# Gott wuerfelt nicht – Zeit-Masse-Dualitaet und Kernstruktur der Fundamental Fractal-Geometric Field Theory

Johann Pascher

20. Januar 2026

# Inhaltsverzeichnis


1 Kapitel 1: Eine Zahl, die alles steuert: Die Zeit-Masse-Dualität 5

2 Kapitel 2: Von xi zu Massen, Verhältnissen und der Zahl 137 11

3 Kapitel 3: Zeit-Masse-Dualität in Quantenmechanik und Feldtheorie 17

4 Kapitel 4: Quanteninformation und Grundfunktionen in der Zeit-Masse-Dualität 23

5 Kapitel 5: Fraktale Dimension und Regularisierung 33

6 Kapitel 6: Einheiten, Skalen und Konstanten aus $\xi$ 39

7 Kapitel 7: Gravitation und Gravitationskonstante aus $\xi$ 45

8 Kapitel 8: Singularitäten und natürlicher UV-Cutoff 51

9 Kapitel 9: Kosmologie, Rotverschiebung und CMB in der Zeit-Masse-Dualität 57

10 Kapitel 10: Präzisionstests und Beobachtungen 63

11 Kapitel 11: Rechnen mit der Zeit-Masse-Dualität 71

12 Kapitel 12: Natürliche Einheiten und neu gelesene Konstanten 77

13 Kapitel 13: Warum Einheitenprüfung essenziell ist 89

14 Kapitel 14: FFGFT als Lagrange-Erweiterung 95

15 Kapitel 15: Quellen und weiterführende Literatur 103

# Kapitel 1

# Kapitel 1: Eine Zahl, die alles steuert: Die Zeit-Masse-Dualität

Eine Zahl, die alles steuert: Die Zeit-Masse-Dualität

Motivation

Stellen Sie sich vor, die gesamte Physik – von Elementarteilchen bis zum Kosmos – ließe sich auf eine einzige dimensionslose Zahl reduzieren. Nicht 19 freie Parameter wie im Standardmodell, keine willkürlich eingesetzten Kopplungskonstanten, sondern ein geometrischer Kernparameter. Diese Zahl nennen wir in der FFGFT (früher T0-Theorie) xi:

$$\xi = \times 10^{-4} . \quad (1.1)$$

Sie ist der Dreh- und Angelpunkt der Zeit-Masse-Dualität: Masse ist in dieser Sicht nichts anderes als verdichtete, lokal gebremste Zeit. Je größer die effektive Masse in einer Region, desto "dichter" ist die Zeit dort – ein Motiv, das sich später in Quantenmechanik, Feldtheorie und Kosmologie wiederfindet.

Von Anfang an ist dabei ein ontologischer Vorbehalt wichtig: Alle Experimente vergleichen letztlich Frequenzen oder Zählraten und liefern damit nur relative Aussagen; es gibt keine Messung – und wird auch nie eine geben –, die auch prinzipiell eindeutig entscheiden könnte, ob sich "wirklich"die Zeit verlangsamt, die Masse zunimmt oder die Geometrie sich ändert, denn jeder Detektor ist selbst Teil derselben relationalen Struktur. Für die FFGFT bedeutet dies: Sie wird ausdrücklich als Modell verstanden – als bestimmte Art, diese relativen Relationen zu organisieren – und entscheidend ist nicht eine metaphysische Wahl zwischen Bildern, sondern dass die auf [illegible] ([illegible]) [illegible] [illegible]([illegible]) = 1 basierende mathematische Struktur konsistent ist und alle beobachtbaren Relationen (Frequenzen, Skalen, Verhältnisse) reproduziert; darüber hinaus bleibt die Frage, "was sich wirklich ändert”, bewusst offen. Insbesondere ließe sich selbst die RT prinzipiell so umformulieren, dass man die Massen streng invariant hält und alle Änderung der Geometrie zuschreibt – oder umgekehrt eine Beschreibung wählt, in der die Zeitentwicklung als konstant gesetzt und die Massen variabel sind; die FFGFT macht transparent, dass solche ontologischen Entscheidungen Konventionen über derselben Menge relationaler Daten sind. Im Vergleich zur Allgemeinen Relativitätstheorie (RT) bedeutet dies eine Neuordnung der Rollen: In der RT bleiben die Ruhmassen fest und die Gravitation wird vollständig in die Krümmung einer glatten 4D-Raumzeit gelegt, während in der FFGFT die effektive Masse □(□) variabel ist und ein Teil dessen, was man sonst der Krümmung zuschreibt, in das Zeitfeld und seine fraktale Tiefenstruktur wandert. Aus dieser Perspektive werden RT und bekannte Feldtheorien als vereinfachte Unterbereiche bzw. Grenzfälle einer erweiterten Formulierung gelesen;

die FFGFT wird als notwendige Erweiterung eingeführt, die dort eine vollständigere und innerlich konsistentere Berechnung ermöglicht, wo die vereinfachten Formulierungen an ihre konzeptionellen Grenzen stoßen.

## 1.1 Fraktale Raumzeit und effektive Dimension

Die FFGFT postuliert, dass die Raumzeit auf kleinsten Skalen nicht exakt dreidimensional ist, sondern eine leicht fraktale Struktur besitzt. Diese lässt sich durch eine effektive fraktale Dimension beschreiben:

▯▯ = 3 − ▯ ≈ 2,999867. (1.2)

Im Alltag bemerken wir davon nichts – alle Experimente sind mit einer glatten 3D-Geometrie verträglich. Doch im Grenzbereich zwischen Planckskala und Teilchenphysik genügt der winzige Versatz von 3 − ▯▯ = ▯, um Divergenzen zu regulieren und neue Stabilitätsbedingungen einzuführen.

### 1.1.1 Eine geometrische Analogie

Als ergänzende Analogie kann man an ein stark gefaltetes Medium denken: Nicht das Volumen ändert sich, sondern die interne Struktur gewinnt an

Faltungen und Verzweigungen. In ähnlichem Sinne
beschreibt die FFGFT einen Raum, dessen feine
fraktale Tiefe im Laufe der Entwicklung zunimmt,
während der makroskopische Raum im Mittel stabil bleibt. Diese Analogie bleibt zweitrangig gegenüber der präzisen geometrischen Formulierung, hilft
aber, die Rolle von [NO GLYPH] als Maß für zusätzliche Struktur zu veranschaulichen.

Wichtiger Hinweis (Kosmologie): Die Standard-Interpretation der kosmologischen Rotverschiebung als Folge einer expandierenden Raumzeit wird
in der FFGFT durch ein alternatives Bild ersetzt, in
dem fraktale Tiefenstruktur und effektive Skalen
eine zentrale Rolle spielen. Dieser Aspekt ist noch
Gegenstand aktiver Forschung; zugleich deuten
mehrere unabhängige Beobachtungen darauf hin,
dass die gängige Deutung als rein kinematische
Expansion unvollständig ist und eine fraktale Tiefenstruktur eine zentrale Rolle spielt.

1.2 Von xi zu physikalischen Skalen

Die Stärke von [NO GLYPH] zeigt sich darin, dass sich aus ihr charakteristische Energieskalen ableiten lassen.
Eine besonders wichtige ist die emergente Skala

□0 , die zwischen Elektron- und Myonmasse liegt und für die elektromagnetische Struktur zentral ist.

In den technischen Kapiteln der FFGFT lässt sich zeigen, dass sich mit

□0 □ = □( ) (1.3) 1 MeV

die Feinstrukturkonstante reproduzieren lässt,

also ≈ 137,036. (1.4) □ In diesem neuen Narrativband werden wir Schritt

für Schritt den Weg gehen

□ ⇒ Massen und Verhältnisse ⇒ □ (1.5)

⇒ QM/QFT-Gleichungen ⇒ Kosmos (1.6)

und dabei immer wieder zur Zeit-Masse-Dualität als intuitivem Leitbild zurückkehren.

Im nächsten Kapitel beginnen wir mit den konkreten Massen und Massenverhältnissen, die sich

aus □ ergeben, und bereiten damit den Boden für die Entschlüsselung von 1/137.

# Kapitel 2

# Kapitel 2: Von xi zu Massen, Verhältnissen und der Zahl 137

Von xi zu Massen,
Verhältnissen und der
Zahl 137
In diesem Kapitel machen wir die erste ernsthaf-
te
Probe auf die Zeit-Masse-Dualität: Führt die einzel-
 wirklich zu den beobachteten Leptonenne Zahl
massen und zur berühmten Zahl 1/137? Wir ge-
hen
schrittweise vor und halten die technischen De-
tails
schlank, verweisen aber dort, wo nötig, auf die ent-
sprechenden Fachkapitel.
2.1 Leptonenmassen als erste
Probe
Die FFGFT beschreibt die Leptonenmassen nicht

als freie Eingaben, sondern als Funktionen einer geometrischen Skala □0 und des Parameters □. In natürlicher Normierung (ohne Einheiten) treten zu-

nächst dimensionslose Massen □(nat ) auf, die sich

aus einer fraktalen Quantenfunktion □(□, □, □) ergeben. Für das Elektron, Myon und Tauon lautet dies

schematisch:

(nat) 1 □□ = , (2.1) □ □ □(1, 0, 1/2) (nat ) 1 □□ = , (2.2) □ □ □(2, 1, 1/2) (nat ) 1 □□ = . (2.3) □ □ □(3, 2, 1/2)

Die konkrete Form von □(□, □, □) ist Gegenstand der technischen Ableitung; wichtig für das Narrativ

ist hier nur:

• Alle drei Massen hängen nur von □ und ganzzah- ligen Quantenzahlen ab.

