir die Menschheit als Boot mit Milliarden Ruderern vor. Bisher rudert jeder in seinem eigenen Takt; das Boot kommt mühsam voran und düst auf Eisberge wie Krisen und Kriege zu. Es verliert ständig Energie, weil Menschen unabsichtlich (oder absichtlich) gegeneinander rudern. Es arbeitet teilweise gegen sich selbst. Bitcoin ist die Trommel auf diesem Boot, hart und klar. Geschlagen wird sie nicht von einem Kapitän, sondern von den Ruderern selbst. Selbstorganisation, kein Diktat. Sobald die Trommel schlägt und alle im Takt rudern, wird das Boot schneller und koordinierter und kommt schneller dahin, wo die Ruderer wollen. Die Geschwindigkeit dieses kohärent rudernenden Bootes ist ein anschauliches Maß für die Rate, mit der unser gemeinsamer Wohlstand und unsere Lebensqualität wächst. Das ist die Bitcoin-Standard-Realität, eine **Gestalt** im genauen Sinn: ein Ganzes, das etwas anderes ist als seine Bausteine.

Und das Boot ist nicht nur schneller, es lebt. Im präzisen Sinn. Bitcoin, Menschheit und ihre Wechselwirkung bilden zusammen ein neues, schmal gekoppeltes Lebewesen-System. Das ist mehr als eine Metapher, aber weniger als ein neues Subjekt: das gekoppelte System minimiert freie Energie nur entlang einer einzigen Achse, der ökonomischen, mit dem Bitcoin-Ledger als geteiltem Bezugspunkt. Alle anderen Achsen deines Lebens (was du glaubst, mit wem du es teilst, was dich begeistert, wo du wohnst, woran du arbeitest, wieviele Kinder du willst) bleiben dir frei: Wie weiter oben diskutiert verschafft dir Bitcoin auch in diesen Bereichen mehr Freiheit und Möglichkeiten, aber diktiert ihren Inhalt nicht.

Das Bild einer neuen Lebensform ist nicht neu. Merkle nannte Bitcoin schon 2016 *“first example of a new form of life”*¹⁷; Gigi, Quittem und Strolight haben es seither ausgebaut, jeder mit eigener Metapher (Organismus, Super-Organismus, Meta-Gehirn)^{18–20}. Was dieses Buch hinzufügt, ist nicht das Bild, sondern die Begründung: warum es so sein muss, als direkte Konsequenz des FEP. Es zeigt die Architektur: eine schmale Verbindung, nur über die ökonomische Achse. Und es zieht eine klare Grenze: kein neues Bewusstsein. Damit wirkt es als Filter: manche dieser Bilder halten der Analyse stand, andere überdehnen. Kapitel 6 trennt die Spreu vom Weizen.

Das ist keine wundersame Emergenz, sondern Konsequenz des FEP — und das FEP ist keine Hypothese, die wahr oder falsch sein könnte, sondern folgt zwangsläufig, sobald man ein System überhaupt sauber von seiner Umwelt abgrenzen kann und es über einen längeren Zeitraum stabil bleibt. Dieselbe Mechanik trägt jedes lebende System aus wechselwirkenden Teilen, die freie Energie minimieren: Zelle, Gehirn, Markt (Kap. 2 macht das klarer, Kap. 3 zeigt an konkreten Fällen, wie weit das Prinzip reicht). Im FEP-Rahmen ist das Bitcoin-Menschheit-Lebewesen damit kein Sonderfall, sondern eine erwartbare Konsequenz: zwei Systeme, die einen festen, schmalen Bezugspunkt teilen, finden gemeinsam ein tieferes Minimum, ohne ihre Eigenständigkeit zu verlieren.

Wichtig: Diese Synchronisation ist keine Gleichschaltung, sondern ein globales Nervensystem, das ökonomische Kohärenz schafft. Diese Kohärenz wird aus vielen autonomen und freien Menschen erzeugt, die sie gerade *durch* ihr autonomes und freies Handeln tragen (warum das so ist, entfaltet Kap. 3 §3.3). In Kap. 6 wird die Architektur als *informationeller Holobiont* sauber gemacht; dort wird auch analysiert, was dieses gekoppelte System kann, was die ungekoppelte Menschheit nicht konnte.