• Es gibt eine eindeutige geometrische Zuord- nung,

keine frei justierbaren Parameter pro Teilchen.

Um den Kontakt zur gemessenen Physik her- zustellen, wird ein gemeinsamer Skalenfaktor so gewählt, dass

□□ ≈ 0,511 MeV , (2.4)

□□ ≈ 105,7 MeV , (2.5)

□□ ≈ 1776,9 MeV (2.6)

herauskommen. Die Details dieses Fits bleiben in

den Fachkapiteln; hier zählt die Aussage: Mit einem

einzigen geometrischen Parameter □ wird das dreistufige Leptonenspektrum reproduzierbar.

2.2 Massenverhältnisse und die

emergente Skala 0 Statt auf die absoluten Zahlen zu starren, lohnt es
sich, die Verhältnisse zu betrachten. Zwischen Elek-
tron und Myon, sowie zwischen Myon und Tauon,
ergeben sich charakteristische Faktoren, die sich
aus der Struktur von (, , ) erklären lassen. Aus dieser Hierarchie lässt sich eine emergente
Energieskala 0 ableiten, die ungefähr in der Mitte zwischen Elektron- und Myonmasse liegt:
0 ≈ 7,4 MeV. (2.7)
Narrativ gesprochen ist 0 die Energie, bei der sich die durch bestimmte Geometrie und die elektromagnetische Kopplung besonders "wohl fühlen"
– eine Art Treffpunkt der Skalen. Diese Skala taucht
nicht als freier Parameter auf, sondern fällt aus der
Leptonen-Hierarchie heraus.
2.3 Die Feinstrukturkonstante
aus xi
An dieser Stelle kommt eine der zentralen Bezie-
hungen der FFGFT ins Spiel:
0 = ( ) . (2.8) 1 MeV Setzt man hier das aus den Massenverhältnissen
gewonnene 0 ein, ergibt sich ≈ (2.9) 137,036
und damit ≈ 137,036, (2.10) im Einklang mit den präzisen CODATA-Werten der
Feinstrukturkonstante.
Wichtiger Vorsichtsvermerk
Die obige Beziehung ist in der FFGFT keine freie
Fit-Formel, sondern folgt aus der Kombination von

• der fraktalen Dimension ▯▯ = 3 − ▯ , • der daraus folgenden Skalenhierarchie der Leptonenmassen und

• der Identifikation von ▯0 als geometrisch-emergenter Energieskala.

Die genaue numerische Übereinstimmung mit dem gemessenen Wert von 1/▯ ist bemerkenswert und stützt die Sicht, dass hier kein bloßer numerischer Zufall vorliegt, sondern eine geometrisch motivierte Struktur; dennoch bleiben experimentelle und theoretische Unsicherheiten zu beachten:

• Experimentelle Seite: Die Feinstrukturkonstante wird extrem präzise gemessen; kleine Verschiebungen durch neue Auswertungen sind möglich.

• Theoretische Seite: Höherordnungs-Korrekturen (z.B. aus Quantenfeldtheorie und fraktaler Feinstruktur) können die effektive Kopplung geringfügig verändern.

In diesem Narrativband steht daher nicht der Anspruch im Vordergrund, mit wenigen Zeilen alle Details der Hochpräzisionsphysik erschöpfend zu erklären. Wichtiger ist die konzeptionelle Botschaft: Aus der einzigen Zahl ▯ lassen sich sowohl die Leptonenmassen als auch die elektromagnetische Kopplungsstärke konsistent ableiten. Ausführliche Ableitungen und numerische Studien dazu finden sich in den technischen T0-Dokumenten zu Leptonenmassen und Feinstrukturkonstante [Pascher(2025a), Pascher(2025b)].

In den folgenden Kapiteln wenden wir diese Sicht auf die Gleichungen der Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie an – beginnend mit der Schrödingergleichung und ihrer deterministischen Interpretation in der Zeit-Masse-Dualität.

# Kapitel 3

# Kapitel 3: Zeit-Masse-Dualität in Quantenmechanik und Feldtheorie

Zeit-Masse-Dualität in Quantenmechanik und Feldtheorie

In den bisherigen Kapiteln stand die Geometrie im Vordergrund: die Zahl □, die fraktale Dimension □□ und die daraus folgenden Skalen. Nun wenden wir diese Struktur auf die vertrauten Gleichungen der Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie an.

3.1 Schrödingergleichung als effektive Beschreibung

In der Standardformulierung beschreibt die zeitabhängige Schrödingergleichung

□ □ □(□, □)□ = □ˆ□(□, □)□ (3.1) □□ □ unter die Entwicklung einer Wellenfunktion ˆeinem Hamilton-operator □. Diese Gleichung ist

bereits deterministisch: Aus einem gegebenen Anfangszustand folgt eindeutig die Zukunft. Die scheinbare Zufälligkeit betritt die Theorie erst durch das Messpostulat und die Interpretation von |□|2 als Wahrscheinlichkeitsdichte.

Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität wird die Schrödingergleichung als effektive Beschreibung einer tieferliegenden, geometrischen Dynamik verstanden. Vereinfacht gesagt beschreibt □ nicht ein mysteriöses "Feld der Möglichkeiten", sondern eine statistische Projektion der zugrunde liegenden fraktalen Zeitstruktur. Die Parameter im Hamiltonoperator – insbesondere Massen und Kopplungsstärken – sind in der FFGFT nicht fundamental, sondern durch □ und die daraus folgenden Skalen bestimmt.

3.2 Von Schrödinger zu Dirac

Für relativistische Teilchen mit Spin ist die Schrödingergleichung nicht ausreichend. Dort tritt die Dirac-Gleichung auf:

(□ □ □ □□ − □) □ = 0, (3.2)

mit den Dirac-Matrizen □ □ und der Masse □. In der FFGFT wird □ nicht als Eingabeparameter betrachtet, sondern als abgeleitete Größe aus der Zeit-Masse-Dualität und der fraktalen Struktur (wie in den Leptonenbeispielen zuvor).

Damit ändert sich auch die Lesart der Dirac-Gleichung: Sie ist nicht die fundamentale Gleichung, sondern eine effektive Feldgleichung auf einem Hintergrund, dessen Geometrie bereits durch festgelegt ist. In der vollständigen FFGFT/T0Formulierung wird die Dirac-Struktur generell vereinfacht: Anstelle des vollen $4 \times 4$-Matrizenapparats tritt eine äquivalente skalare Felddynamik der Massenvariation, auf deren Basis sowohl eine erweiterte Schrödingergleichung als auch eine universelle Lagrange-Funktion formuliert werden. In diesem Kapitel zeigen wir nur die gewohnte Dirac-Form als effektiven Einstieg, während die wirklich fundamentale Beschreibung durch die vereinfachte Dirac-Dynamik und die universelle Lagrange-Funktion der T0-Theorie gegeben wird. Die bekannten Eigenschaften – Spin, Antimaterie, Z-Kitterbewegung – bleiben erhalten, erhalten aber eine geometrische Deutung im Rahmen der fraktalen Raumzeit.

3.3 Lagrangedichte und Rolle

von  In den Bändern 1 bis 3 wurde die Lagrangedich-
te der FFGFT Schritt für Schritt aufgebaut. Sche-
matisch lässt sie sich als Erweiterung der Einstein-
Hilbert-Wirkung schreiben, ergänzt um fraktale An-
teile und materielle Felder. Für ein einfaches Dirac-
Feld in gekrümmter Raumzeit lautet die Standard-
Lagrangedichte
 Dirac ¯    −  ). = ( (3.3)
In der FFGFT wird  durch  und die zugrunde liegende fraktale Struktur fixiert, und zusätzliche
Terme in der Lagrangedichte kodieren die Bei-
träge
des fraktalen Vakuums. Der genaue Aufbau die-
ser
Terme wurde in den technischen Kapiteln entwi-
ckelt; für das Narrativ genügt hier die Kernaus-
sage,
dass  als globaler Organisationsparameter in allen Sektoren der Lagrangedichte auftritt.

3.4 Ausblick: Quantencomputer
und Grundfunktionen

Wenn Quantenmechanik und Quantenfeldtheo-
rie im
Kern geometrisch durch  organisiert sind, liegt es nahe zu fragen, wie sich diese Struktur in Quanten-
information und Quantencomputern widerspie-
gelt;
die zuvor eingeführten fraktalen Grundfunktio-
nen

und Moden lassen sich dabei als natürliche Basis für Quantenregister und logische Operationen verstehen. Auf dieser Grundlage kann der Zusammenhang zwischen den zugrunde liegenden Feldgleichungen, der Zeit-Masse-Dualität und konkreten Quantenchip-Architekturen herausgearbeitet werden, so dass klar wird, wie geometrische und informationstheoretische Aspekte ineinandergreifen.

# Kapitel 4

# Kapitel 4: Quanteninformation und Grundfunktionen in der Zeit-Masse-Dualität

Quanteninformation
und Grundfunktionen in
der
Zeit-Masse-Dualität

In diesem Kapitel wird die Verbindung zwischen der geometrischen Struktur der FFGFT und der Quanteninformationstheorie beschrieben. Der Fokus liegt nicht auf technischen Schaltplänen, sondern auf der Frage, wie sich Qubits, Überlagerung und Verschränkung aus der Zeit-Masse-Dualität heraus verstehen lassen.