Das System Mensch-Fiat ist dagegen ein Lebewesen, dessen Nervensystem ständig von außen geschockt wird: jede Geldmengenausweitung verzerrt durch den **Cantillon-Effekt**²¹ die Preisstruktur, nicht nur die Verteilung (Kap. 6 §6.3 entfaltet das), und das System ist permanent damit beschäftigt, den angerichteten Schaden zu reparieren. Irgendwann kollabiert die Signalwirkung, und das ganze System muss durch einen Reset wiederbelebt werden. Bisher wurde nie ein wirklich gesundes Geld-Mensch-System zum Leben erweckt: Fiat in seiner reinen Form (post-1971) war von Anfang an ein System mit Ermessensspielraum, kein System fester Regeln; Gold hatte zu wenige und zu langsame Verknüpfungen für ein kohärentes Ganzes (mehr in Kap. 5 §5.4).

Eine verwandte Dynamik wirkte schon einmal in der Evolution, als sich einzelne Zellen koppelten und Mehrzeller entstanden²². Bitcoin-Menschheit folgt derselben Logik eine Stufe höher, mit dem Unterschied, dass Mensch und Bitcoin getrennt reproduzieren (Kap. 6 entfaltet das).

Und das Tal vertieft sich selbst — von zwei Seiten. Wer im tiefen Tal ankommt, stärkt das Netzwerk: Hashrate, Liquidität und Kaufkraft pro Bitcoin steigen, das Tal sinkt für alle, die schon drin sind und für alle, die noch kommen. **Und jeder der ankommt hört auf, andere zurückzuhalten:** die, die er kannte, spüren den Konformitätsdruck zum Fiat-Tal weniger, die Barriere senkt sich. Tieferes Tal *plus* niedrigere Barriere. Der Bitcoin-Standard ist kein Beschluss, sondern ein Tal, das sich selbst vertieft und gleichzeitig seine Barriere absenkt. Aber die meisten sind noch nicht da. Zweierlei steht ihnen im Weg: **Nebel** (sie sehen das tiefere Tal noch nicht) und **Barrieren** (sie sehen es, aber Konformitätsdruck, Gehalt, Miete und Steuer kleben sie im seichten Fiat-Tal fest). Wie beides fällt, klärt Siebtens.

Siebtens: Der Übergang ist ein Phasenübergang, kein Plan. Stell dir ein Stück Eisen vor. Eisen besteht aus Eisenatomen (no shit), und jedes Eisenatom ist ein winzig kleiner Magnet. Wenn alle diese Magnete in dieselbe Richtung zeigen, ist das Eisen magnetisiert. Nennen wir diese Richtung die Fiat-Richtung. Jetzt lege ein schwaches äußeres Magnetfeld in die Gegenrichtung an, die Bitcoin-Richtung. Dadurch entsteht eine zweite, tiefere Energiemulde, der Bitcoin-Standard, in den das System fallen will. Aber eine Konformitätsbarriere hält es zurück: jeder Magnet senkt seine Energie, indem er in dieselbe Richtung wie seine Nachbarn zeigt, und umzukippen kostet erstmal Energie. Es entsteht das Bild vom Cover. Diese Energielandschaft ist nun nicht mehr

individuell, sondern die des ganzen Stücks Eisen: wie viel Energie das System insgesamt hat, je nachdem wie viele Magnete in welche Richtung zeigen.

Erhöhe nun die Temperatur. Hitze macht die kleinen Magnete unruhig und die Energielandschaft flacher: das alte Tal wird seichter, die Konformitätsbarriere niedriger. Ab einer bestimmten Temperatur kippen sie alle gemeinsam um.

Nerdbox — MINT-Studium Level: Hamiltonian und freie Energie

Vertieft das Argument. Wer überspringt, verliert nichts.

Das einfache Eisen-Bild aus dem Fließtext ist mathematisch das **Ising-Modell mit externem Feld**. Sein Hamiltonian, also die Energie des ganzen Stücks Eisen bei einer gegebenen Konfiguration aller Magnete:

$$H = \underbrace{-J \sum_{\langle i, j \rangle} s_i s_j}_{\text{Konformität}} - \underbrace{h \sum_i s_i}_{\text{externes Feld}}$$

Jeder Magnet s_i hat zwei mögliche Stellungen, $+1$ oder -1 . $J > 0$ ist die Konformitäts-Kopplung: zwei benachbarte Magnete in gleicher Richtung senken die Energie um J , in Gegenrichtung heben sie sie um J . Die erste Summe läuft über alle Nachbar-Paare $\langle i, j \rangle$ und liefert den Konformitätsdruck. Der zweite Term ist das externe Magnetfeld h : es senkt die Energie aller Magnete, die in seine Richtung zeigen, und hebt sie für die anderen. Im Bitcoin-Bild ist h der individuelle Bitcoin-Vorteil, den jede Person spürt.