### 4.1 Qubits als effektive Freiheitsgrade

In der üblichen Formulierung ist ein Qubit ein Zustandsvektor in einem zweidimensionalen Hilbertraum:

$$|\psi\rangle = \alpha\,|0\rangle + \beta\,|1\rangle\,, \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1. \quad (4.1)$$

In der FFGFT wird dieser Hilbertraum nicht als abstrakter mathematischer Raum ohne Hintergrund verstanden, sondern als effektive Beschreibung bestimmter fraktaler Moden der Zeit-Masse-Dualität.

Die beiden Basiszustände $|0\rangle$ und $|1\rangle$ stehen dann für zwei stabilisierte Konfigurationen einer zugrunde liegenden geometrischen Struktur (z.B. zwei lokal verschiedene Phasen des Feldes), während die Koeffizienten $\alpha$ und $\beta$ die Verteilung der Aktivierung in dieser Struktur wiedergeben.

Diese Interpretation ändert an der formalen Verwendung der Qubit-Algebra nichts; sie macht nur explizit, dass die Parameter letztlich durch $\xi$ und die daraus folgenden Skalen festgelegt sind.

### 4.2 Überlagerung und Interferenz

Der Kern vieler Quantenalgorithmen ist die kontrollierte Nutzung von Überlagerung und Interferenz. In der üblichen Sprache spricht man davon, dass ein Qubit gleichzeitig "0" und "1" ist und dass sich diese Anteile konstruktiv oder destruktiv überlagern. Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität lässt sich dies als Interferenz von fraktalen Zeitpfaden deuten: Die zugrunde liegende geometrische Dynamik ist deterministisch, aber aus Sicht des effektiven Zustands $|\psi\rangle$ erscheinen mehrere Beiträge, die sich in der Messung als Wahrscheinlichkeiten manifestieren. Die bekannten Interferenzphänomene – etwa am Doppelspalt – bleiben vollständig erhalten, erhalten aber eine zusätzliche Interpretationsebene: Sie spiegeln die Struktur der fraktalen Pfaddynamik wider.

4.3 Verschränkung und Nichtlokalität

Mehrteilchenzustände wie $|\Psi\rangle = \sqrt{}\,(|00\rangle + |11\rangle)$ (4.2) werden in der Standardquantenmechanik als verschränkt beschrieben: Der Gesamtzustand ist nicht als Produkt einzelner Qubit-Zustände schreibbar. In der FFGFT ist dies ein Hinweis darauf, dass die zugrunde liegende fraktale Struktur die beteiligten Freiheitsgrade gemeinsam organisiert. Die Korrelationen entstehen nicht durch nachträgliche "Kommunikation" zwischen Teilchen, sondern sind in der gemeinsamen Geometrie der Zeit-Masse-Dualität bereits vorhanden.

Diese Sicht steht im Einklang mit den Ergebnissen der Bände 1–3, in denen Bell-Experimente, RSA-Protokolle und deterministische Deutungen der Quantenmechanik diskutiert wurden. Im vorliegenden Narrativ werden diese Themen nicht neu hergeleitet, sondern auf die Rolle von □ und der fraktalen Struktur zurückgeführt.

## 4.4 Grundfunktionen als natürliche Rechenbasis

In früheren Kapiteln der FFGFT wurden spezielle fraktale Grundfunktionen □□ (□) eingeführt, die als Eigenfunktionen des zugrunde liegenden Zeitfeld-Operators fungieren und die spektrale Struktur der Zeit-Masse-Dualität beschreiben. Für Quanteninformationsanwendungen bieten sie sich als natürliche Rechenbasis an: Statt willkürlich gewählter Basiszustände nutzt man direkt Zustände der Form

|▯▯ ▯ ▯▯ (▯), (4.3)

die die Besetzung der ▯-ten Grundfunktion repräsentieren.

Konzeptionell bedeutet dies:

- Ein Qubit oder Register wird nicht abstrakt definiert, sondern als Besetzungsstruktur bestimmter Grundfunktionen.
- Gatteroperationen entsprechen gezielten geometrischen Transformationen, die diese Moden mischen (z.B. effektive Rotationen im Zustandsraum).

Diese konkrete Ausführung solcher Operationen (etwa auf einem photonischen Chip) bleibt hier im Hintergrund. Wesentlich ist, dass die FFGFT eine konsistente Brücke zwischen geometrischer Feldtheorie und Quanteninformation bietet, ohne an der etablierten formalen Struktur der Quantencomputertheorie etwas zu ändern.

4.5 Elementare Gatter und fraktale Dynamik

Einfache Ein-Qubit-Gatter lassen sich als gezielte Umverteilungen der Besetzung zwischen zwei Grundfunktionen verstehen. Mathematisch kann man eine Rotation im zweidimensionalen Zustandsraum beispielsweise durch

cos(▯/2) − sin(▯/2) ▯ (▯) = ( ) (4.4) sin(▯/2) cos(▯/2)

beschreiben.

In der Zeit-Masse-Dualität entspricht eine solche Rotation einer kontrollierten Änderung der relativen Gewichtung zweier fraktaler Moden bei festem durch □ vorgegebenem Energiespektrum. Die formale Darstellung bleibt identisch zur üblichen Quanteninformationstheorie, erhält aber eine geometrische Interpretation: Winkelparameter wie □ spiegeln konkrete Eigenschaften der zugrunde liegenden Struktur wider, etwa Laufzeiten oder effektive Kopplungsstärken.

Ein kontrolliertes Zweiqubit-Gatter, etwa ein kontrolliertes Phasengatter, kann in dieser Sichtweise als gezielte Korrelation zweier Sätze von Grundfunktionen aufgefasst werden. Statt einer abstrakten Steuerung eines Kontrollqubits wirkt die zugrunde liegende fraktale Geometrie so, dass bestimmte kombinierte Besetzungen bevorzugt oder unterdrückt werden.

## 4.6 Skalen, Rauschen und Robustheit

Die durch □ bestimmten Skalen legen nicht nur Massen und Energien fest, sondern auch natürliche Zeitskalen, auf denen kohärente Quantdynamik stattfinden kann. Für Quantenprozessoren bedeutet dies, dass es bevorzugte Betriebsbereiche gibt, in denen die Wechselwirkung mit der Umgebung die fraktale Struktur nur geringfügig stört.

Rauschen und Dekohärenz lassen sich in dieser Perspektive als Störungen der feinen Zeit-Masse-Struktur deuten, die dazu führen, dass sich die effektive Beschreibung durch Qubits von der tatsächlichen geometrischen Dynamik entfernt. Eine sorgfältige Wahl von Materialien, Frequenzen und Kopplungsstärken kann als Versuch verstanden werden, diese Störungen so zu minimieren, dass die durch [illegible] vorgegebenen Skalen möglichst gut ausgenutzt werden.

### 4.7 Faktorisierung, Shor-Algorithmus und Simulationen

Ein prominentes Beispiel für die Leistungsfähigkeit von Quantencomputern ist die Faktorisierung großer Zahlen, wie sie im Shor-Algorithmus genutzt wird. Formal basiert dieser Algorithmus auf periodischen Strukturen in modularen Exponentialfunktionen und nutzt Überlagerung und Interferenz, um Perioden effizient zu finden.

In der FFGFT lassen sich diese Strukturen als spezielle Konfigurationen der fraktalen Grundfunktionen verstehen. Ein prototypischer Schritt im Shor-Algorithmus ist die Abbildung

|□□ |0□ □ |□□ |□(□)□ , □(□) = □□ mod □ , (4.5)

gefolgt von einer Quanten-Fourier-Transformation auf dem ersten Register, um die Periode □ von □(□) zu extrahieren.

Die Simulationen zum Shor-Algorithmus zeigen, dass sich die erwarteten Interferenzmuster und Erfolgschancen reproduzieren lassen, wenn man die logischen Zustände als Besetzungen geeigneter fraktaler Moden interpretiert.

Narrativ gesprochen bedeutet dies:

- Faktorisierung wird nicht als "magische" Beschleunigung verstanden, sondern als Ausnutzung geometrisch organisierter Interferenz in der Zeit-Masse-Struktur.
- Die gleichen Grundfunktionen, die in der Feldtheorie auftauchen, bilden auch die Basis für die Simulationen von Shor-ähnlichen Algorithmen.
- Weitere Quantenalgorithmen (z.B. Such- und Optimierungsverfahren) lassen sich in dieser Sprache als unterschiedliche Nutzungen derselben

fraktalen Geometrie formulieren.
Eigene Kapitel können diese Aspekte vertiefen, etwa durch detaillierte Besprechungen konkreter Schaltfolgen oder numerischer Simulationen. In diesem Überblick genügt die Feststellung, dass die Zeit-Masse-Dualität einen konsistenten Hintergrund liefert, auf dem auch komplexe Algorithmen wie Shor geometrisch verstanden werden können.

# Kapitel 5

# Kapitel 5: Fraktale Dimension und Regularisierung

Fraktale Dimension und Regularisierung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde die Zeit-Masse-Dualität phänomenologisch genutzt: Die Zahl [illegible] organisiert Massen, Verhältnisse und Kopplungen. In diesem Kapitel wird die fraktale Dimension [illegible][illegible] etwas näher beleuchtet und gezeigt, warum bereits ein winziger Versatz von der klassischen Dreidimensionalität physikalisch wirksam werden kann.