Aus dem Hamiltonian und der Temperatur folgt die **freie Energie** $F = U - TS$ (in der Helmholtz-Plus-Form aus K1.2 weiter oben). Das System minimiert F : bei tiefer Temperatur dominiert U und geordnete Konfigurationen mit niedriger Energie gewinnen; bei hoher Temperatur dominiert $T \cdot S$ und ungeordnete Konfigurationen mit vielen Mikrozuständen werden günstig.

Die Energielandschaft auf dem Cover ist auch der Plot von F als Funktion der mittleren Magnetisierung $m = \frac{1}{N} \sum_i s_i$. Bei tiefer Temperatur und schwachem Gegenfeld hat $F(m)$ zwei Minima: das alte Tal in alter Magnetisierungsrichtung und das neue, tiefere Tal in Feld-

richtung. Steigt T , wird der entropische Anteil $T \cdot S$ größer, beide Mulden flachen ab, die Konformitätsbarriere zwischen ihnen sinkt. Ab einer kritischen Temperatur kippt das System ins tiefere Tal. Die vollständige Bitcoin-Variante mit allen Erweiterungen (Curie-Weiss-Term für globale Netzwerkeffekte, Schenden-Restriktion, einseitige Hitze aus Fiat-Erosion, super-linearer Knappheitsbonus, Lawinen-Dynamik durch Glauber-Updates, heterogene Agenten und Lebensumstände) entwickeln wir in Kap. 8 §8.1 — der formale Hauptort der Ising-Mathematik. ▽

Mathematisch folgt der Übergang zu Bitcoin derselben Logik. Nur dass die einzelnen Teile bei uns keine Atome sind, sondern Menschen mit eigenem Weltmodell, die zunächst alle im Fiat-Tal sitzen. Was sie Richtung Bitcoin zieht, also das äußere Magnetfeld, ist die oben argumentierte niedrigere freie Energie des Bitcoin-Tals. Im Alltag wirkt sie als praktischer Vorteil: Werterhaltung, Selbstverwahrung, Zensurresistenz, echtes Eigentum. Wer die Bitcoin-Architektur durchschaut hat, bei wem sich also der Nebel über dem Bitcoin-Tal gelichtet hat, spürt das Feld stark; wer noch im Nebel steht, kaum.

Auch die Fiat-Hitze ist nicht überall gleich. In der Türkei brennt das Fiat-Tal lichterloh und ist deshalb seicht; im stabilen Schweizer Franken ist es noch angenehm kühl und tief. Magnetfeld, Konformitätsbarriere und Hitze sind also für jeden Menschen unterschiedlich, je nach Wissensstand, Persönlichkeit und Lebensumständen. Wer wenig zu verlieren hat, in einer schwachen Fiat-Welt lebt oder ohnehin gegen den Strom denkt, kippt früh; Konformisten in stabilen Umfeldern eher spät.

Aber Menschen sind nicht nur Magnete. Vier Kräfte verstärken den Übergang zusätzlich.

Erstens der Konformitätsdruck. Familie, Kollegen, Freunde ziehen jeden in ihre Richtung. Das ist die menschliche Variante der Wechselwirkung, die schon im Eisen die Magnete in dieselbe Richtung wie ihre Nachbarn zieht und damit die Konformitätsbarriere oben erzeugt.

Zweitens die Nebel-Dynamik. Ein Weltmodell wechselt nur, wer das tiefere Tal sehen kann. Das bessere Weltmodell muss im internen Suchraum erstmal existieren. Das Bitcoin-Magnetfeld kann daher nur auf Menschen wirken, de-

ren Nebel sich ausreichend gelichtet hat. Das Lichten des Nebels verbreitet sich allerdings wie ein Virus, gegen den es kein Heilmittel gibt: wer einmal infiziert ist, bleibt für immer ansteckend für sein Umfeld.

Drittens die asymmetrischen Netzwerkeffekte. Jeder neue Bitcoin-Halter macht das Netz für alle attraktiver: mehr Transaktionspartner, mehr Sicherheit, mehr Liquidität, mehr Kaufkraftstabilität. Fiat-Halter sind dagegen reine Pflicht-Nutzer und stärken das Fiat-System nicht in gleicher Weise.

Viertens zerfasert Fiat von innen. Inflation, Cantillon-Effekt und geldpolitische Diskretion weichen die ökonomischen Vermutungen jedes Fiat-Nutzers Stück für Stück auf, ganz von selbst. Fiat erzeugt seine eigene Hitze. Bitcoin selbst bleibt kühl, weil seine Regeln mathematisch fest sind. Wer einmal in seine Richtung kippt, kippt fast nie zurück.