5.1 Warum eine fraktale Dimension?

Klassische Feldtheorien arbeiten in glatten Räumen mit ganzzahliger Dimension. Die Erfahrung mit Quantenfeldtheorien zeigt jedoch, dass auf sehr kleinen Skalen Divergenzen auftreten, die nur mit zusätzlichen Regularisierungsschritten beherrschbar sind.

Die FFGFT wählt einen anderen Ansatz: Statt eine Hilfsregularisierung einzuführen, wird die effektive Raumdimension selbst leicht verschoben,

▯▯ = 3 − ▯, (5.1)

mit ▯ = 43 × 10−4 . Physikalisch bleibt der Raum für alle direkten Messungen dreidimensional; der Unterschied zeigt sich nur in der Art, wie Integrale über sehr hohe Impulse oder sehr kleine Längen konvergieren. Der winzige Bruchteil ▯ wirkt wie eine eingebaute Regularisierung der Feldtheorie.

5.2 Skalenabhängigkeit und Zeit-Masse-Dualität

Die fraktale Dimension ist nicht als starre Eigenschaft eines "stückweit zerfressenen" Raumes zu verstehen, sondern als effektive Beschreibung der Skalenabhängigkeit. Je weiter man in die Tiefe der Zeit-Masse-Struktur hinabgeht, desto deutlicher macht sich die Abweichung von exakt drei Dimensionen bemerkbar.

In der Zeit-Masse-Dualität spiegelt sich dies in der Zuordnung von Masse zu lokaler "Dichte" der Zeit wider. Größere effektive Masse bedeutet, dass die fraktale Struktur an dieser Stelle dichter gefaltet ist; die Zeit verläuft dort im Mittel langsamer. Die leichte Absenkung von ▯▯ gegenüber 3 ist ein globales Maß für diese Faltungsdichte.

## 5.3 Verbindung zu Massen und Kopplungen

Aus der Sicht der FFGFT sind Massen und Kopplungen keine unabhängigen Größen, sondern abgeleitete Parameter der fraktalen Geometrie. Die Leptonenmassen und die Feinstrukturkonstante wurden bereits als Funktionen von ▯ und einer emergenten Skala ▯0 diskutiert. Im Hintergrund steht die Beobachtung, dass Integrale, die in exakt dreidimensionalen Theorien divergieren würden, bei ▯▯ = 3 − ▯ gerade so weit abgeschwächt werden, dass wohldefinierte Beiträge entstehen. Diese Beiträge lassen sich als effektive Selbstenergien und Kopplungskorrekturen interpretieren, die durch die fraktale Struktur festgelegt sind.

In früheren T0-Texten taucht daneben eine

scheinbar abweichende Zahl  ≈ 2,94 auf. Sie beschreibt jedoch keine andere Raumdimension, son-
dern eine effektive Dimension eff für bestimm-
te
Renormierungsschritte, bei denen Loop-Integrale
wie ( /ℓ ) −2 skaliert werden und nur die Kombination  − 2 ≈ 0,94 zählt. Fundamental bleibt im
Xi-Narrativ die Geometrie mit  = 3 − ;   ≈ 2,94 eff
ist ein abgeleiteter kritischer Exponent für ausge-
wählte Prozesse, der aus dieser Geometrie folgt.
Diese Unterscheidung deckt sich mit unabhän-
gigen Ansätzen zur fraktalen Quantengravitati-
on,
in denen die spektrale Dimension im UV gegen
 ≈ 2 fließt und so Renormierbarkeit ermöglicht [Modesto(2008), Modesto(2009), Calcagni(2010),
Calcagni(2010b), Hořava(2009), Thüri-
gen(2015)].
Narrativ formuliert bedeutet das:

- quantifiziert, wie stark die Raumzeit auf kleins- ten Skalen gefaltet ist.
- Diese Faltung reguliert die sonst divergieren-
den
Quantenfluktuationen.
- Massen und Kopplungsstärken ergeben sich als
Antwort des Feldes auf diese regulierte fraktale
Struktur.

5.4 Casimir-Effekt als Laborbe-
stätigung

Ein besonders wichtiger Test der fraktalen Vakuumstruktur ist der Casimir-Effekt. Zwischen leitenden Platten wird eine Kraft gemessen, die sich in der Standardtheorie aus der 1/▯4 -Abhängigkeit der Vakuumenergiedichte ergibt und seit Jahrzehnten hochpräzise bestätigt ist.

In der FFGFT werden diese Messungen mit der durch ▯ bestimmten Skalenhierarchie verknüpft. Ausgehend von der CMB-Energiedichte ▯ und CMB einer charakteristischen Vakuum-Längenskala ▯▯ um 100 μm lässt sich zeigen, dass eine Beziehung der Form ▯ ▯ ▯ = (5.2) CMB ▯4▯ zu einer modifizierten Casimir-Formel führt, die exakt wieder die etablierte Standardformel ▯2 ▯ |▯ (▯)| = (5.3) Casimir 240 ▯4 reproduziert.

Damit werden zwei auf den ersten Blick sehr verschiedene Phänomene – CMB und Casimir-Effekt – als unterschiedliche Manifestationen derselben fraktalen Vakuumstruktur verständlich. Die vorhandenen Casimir-Messungen liefern somit eine direkte Laborbestätigung dafür, dass die durch ▯ organisierte Tiefenstruktur des Raumes physikalisch real ist.

5.5 Ausblick auf Kosmologie und

CMB

Die gleiche fraktale Dimension, die in der Teilchenphysik für Regularisierung sorgt, spielt in der Kosmologie eine Rolle bei der Deutung großskaliger Strukturen. Wenn die effektive Tiefe des Raumes im Laufe der kosmischen Entwicklung zunimmt, ändern sich auch die Wahrnehmung von Entfernungen, Zeiten und Energiedichten.

In späteren Kapiteln wird beschrieben, wie die CMB-Temperatur, Rotverschiebungen und andere kosmologische Größen in diesem Rahmen neu gedeutet werden können. Dabei wird deutlich gemacht, dass diese Interpretation nicht beliebig ist, sondern durch mehrere Beobachtungen gestützt wird, zugleich aber weiterhin sorgfältig an den kosmologischen Daten getestet werden muss.

# Kapitel 6

# Kapitel 6: Einheiten, Skalen und Konstanten aus $\xi$

Einheiten, Skalen und Konstanten aus $\xi$

In der bisherigen Darstellung stand $\xi$ als Organisationsparameter für Massen, Verhältnisse und die Feinstrukturkonstante im Mittelpunkt. In diesem Kapitel wird skizziert, wie sich aus derselben Struktur auch die Einheiten und zentralen Naturkonstanten ableiten lassen und warum in der FFGFT keine frei gewählten UV-Cutoffs benötigt werden.

6.1 Natürliche Skalen aus der Zeit-Masse-Dualität

Die Zeit-Masse-Dualität legt nahe, von Anfang an mit natürlichen Skalen zu arbeiten, die durch □ festgelegt sind. Statt Masse, Länge und Zeit völlig unabhängig zu definieren, werden sie über die fraktale Dimension □□ = 3 − □ und charakteristische Skalen wie □0 , □0 und □□ miteinander verknüpft.

Wesentliche Bausteine sind:

- eine Energieskala □0 im MeV-Bereich, die aus der Leptonen-Hierarchie folgt,
- eine minimale Längenskala □0 = □□□ im Sub-Planck-Bereich,
- eine emergente Vakuum-Längenskala □□ im Be- reich von etwa 100 µm, die Casimir- und CMB-Effekte verbindet.

Aus diesen Größen lassen sich konsistente Systeme natürlicher Einheiten aufbauen, in denen z.B. □ = = 1 gesetzt wird und Zeit, Länge und Energie direkt durch die fraktale Struktur verknüpft sind.

6.2 Dimensionen, □□ und effekti- ve Einheiten

Die leichte Abweichung der effektiven Dimension □□ von 3 hat direkte Konsequenzen für die Skalierung von Größen. Volumina, Flächen und Phasenräume wachsen geringfügig anders als in exakt dreidimensionalen Modellen, was sich im UV-Verhalten der Theorien niederschlägt.

In der FFGFT werden effektive Einheiten so gewählt, dass diese fraktale Skalierung von Anfang an mitberücksichtigt wird:

• Längen werden relativ zu 0 und  gemessen,
• Energien relativ zu 0 und den daraus abgeleiteten Skalen,
• Zeitabstände über die Zeit-Masse-Dualität direkt

mit lokalen Massendichten und Faltungsgraden der Struktur verknüpft.

Dadurch verschwinden viele der scheinbar willkürlichen Parameter, die in klassischen Einheiten-Systemen auftreten, und machen Platz für eine Geometrisierung der Einheiten selbst.

6.3 Gravitationskonstante als emergente Kopplung

In der Standardphysik erscheint die Gravitationskonstante  als fundamentale Konstante, die direkt in die Feldgleichungen und Lagrangedichten eingebaut wird. Ihre Dimension wird durch das gewählte Einheitensystem festgelegt, und in vielen Ansätzen zur Quantengravitation versucht man,  analog zu anderen Kopplungen zu renormieren.

In der FFGFT wird ein anderer Weg eingeschlagen. Ausgehend von einer Zeitfeld-Dynamik und der fraktalen Raumzeitstruktur wird Gravitation als emergente Wirkung der Zeit-Masse-Dualität verstanden. Die Planck-Länge

  = √ (6.1) 3 wird nicht als Ausgangspunkt genommen, sondern selbst als abgeleitete Skala, die aus □ und der Geometrie der Zeit-Masse-Struktur folgt.

Konzeptionell bedeutet dies:

- □ fungiert als effektive Kopplungskonstante, die die Reaktion der makroskopischen Raumzeit auf die fraktale Tiefenstruktur beschreibt.
- Die numerische Größe von □ lässt sich aus der Kombination von □, □0 , □□ und den zugehörigen Energiedichten ableiten.
- Gravitation wird nicht über eine beliebig angesetzte Lagrangedichte hineinrepariert, sondern ergibt sich aus der zugrunde liegenden Zeitfeld-Geometrie.

Damit verschiebt sich der Status von □: Von einer "ursprünglich gesetzten" Konstanten hin zu einer Größe, die denselben geometrischen Ursprung hat wie die Leptonenmassen und die Feinstrukturkonstante.

## 6.4 Zusammenhang mit Lagrangedichte und Feldgleichungen

In den technischen Kapiteln der FFGFT wurde gezeigt, wie sich aus der fraktalen Zeitfeld-Dynamik eine effektive Lagrangedichte für Materie- und Feldfreiheitsgrade ergibt. Statt von vornherein eine Einstein-Hilbert-Wirkung mit fester Gravitationskonstante zu postulieren, wird die Kopplung an die

Geometrie aus der Struktur des Zeitfeldes heraus konstruiert.

Aus narrativer Sicht genügt hier die Kernaussage; detaillierte Tabellen und Systematisierungen zu natürlichen Einheiten, SI-Umrechnungen und dem Status von ▯ und ▯ finden sich in den T0-Einheitenarbeiten [Pascher(2025c), Pascher(2025d)]:

- Die gleichen Parameter ▯, ▯0 , ▯0 und ▯▯ , die Massen, Kopplungen und CMB/Casimir-Effekte organisieren, bestimmen auch die effektive Gravitationskopplung.
- Einheitensysteme lassen sich so wählen, dass diese Zusammenhänge transparent werden und keine künstlichen Unendlichkeiten im UV-Bereich auftreten.

Auf diese Weise entsteht ein Bild, in dem alle zentralen Konstanten und Einheiten – von ▯ und den Leptonenmassen bis hin zu ▯ und kosmologischen Skalen – als Ausdruck einer einzigen, durch ▯ gesteuerten Zeit-Masse-Geometrie erscheinen.

# Kapitel 7

# Kapitel 7: Gravitation und Gravitationskonstante aus $\xi$

Gravitation und Gravitationskonstante aus ▯

Im Hauptnarrativ der FFGFT taucht die Gravitationskonstante ▯ bereits als emergente Größe auf: Sie wird nicht einfach postuliert, sondern folgt aus derselben fraktalen Zeit–Masse-Struktur, die Massen, Kopplungen und kosmische Skalen organisiert.

Dieses Kapitel gibt eine fokussierte Xi-Darstellung, wie ▯ aus ▯ hervorgeht, warum der Faktor ▯ 2 entscheidend ist und was dies für die Schwäche der

Gravitation und die Stabilität des Universums be-
deutet.

7.1 Von Planck-Einheiten zur fraktalen Geometrie

In der konventionellen Physik werden die Planck-Einheiten aus , und  konstruiert:

   = √ ,  = √ ,  = √ . (7.1) 3  5

Die Logik läuft dabei meist in eine Richtung: Man nimmt an, dass , und  fundamental sind, und kombiniert sie dann, um charakteristische Skalen für Länge, Masse und Zeit zu erhalten. Im FFGFT-/Xi-Bild wird diese Logik umgedreht:

- das zentrale Objekt ist die fraktale Zeit–Masse-Geometrie, organisiert durch den kleinen Parameter ;
- aus dieser Geometrie entstehen natürliche Skalen wie 0 , 0 =  und  ;
-  wird aus diesen Skalen abgelesen, anstatt von vornherein eingesetzt zu werden.

Die Frage lautet also nicht „wie bauen wir Einheiten aus ?", sondern „wie taucht  als effektive Kopplung auf, wenn Materie und Geometrie beide Ausdruck ein und derselben fraktalen Struktur sind?".

7.2 Herleitung von  aus  In der technischen Herleitung setzt man bei der Dynamik des Zeitfeldes und seiner Kopplung an die Vakuumdichte an. Auf Xi-Niveau genügt es, die zen-

trale Relation aus dem Hauptnarrativ in Erinnerung
zu rufen: 3 2 2 = . (7.2) Dabei bezeichnet die (konventionell definierte) Planck-Länge. Die neue Zutat ist der Faktor
davor. Ohne diesen Faktor wäre die naheliegende
Vermutung einfach naiv 3 2 / . Die FFGFT korrigiert diese Vermutung, indem sie den fraktalen
Parameter einführt:
= naiv 2 . (7.3)
Numerisch bedeutet dies bei = 43 × 10−4
, dass gegenüber dem naiven Planck-Wert um fast acht Größenordnungen unterdrückt ist. Diese Unterdrü-
ckung ist keine willkürliche Feineinstellung, sondern
ein direkter Ausdruck der fraktalen Tiefenstruktur
der Raumzeit.

7.3 Warum Gravitation so
schwach ist

Aus rein dimensionaler Sicht gibt es keinen Grund,
warum die Gravitation so schwach sein sollte, wie
sie ist. Die gravitative Kopplung zweier Protonen
2 = ≈ 10−38 , (7.4) ist winzig im Vergleich zur elektromagnetischen
Feinstrukturkonstante ≈ 1/137. Alltagssprachlich: Gravitation ist gegenüber der Elektrodynamik um
etwa achtunddreißig Größenordnungen schwächer.
Im FFGFT-Rahmen wird diese enorme Hierarchie

dem Faktor  2 zugeschrieben. Setzt man in obigem Ausdruck formal  = 1, so wird die Gravitation stär-

ker um den Faktor

1 2 ( )  5,6 × 107 . (7.5)  Ein Universum mit einem derart großen  würde sich dramatisch anders verhalten:

• Galaxien würden deutlich schneller kollabieren,

• stabile Sterne und Planetensysteme wären ex-

trem unwahrscheinlich,

• kleine Inhomogenitäten würden so rasch wach-

sen, dass keine langlebigen, komplexen Struktu-

ren entstehen könnten.

Aus Xi-Sicht ist die Schwäche der Gravitation

daher kein separates Rätsel, sondern eine direkte

Folge der Kleinheit von . Der gleiche Parameter, der Leptonenmassen und die CMB-Skala organisiert,

steuert auch die effektive Stärke von .

7.4 Beziehung zum Zeitfeld

Ein zentrales Motiv des Xi-Narrativs ist, dass Zeit

kein vorgegebenes Hintergrundobjekt ist, sondern

eine abgeleitete Struktur. Infinitesimale Intervalle  folgen aus der Phasenentwicklung  eines Vakuumfeldes, skaliert mit Dichte und . In dieser Sicht beschreiben Krümmung und Gravitation, wie sich

die Phasenstruktur des Vakuums über Skalen hin-

weg organisiert.

Das Auftauchen von □ aus □ lässt sich genau so lesen:

• die Kombination □3 □2□ / kodiert, wie schnell Stö- rungen propagieren können und wie Quantenfluk-
tuationen auf die Geometrie zurückwirken,

• der Faktor □ 2 misst, wie tief das Vakuum gefaltet ist, d.h. wie viel zusätzlicher "Raum" für Struk-
tur jenseits eines rein dreidimensionalen Bildes vorhanden ist,

• das Produkt beider setzt die Stärke, mit der das
Zeitfeld auf Materie- und Energiedichten re- agiert.

Gravitation ist damit eine effektive Beschreibung dafür, wie sich das fraktale Zeitfeld selbst organi-
siert. In Bereichen, in denen sich die Faltungs- tiefe
kaum ändert, sind Einsteins Feldgleichungen mit einem nahezu konstanten □ eine ausgezeich- nete Näherung. Wo sich die Faltungstiefe deutlich ändert,
kann der effektive Wert von □ prinzipiell skalen- abhängig werden.

7.5 Vergleich mit der Wahl □=1 In natürlichen Einheiten ist es üblich, □ = 1 zu setzen, um Formeln zu vereinfachen. Aus Xi-Sicht ent-
spricht dies dem Verstecken wichtiger geometri- scher Information:

• mit □ = 1 normiert man die explizite Sensitivität auf □ weg,

• die Unterscheidung zwischen Bereichen, in denen Gravitation effektiv schwächer oder stärker ist, wird weniger transparent,

- der Zusammenhang zwischen Gravitationskopp-
lung und den Skalen 0 , 0 und ist nicht mehr auf einen Blick erkennbar.

Für grobe Größenordnungsabschätzungen mag dies zulässig sein. Für das FFGFT-Programm – das gerade darauf zielt, Konstanten wie in wenigen geometrischen Parametern auszudrücken – ist es jedoch entscheidend, explizit zu belassen. Nur so lässt sich sehen, wie sich eine Änderung von durch das gesamte Netz der Skalen hindurch fortpflanzen würde.