Wir haben dieses Szenario mathematisch modelliert und mit Computern simuliert. Das Resultat ist eine Lawine durch die oben genannte selbst verstärkende Feedback-Schleife. Selbst bei nur sehr schwacher Selbstverstärkung passiert der Übergang nicht graduell, sondern sprunghaft. Der Grund ist eine Kettenreaktion: jeder, der kippt, vertieft das Bitcoin-Tal für alle anderen und senkt die Konformitätsbarriere für die nächsten. Damit bestätigt sich mathematisch, was Parker Lewis essayistisch zusammengefasst hat: *gradually, then suddenly*²³. Wann der Übergang losgeht, können wir nur grob aus empirischen Daten abschätzen. Wie schnell er passiert, sobald es losgeht, besser: in Jahren, nicht in Jahrzehnten. Und die Adoptionszahlen der letzten zehn Jahre liegen bereits am oberen Rand dessen, was das Modell überhaupt zulässt. Kapitel 8 zeigt die Details.

Deshalb wird Bitcoin Standard. Nicht weil es moralisch überlegen ist. Nicht weil jemand es will. Sondern weil zwei Mechanismen gleichzeitig arbeiten. Fiat zerlegt sich von innen: jede Intervention erhöht die Entropie der Vermutungen seiner Nutzer, das Fiat-Tal wird seichter. Bitcoin liefert als einziges System gleichzeitig harte Regeln, festen Takt und ökonomischen Anreiz, in allen vier Kohärenz-Richtungen. Damit ist es das einzige Geld, mit dem menschliche Weltmodelle eine kohärente, stabile Symbiose eingehen können: ein Gong, der von selbst klingt und mitschwingen lässt, was an ihn anschlägt. **Bitcoin ist nicht Wahl. Der Bitcoin-Standard ist eine Konsequenz der Physik des Lebens (dem FEP), und sobald er kommt, kommt er schneller, als die Meisten erwarten würden.**

§1.3 Fünf Vorhersagen, an denen das Modell fällt

Wenn das Modell stimmt, folgen daraus prüfbare Vorhersagen. Drei davon sind besonders provokativ:

1. **Bitcoiner suchen aktiv Annealing-Episoden und bedeutungsneutrale Qualia-Zustände:** Meditation, Psychedelika, Therapie, Breathwork, Sauna, Kaltduschen, tiefes Tagebuch. Überdurchschnittlich oft, gegen vergleichbare Kontrollgruppe.
2. **Bitcoiner fühlen gleichzeitig hohe Autonomie, Kompetenz und Verbundenheit** (Deci-Ryans SDT-Skalen): alle drei simultan, was Fiat-Gesellschaften strukturell nicht liefern können.
3. **Bitcoiner haben mehr Sex.** Sex ist hier ein Doppel-Werkzeug: Annealing-Episode plus Zeugungsakt aus einer Quelle. Wer öfter annealt, springt öfter ins tiefere Tal *und* zeugt öfter Kinder, die schon dort starten. Zwei Effekte, eine Ursache.

Die ersten drei prüfen, was Bitcoin mit Menschen macht. Die letzten zwei prüfen den Übergang selbst: nicht, *wann* er kommt, sondern *wie* und *wo*:

4. **Bitcoin verbreitet sich in Schüben, nicht als gleichmäßige Welle.** *Gradually, then suddenly* ist nicht nur eine Redewendung, sondern eine messbare Form: Das Modell in Kapitel 8 sagt eine Kaskade von Adoptions-Schüben voraus. Immer wieder kippen viele Menschen auf einmal, und die Größen dieser Schübe folgen einem Potenzgesetz, wie die Stärken von Erdbeben. Menschen haben eine typische Größe: fast jeder Erwachsene liegt zwischen eins fünfzig und zwei Metern. Erdbeben haben keine, und Adoptions-Schübe nach diesem Modell auch nicht: viele kleine, wenige riesige. Die große Lawine aus Siebtens ist der größte dieser Schübe. Wächst die Bitcoin-Adoption stattdessen als gleichmäßiges Anschwellen, fällt das Modell.
5. **Der große Sprung nach Bitcoin führt über den Dollar, nicht am Dollar vorbei.** Wo Fiat am heißesten brennt, fliehen die meisten Menschen zuerst ins nächstkühlere erreichbare Tal, und das ist (noch) meistens der Dollar: Ihn zu halten kostet fast nichts, ins Bitcoin-Tal kommt

nur, wer Nebel und Barrieren überwindet. Genau das ist schon zu beobachten: In den Schwellenländern fließt ein wachsender Teil der Ersparnisse in digitale Dollar, sogenannte Stablecoins, nicht in Bitcoin. Den zweiten Schritt, vom Dollar nach Bitcoin, geht am ehesten, wer den ersten schon hinter sich hat: die schon dollarisierten Sparer, von der Inflation verbrannt. Der Funke der großen Lawine kann darum genauso aus dieser Peripherie kommen wie aus dem Dollar-Zentrum selbst, sobald es heiß wird. Den direkten Weg aus dem heißen lokalen Fiat nach Bitcoin, den Dollar überspringend, gehen durchaus einige, nur eben nicht die Masse. Und daran fällt das Modell: Bleibt die Masse dauerhaft beim Dollar, obwohl er selbst heiß läuft, ist die These dieses Buchs falsch.