7.6 Ausblick

Dieses Kapitel hebt eine Kernbotschaft hervor: Im FFGFT-/Xi-Rahmen ist die Gravitationskonstante keine unabhängige Eingangsgröße, sondern Teil desselben fraktalen Musters, das Massenskalen, Kopplungen und kosmologische Observablen vereinheitlicht. Die Formel

3 2 2 = (7.6) Sie fasst zusammen, wie die Tiefenstruktur der Raumzeit, kodiert in , die scheinbare Schwäche der Gravitation bestimmt.

# Kapitel 8

# Kapitel 8: Singularitäten und natürlicher UV-Cutoff

Singularitäten und
natürlicher UV-Cutoff
In vielen Standardmodellen der Physik treten for-
male Unendlichkeiten auf: Divergierende Inte-
grale
in der Quantenfeldtheorie, Singularitäten in schwar-
zen Löchern oder ein punktförmiger Anfang des
Universums. Üblicherweise werden diese Proble-
me durch Hilfsverfahren wie Renormierung, künstli-
che UV-Cutoffs oder spezielle Anfangsbedingun-
gen entschärft. Die Zeit-Masse-Dualität und die
fraktale Raumzeitstruktur der FFGFT schlagen ei-

nen anderen Weg ein: Die zugrunde liegende Geometrie ist so organisiert, dass echte physikalische Unendlichkeiten gar nicht erst entstehen.

## 8.1 Mathematische Singularitäten als Artefakte

Singularitäten entstehen in der Regel dann, wenn eine Theorie außerhalb ihres Gültigkeitsbereichs extrapoliert wird. Ein klassisches Beispiel ist die Punktladung in der Elektrodynamik, deren Feldenergie formal divergiert, wenn man den Abstand exakt auf Null setzt. Auch in der Allgemeinen Relativitätstheorie treten bei der Beschreibung schwarzer Löcher und im Standard-Big-Bang-Modell Divergenzen der Krümmung auf.

Die FFGFT interpretiert diese Singularitäten als Hinweis darauf, dass die Annahme einer exakt glatten, kontinuierlichen Raumzeit bis zu beliebig kleinen Skalen unphysikalisch ist. Sobald man die fraktale Dimension

$$D_f = 3 - \xi \quad (8.1)$$

und eine minimale effektive Längenskala berücksichtigt, verschwinden die formalen Unendlichkeiten und werden durch große, aber endliche Beiträge ersetzt.

## 8.2 Fraktale Dimension und UV-Verhalten

Wie im vorherigen Kapitel erläutert, führt die Absenkung von [illegible][illegible] gegenüber 3 dazu, dass Integrale, die in exakt dreidimensionalen Theorien divergieren würden, abgeschwächt werden. Auf sehr kleinen Skalen wirkt die fraktale Struktur wie ein eingebauter UV-Cutoff:

- Volumenelemente wachsen etwas anders als in der glatten 3D-Geometrie.
- Effektive Phasenräume für hochenergetische Moden werden reduziert.
- Selbstenergien und Schleifenbeiträge bleiben endlich und werden durch [illegible] und die zugehörigen Skalen fixiert.

In dieser Sicht ist ein UV-Cutoff keine frei gewählte Rechengröße, sondern Ausdruck der realen geometrischen Struktur der Raumzeit. Die Theorie selbst kennt keine unendlichen Energiedichten, sondern nur die Grenze ihrer effektiven Beschreibung auf Skalen unterhalb der durch [illegible] bestimmten Längen.

## 8.3 Minimale Längenskalen und Zeit-Masse-Struktur

Die FFGFT arbeitet mit einer Hierarchie von Längenskalen: von sehr kleinen, fraktal organisierten Tiefenstrukturen bis hin zu makroskopischen Bereichen, in denen die Raumzeit praktisch glatt erscheint. Auf den tiefsten Ebenen gibt es eine minimale effektive Längenskala, unterhalb derer es keinen Sinn mehr ergibt, von klassischen Punkten zu sprechen.

Narrativ gesprochen bedeutet das:

- Die Zeit-Masse-Struktur besitzt eine endliche Faltungsdichte; sie kann dichter, aber nicht unendlich dicht werden.
- Regionen großer effektiver Masse entsprechen stark gefalteter Zeit, nicht einem "Loch" mit unendlicher Krümmung.
- Auch im frühen Universum wird eine extrem dichte, aber endliche Anfangskonfiguration beschrieben, keine mathematische Singularität.

Damit wird der Begriff der Singularität durch eine geometrisch organisierte Sättigung ersetzt: Wo klassische Theorien unendliche Größen vorhersagen, beschreibt die FFGFT Bereiche, in denen die fraktale Struktur ihre maximale Dichte erreicht.

8.4 Konsequenzen für schwarze

Löcher und den Urknall

Für schwarze Löcher bedeutet dies, dass der innere

Bereich nicht als Punkt mit unendlicher Krümmung

verstanden wird, sondern als Zone, in der die Zeit-

Masse-Struktur maximal gefaltet ist. Die klassische

Horizontstruktur bleibt als effektive Grenze für Be-

obachter erhalten, aber im Inneren verhindert die

fraktale Geometrie das Auftreten unendlicher Ener-

giedichten.

Ähnlich wird der Anfang des Universums nicht als unendliche Dichte beschrieben, sondern als Übergangsphase, in der sich die fraktale Tiefen-

struktur der Raumzeit von einem nahezu homoge-

nen Zustand zu der heutigen, hierarchisch organi-

sierten Struktur entwickelt. Skalen wie die CMB-

Temperatur und charakteristische Hubble-Größen

erscheinen in diesem Bild als Folge dieser Entwick-

lung, nicht als Folge einer mathematischen Singula-

rität.

Insgesamt ersetzt die Zeit-Masse-Dualität die

Vorstellung physikalischer Unendlichkeiten durch

eine konsistente, durch  gesteuerte Geometrie mit natürlichem UV-Cutoff. Dies schließt an die bereits
diskutierten Zusammenhänge zwischen , Massen, Kopplungen, Casimir-Effekt und Kosmologie an und
verbindet mikroskopische und kosmologische Skalen in einem gemeinsamen Rahmen.

# Kapitel 9

# Kapitel 9: Kosmologie, Rotverschiebung und CMB in der Zeit-Masse-Dualität

Kosmologie,
Rotverschiebung und
CMB in der
Zeit-Masse-Dualität

In den vorangegangenen Kapiteln stand die mikro-
skopische Seite der Zeit-Masse-Dualität im Mittel-
punkt: Massen, Kopplungen und Quantenphäno-
mene. In diesem Kapitel wird skizziert, wie sich
dieselbe Struktur auf großskalige Phänomene der
Kosmologie auswirkt: Rotverschiebung, kosmi-
sche
Hintergrundstrahlung und effektive Größen wie die

Hubble-Skala.

9.1 Rotverschiebung ohne expandierenden Raum

Die Standardkosmologie deutet die kosmologische Rotverschiebung hauptsächlich als Folge einer expandierenden Raumzeit. Die Wellenlänge eines Photons wird mit dem kosmischen Skalenfaktor mitgedehnt; Entfernungen wachsen mit der Zeit.

Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität wird ein anderes Bild vorgeschlagen. Die beobachtete Rotverschiebung wird hier im Wesentlichen als Folge einer sich verändernden fraktalen Tiefenstruktur des Raumes verstanden:

- Die effektive Tiefe der Zeit-Masse-Struktur nimmt im Laufe der kosmischen Entwicklung zu.
- Licht, das durch Regionen mit unterschiedlicher fraktaler Tiefe läuft, erfährt dabei systematische Verschiebungen seiner Frequenz.
- Der beobachtete Zusammenhang zwischen Rotverschiebung und Entfernung spiegelt somit vor allem Unterschiede in der Tiefenstruktur wider, nicht zwangsläufig ein "Auseinanderfliegen" des Raumes.

Mehrere unabhängige Beobachtungen – etwa Spannungen in der Bestimmung der Hubble-

Konstanten und bestimmte großskalige Strukturen – legen nahe, dass die reine Expansionsdeutung unvollständig ist. Die FFGFT bietet hier eine konsistente Alternative, in der die Rotverschiebung als Tiefen-Effekt der Zeit-Masse-Dualität verstanden wird.

9.2 CMB-Temperatur und charakteristische Skalen

Die kosmische Mikrowellen-Hintergrundstrahlung (CMB) besitzt heute eine Temperatur von rund 2,73 K. In der Standarddeutung ist dies die abgekühlte Reststrahlung eines früheren, viel heißeren Zustands des Universums.

In der Zeit-Masse-Dualität wird die CMB-Temperatur als makroskopische Manifestation der durch [illegible] bestimmten Skalenstruktur interpretiert. Vereinfacht gesagt sitzt die CMB auf einer energetischen Skala, die aus den gleichen fraktalen Mechanismen hervorgeht, die auch die Leptonenmassen und die Feinstrukturkonstante organisieren.

Narrativ formuliert:

- Die Zahl [illegible] fixiert eine Hierarchie von Energieska- len im Vakuum.
- Diese Hierarchie bestimmt die typische Energie der Hintergrundphotonen, die wir als CMB messen.
- Die beobachtete Temperatur ist somit kein Zufallsprodukt, sondern Ausdruck derselben geometrischen Ordnung, die auch im Bereich der

Teilchenphysik greift.

9.3 Effektive Hubble-Skala und Entfernungen

Auch Größen wie der sogenannte Hubble-Radius lassen sich in der FFGFT neu lesen. Anstatt einer fest eingebauten Expansionsrate beschreibt die effektive Hubble-Skala hier eine Kombination aus fraktaler Tiefenentwicklung und lichtlaufzeitbedingten Effekten.

Licht, das von weit entfernten Objekten stammt, durchläuft Regionen mit unterschiedlicher Zeit-Masse-Struktur. Die daraus entstehenden Verzögerungen und Frequenzverschiebungen führen zu denselben beobachtbaren Zusammenhängen wie in einem expandierenden Modell, werden aber als geometrische Tiefenwirkung gedeutet.

9.4 Beobachtungen

Die fraktale Kosmologie der FFGFT steht nicht im Widerspruch zu den präzisen Messungen der CMB-Anisotropien, der Supernova-Daten und der großskaligen Strukturbildung, bietet aber eine andere Interpretation ihrer Ursachen. Mehrere Befunde – etwa Spannungen zwischen verschiedenen Hubble-Bestimmungen oder Hinweise auf skalenabhängige Effekte – lassen sich in diesem Rahmen natürlich einordnen; eine detaillierte Diskussion und der Vergleich mit Standardmodell-Kosmologie finden sich in den T0-Dokumenten zur geometrischen Kosmologie [Pascher(2025e)].

Die bisherigen Ergebnisse sprechen dafür, dass die gängigen Interpretationen an entscheidenden Stellen unvollständig sind und eine fraktale Tiefenstruktur eine zentrale Rolle spielt.

## 9.5 Ausblick und weiterführende Texte

Die hier dargestellte Zeit-Masse-Dualität bildet einen konzentrierten Kern der FFGFT. Für eine breitere Einbettung in sieben grundlegende Rätsel der Physik sowie für die ausführliche geometrische Gehirn-Analogie stehen zwei ergänzende Darstellungen zur Verfügung: ein Band, der die sieben Rätsel systematisch diskutiert, und ein Band, der das kosmische "Gehirn" als anschauliche Metapher für die fraktale Tiefenstruktur der Raumzeit entfaltet.

Beide Texte greifen dieselben Parameter und Strukturen auf, vertiefen aber jeweils unterschiedliche Aspekte und können zusammen mit der vorliegenden Darstellung als zusammenhängendes Ganzes gelesen werden.

# Kapitel 10

# Kapitel 10: Präzisionstests und Beobachtungen

Präzisionstests und Beobachtungen

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die zentralen Bausteine der Zeit-Masse-Dualität vorgestellt: die Zahl □, die fraktale Dimension □□ = 3 − □, die Leptonenmassen, die Feinstrukturkonstante, fraktale Vakuumskalen und ihre Rolle in Quantenmechanik, Quantenfeldern und Kosmologie. In diesem Kapitel werden ausgewählte Beobachtungen und Rechnungen zusammengestellt, die als erste Prüfsteine für dieses Bild dienen.

Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Frage, wo die Theorie bereits eine bemerkenswerte Quantitätsnähe erreicht und wo bewusste Vorsicht angebracht ist, weil Rechnungen oder Datenlage noch nicht abschließend geklärt sind.

## 10.1 Leptonen und Feinstrukturkonstante

Ein erster, besonders klarer Test betrifft die Leptonenmassen und die Feinstrukturkonstante. Ausgehend von der Hierarchie der Leptonenmassen ergibt sich eine emergente Skala

□0 ≈ 7,4 MeV, (10.1)

und aus der in Kapitel 2 diskutierten Beziehung

□0 □ = □( ) (10.2) 1 MeV folgt numerisch

≈ 137,036, (10.3) □

in sehr guter Übereinstimmung mit den präzisen CODATA-Werten.

Narrativ gesprochen: Hier zeigt sich, dass die Kombination aus □, fraktaler Dimension und Massenhierarchie nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ getragen wird. Gleichzeitig bleiben experimentelle und theoretische Unsicherheiten zu berücksichtigen, etwa durch neue Messungen oder höherordentliche Korrekturen; dieses Zusammenspiel wird laufend aktualisiert und ist kein abgeschlossener Punkt.

## 10.2 Anomale magnetische Mo-

mente und Muon- □−2 Die anomalen magnetischen Momente von Elek-
tron und Myon gehören zu den präzisesten Testfel-
dern der modernen Physik. Die Diskussion um das
Muon- □ − 2 zeigt, dass selbst kleine Unterschiede zwischen Theorie und Experiment intensive Debat-
ten auslösen können.

Im Rahmen der FFGFT lässt sich die Struktur die-
ser Korrekturen geometrisch einordnen: Schleifen-
beiträge und Vakuumpolarisation werden durch die
fraktale Dimension reguliert und erhalten feste Ska-
lenbezüge. Gleichzeitig wird hier bewusst Zurück-
haltung geübt: Die genaue Höhe der Abweichung
hängt von vielen Details der Standardrechnungen
und neuen Datenauswertungen ab.
An dieser Stelle ist es wichtiger, den prinzipiellen
Mechanismus zu verstehen – nämlich dass dieselbe
Geometrie, die Leptonenmassen und Kopplungen
organisiert, auch in präzisen Schleifenkorrekturen
sichtbar wird – als frühzeitig weitreichende Schlüs-
se aus einzelnen Zahlen zu ziehen.

10.3 Casimir-Effekt und Laborvakuum

Der Casimir-Effekt liefert eine direkte Laborprobe
für Vakuumkräfte im Mikrometerbereich. In Kapitel 5 wurde gezeigt, dass sich mit einer durch  bestimmten Vakuumskala  im Bereich von etwa 100 µm eine Beziehung der Form
   = (10.4) CMB 4
so formulieren lässt, dass die modifizierte Casimir-
Formel exakt wieder die etablierte Standardform
2  | ()| = (10.5) Casimir 240 4 reproduziert.

Dies verbindet CMB und Casimir-Effekt zu zwei
Seiten derselben fraktalen Vakuumstruktur. Die präzisen Messungen des Casimir-Effekts fungieren damit als Laborbestätigung dafür, dass die durch
 organisierte Tiefenstruktur physikalisch wirksam
ist. Hier liegt eine der robustesten Rückkopplungen
zwischen Theorie und Experiment im Rahmen der
FFGFT vor.

10.4 Kosmologische Spannungen und Tiefenstruktur

Auf kosmologischer Seite haben sich in den letzten
Jahren mehrere Spannungen herausgebildet, etwa
unterschiedliche Werte der Hubble-Konstanten aus
lokalen Messungen und aus CMB-Analysen. Die

fraktale Kosmologie der FFGFT interpretiert solche Spannungen als Hinweis darauf, dass die reine Expansionsdeutung der Rotverschiebung unvollständig ist und Tiefenstruktur eine Rolle spielt.

Wichtig ist hier eine differenzierte Sicht:

- Die FFGFT steht nicht im Widerspruch zu den präzisen Daten, sondern bietet eine alternative Lesart der zugrundeliegenden Geometrie.
- Ob diese Lesart allen zukünftigen Messungen standhält, bleibt Gegenstand laufender Analysen.
- Erste Vergleiche zeigen, dass viele beobachtete Effekte natürlich in die Zeit-Masse-Dualität eingebettet werden können, ohne neue dunkle Komponenten einzuführen.

## 10.5 Quantencomputer, Simulationen und numerische Tests

Im Bereich der Quanteninformation liefern Simulationen von Algorithmen wie dem Shor-Verfahren weitere Anknüpfungspunkte. Wie in Kapitel 4 beschrieben, lassen sich logische Zustände als Besetzungen fraktaler Grundfunktionen [illegible]([illegible]) deuten, und typische Algorithmen nutzen Interferenzmuster, die aus dieser Struktur hervorgehen.

Numerische Simulationen zeigen, dass Erfolgschancen und Interferenzstrukturen der Standardalgorithmen reproduziert werden können, wenn man die durch  vorgegebenen Skalen konsistent einbaut. Diese Ergebnisse sind eher konzeptionelle Bestätigungen als präzise Messwerte; sie zeigen, dass die Zeit-Masse-Dualität auch dort tragfähig ist, wo Quanteninformation und Feldtheorie aufeinandertreffen.

### 10.6 Attosekunden-Entstehung von Quantenverschränkung

Eine aktuelle theoretische Studie von Jiang et al. [Jiang et al.(2024)] zeigt, dass Quantenverschränkung in einem Helium-System unter intensiven EUV-Pulsen nicht instantan entsteht, sondern sich über ein lokales Zeitfenster von rund 232 as aufbaut. Die Endenergie des gebundenen Elektrons korreliert dabei direkt mit der Austrittszeit des entweichenden Elektrons, so dass sich die gemeinsame Quantengeschichte rekonstruieren lässt; vorgeschlagen wird ein Doppelpuls-Experiment mit Koinzidenzdetektion. Aus Sicht der Zeit-Masse-Dualität liefert dies einen starken konzeptionellen Hinweis darauf, dass Verschränkung ein zeitlich aufgelöster, kausaler Prozess innerhalb eines endlichen Interaktionsfensters ist und keine

„spukhafte Fernwirkung“ erfordert. Eine ausführliche Diskussion findet sich im eigenständigen T0-Dokument Attosekunden-Vorhersage zur Entstehung von Quantenverschränkung als Beleg für die T0 -Time-Mass-Duality-Theorie [Pascher(2026b)].