Die beiden Übergangs-Vorhersagen prüft Kapitel 8: die Schub-Form an der Mechanik, den Start-Ort an Mechanik und Daten. Alle anderen Vorhersagen entfaltet der Epilog: Methodik, Kontrollgruppen, der Sex-Annealing-Mechanismus und die strukturelle Falsifikation der Thesis (eine Annahme + zwei Strukturkriterien). Dort steht auch die Antwort auf die einzig faire Frage: was müsste passieren, damit du den Autor dieses Buchs erst beschimpfst und es dann verbrennst?

Bevor wir aber zu Geld kommen, eine Frage. Was, wenn das, was du gerade siehst (diese Seite, deine Hand, das Licht auf dem Papier) nicht *da draußen* existiert, sondern in deinem Kopf? Was, wenn alles, was du je für die Welt gehalten hast, eine Vorhersage ist, die dein Gehirn jede Millisekunde gegen den winzigen Tropfen Information abgleicht, den deine Sinne wirklich liefern können? Was wenn deine Wahrnehmung eine sehr willkürliche Benutzeroberfläche ist, die darauf optimiert ist die Realität zu bedienen, anstatt sie direkt zu erleben? Darum geht es jetzt in Kapitel 2.

1. Friston, K., Kilner, J. & Harrison, L. A free energy principle for the brain. *Journal of Physiology-Paris* **100**, 70–87 (2006).
2. Friston, K. A free energy principle for a particular physics. *arXiv preprint* **1906.10184**, (2019).
3. Nakamoto, S. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. (2008).
4. Antonopoulos, A. M. & Harding, D. A. *Mastering Bitcoin: Programming the Open Blockchain*. (O'Reilly Media, Sebastopol, CA, 2023).
5. Friston, K. The free-energy principle: A unified brain theory? *Nature Reviews Neuroscience* **11**, 127–138 (2010).

6. Callister, W. D. & Rethwisch, D. G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. (Wiley, Hoboken, NJ, 2018).
7. Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. & Vecchi, M. P. Optimization by simulated annealing. *Science* **220**, 671–680 (1983).
8. Carhart-Harris, R. L. & Friston, K. J. REBUS and the anarchic brain: Toward a unified model of the brain action of psychedelics. *Pharmacological Reviews* **71**, 316–344 (2019).
9. Friston, K. A free energy principle for biological systems. *Entropy* **14**, 2100–2121 (2012).
10. von Helmholtz, H. Die Thermodynamik chemischer Vorgänge. *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 22–39 (1882).
11. Schultz, W., Dayan, P. & Montague, P. R. A neural substrate of prediction and reward. *Science* **275**, 1593–1599 (1997).
12. Pantaleone, J. Synchronization of metronomes. *American Journal of Physics* **70**, 992–1000 (2002).
13. Haken, H. *Synergetics: An Introduction — Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology*. (Springer, 1983).
14. Friston, K. *et al.* Active inference and epistemic value. *Cognitive Neuroscience* **6**, 187–214 (2015).
15. Millidge, B., Tschantz, A. & Buckley, C. L. Whence the expected free energy? *Neural Computation* **33**, 447–482 (2021).
16. Ryan, R. M. & Deci, E. L. *Self-Determination Theory: Basic Psychological Needs in Motivation, Development, and Wellness*. (Guilford Press, New York, 2017).
17. Merkle, R. C. DAOs, Democracy and Governance. (2016).
18. Gigi. Proof of Life: Why Bitcoin is a Living Organism. (2019).
19. Quittem, B. Bitcoin is a Decentralized Organism (Mycelium). (2018).
20. Strolight, T. The Bitcoin Brain. (2021).
21. Cantillon, R. *Essai Sur La Nature Du Commerce En Général*. (Fletcher Gyles, London, 1755).
22. Maynard Smith, J. & Szathmáry, E. *The Major Transitions in Evolution*. (Oxford University Press, 1995).

23. Lewis, P. A. *Gradually, Then Suddenly: A Framework for Understanding Bitcoin as Money*. (Saif House, 2023).