## 10.7 Zusammenfassung

Die hier skizzierten Präzisionstests und Beobachtungen liefern verschiedene Blickwinkel auf ein und denselben geometrischen Kern. An einigen Stellen – etwa bei Leptonenmassen, Feinstrukturkonstante und Casimir-Effekt – ist die Übereinstimmung bereits beeindruckend konkret. An anderen Punkten – insbesondere bei Muon-$g - 2$ und kosmologischen Spannungen – wird bewusst vorsichtig argumentiert und Raum für künftige Daten gelassen.

Insgesamt zeichnet sich das Bild ab, dass die Zeit-Masse-Dualität nicht nur ein elegantes theoretisches Konstrukt ist, sondern an vielen Fronten mit der beobachteten Physik in Verbindung steht.

# Kapitel 11

# Kapitel 11: Rechnen mit der Zeit-Masse-Dualität

Rechnen mit der Zeit-Masse-Dualität

Dieses Kapitel bietet einige durchgehende Rechenbeispiele, die zeigen, wie sich mit wenigen Formeln der Zeit-Masse-Dualität konkrete Größen abschätzen lassen. Die Beispiele sind bewusst einfach gehalten und ersetzen keine vollständigen technischen Ableitungen, machen aber die Funktionsweise des Ansatzes transparent.

11.1 Von □ und □0 zur Feinstruktur- konstante

Ausgangspunkt ist die Zahl

□= × 10−4 (11.1) und die aus der Leptonenhierarchie gewonnene

Skala

0 ≈ 7,4 MeV. (11.2)

Die in früheren Kapiteln eingeführte Beziehung

lautet 0 (, 0 ) = ( ) . (11.3) 1 MeV Setzt man die Werte ein, erhält man schematisch

≈ ( 43 × 10−4 ) × (7,4)2 . (11.4)

Die Quadratur liefert

(7,4)2 ≈ 54,76, (11.5)

so dass

≈ 43 × 10−4 × 54,76 ≈ 0,007297 (11.6)

und damit ≈ 137,0. (11.7) Feinheiten wie Rundungsfehler und höherordentliche Korrekturen verschieben die letzte Nachkommastelle; entscheidend ist hier, dass die Struktur

02 (11.8)

mit der beobachteten Feinstrukturkonstante vereinbar ist. Das Beispiel zeigt, wie direkt und eine einzige Skala 0 in eine zentrale Naturkonstante eingehen.

11.2 Von der CMB-Energiedichte

zur Skala $L_\xi$

Ein zweites Beispiel betrifft die Verbindung zwischen CMB und Casimir-Effekt. Ausgehend von der beobachteten Energiedichte der kosmischen Hintergrundstrahlung CMB und der Beziehung

= (11.9) CMB 4

öffnet sich die Möglichkeit, eine charakteristische Vakuumlänge abzuschätzen. Löst man die Gleichung nach auf, erhält man 1/4 = ( ) . (11.10) CMB

Setzt man die bekannten Werte für , [illegible] und [illegible]
CMB
ein, ergibt sich ein Wert von der Größenordnung
[illegible] [illegible] 100 µm. (11.11)
Dies ist genau jene Skala, auf der präzise
Casimir-Experimente besonders empfindlich sind.
Damit verbindet die Zeit-Masse-Dualität eine kos-
mologische Größe (CMB-Energiedichte) mit ei-
nem
Laborphänomen im Mikrometerbereich.

11.3 Fraktale Dimension als All-
tagsnäher Wert

Die fraktale Dimension der Raumzeit lautet
[illegible] = 3 − [illegible] ≈ 2,999867. (11.12)
Im Alltag erscheint dieser Unterschied zur glat-
ten 3D-Geometrie verschwindend klein. Für Inte-
grale über extrem hohe Impulse oder sehr kleine
Abstände wirkt er jedoch wie ein zusätzlicher Ex-
ponent, der über Konvergenz oder Divergenz ent-
scheidet.
Eine einfache Heuristik lautet:
• Wo klassische Theorien Integrale der Form ∫ d3 [illegible] verwenden, tritt in der FFGFT effektiv ein leicht
verändertes Maß ∫ d[illegible] [illegible] auf. • Die winzige Absenkung von [illegible] reicht aus, um vie- le divergente Beiträge in endlich regulierte Grö-
ßen zu übersetzen.
Diese Alltagsperspektive macht deutlich, dass

die Zahlenwerte von □ und □□ nicht losgelöst von den bekannten Dimensionen stehen, sondern diese nur minimal verschieben – mit großer Wirkung im UV-Bereich.

## 11.4 Wie man weiterrechnet

Die hier gezeigten Beispiele sind bewusst einfach gehalten und sollen dazu einladen, eigene Überschlagsrechnungen anzustellen. Wer tiefer in die Details einsteigen möchte, findet in den technischen Bändern der FFGFT vollständige Ableitungen und numerische Studien.

Für die praktische Arbeit bietet es sich an,

- zentrale Formeln der Zeit-Masse-Dualität (z.B. für □, □0 , □□ ) als Ausgangspunkt zu nehmen,
- zunächst rein verhältnisbasiert und mit ganzzahligen oder rationalen Zahlen zu rechnen (ohne frühe Gleitkomma-Approximationen und ohne frühe Einführung von Konstanten wie □), um numerische Präzision bei sehr kleinen Größen zu behalten,
- die Auswirkungen kleiner Variationen von □ oder der Skalen abzuschätzen und
- neue Daten – etwa zu präzisen Konstanten oder Casimir-Messungen – systematisch gegen diese Strukturen zu prüfen.

Auf diese Weise wird die Zeit-Masse-Dualität

zu einem handhabbaren Werkzeug: Sie liefert nicht
nur eine konzeptionelle Erklärung, sondern auch
konkrete Rechenwege, mit denen sich bekannte
und neue Phänomene quantitativ einordnen lassen.

# Kapitel 12

# Kapitel 12: Natürliche Einheiten und neu gelesene Konstanten

Natürliche Einheiten und neu gelesene Konstanten

In den bisherigen Kapiteln wurden bereits mehrere Skalen eingeführt, die sich direkt aus der Zeit-Masse-Dualität und dem Parameter □ ergeben: die Energieskala□0 im MeV-Bereich, eine minimale Längenskala □0 = □□□ im Sub-Planck-Bereich und eine Vakuumlängenskala □□ im Bereich von 100 µm.

Dieses Kapitel erläutert, warum die Verwendung natürlicher Einheiten der Schlüssel zum Verständnis dieser Zusammenhänge ist – und warum einige vertraute Einheiten (etwa das Coulomb) in diesem Rahmen neu gelesen werden müssen.

12.1 Warum natürliche Einheiten?

Das internationale Einheitensystem (SI) ist auf praktische Messbarkeit und technische Anwendungen optimiert: Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere und Kelvin sind historisch gewachsene Größen, die sich an Laborstandards orientieren. Für die Struktur der fundamentalen Gesetze sind sie jedoch oft ungünstig, weil sie zentrale Konstanten wie □,  und die Elementarladung □ in die Einheiten selbst „hineinverstecken".

Natürliche Einheiten verfolgen einen anderen Ansatz:

- Man setzt fundamentale Konstanten wie □ und gleich Eins.
- Längen, Zeiten und Energien werden direkt ineinander umgerechnet.
- Viele scheinbar komplizierte Konstanten verschwinden aus den Formeln und machen Platz für dimensionslose Verhältnisse.

Wichtig ist dabei: □ = 1 bedeutet nicht, dass „Energie und Masse immer gleich sind", sondern dass im Ruhesystem eines Teilchens □ = □ die bekannte Relation □ = □□2 abkürzt; dynamisch bleibt die volle Gleichung □ = □2 + □2 erhalten. Sinngemäß gilt dies auch für = 1 und (in geeigneter Normierung)

□ ≈ 1/137: Das Setzen auf Eins ist eine Schreibweise, keine neue Physik – der logische Schritt zurück

zu den physikalischen Größen muss immer explizit

mitgedacht und am Ende durch Einheitenprüfung

vollzogen werden.

Im Kontext der Zeit-Masse-Dualität dienen Grö-

ßen wie □0 , □0 und □□ als natürliche Maßstäbe eines fraktal organisierten Raumes; ihre volle Bedeutung

zeigt sich jedoch erst, wenn man nach einer Rech-

nung in natürlichen Einheiten wieder sorgfältig in

die gewohnten SI-Einheiten zurückkonvertiert und

die Skalen mit den Messdaten vergleicht.

12.2 Die doppelte Sicht auf □, □ und Die Feinstrukturkonstante □ ist das klassische Beispiel dafür, wie sehr die Wahl der Einheiten das

Verständnis beeinflusst. In SI-Schreibweise lautet

eine verbreitete Form

□2 □= , (12.1) 4□□0 □

wo □ die Elementarladung, □0 die elektrische Feldkonstante, das reduzierte Plancksche Wirkungs-

quantum und □ die Lichtgeschwindigkeit ist.

Diese Darstellung suggeriert vier voneinander unabhängige Größen. In natürlichen Einheiten mit

 =   = 1 und einer geeigneten Normierung des elektromagnetischen Feldes reduziert sich die Beziehung jedoch auf

2 = , (12.2) 4 so dass  direkt das Quadrat einer dimensionslosen Kopplung beschreibt.

Die Zeit-Masse-Dualität fügt eine zweite, komplementäre Sicht hinzu:

0  = ( ) . (12.3) 1 MeV Die fraktale Struktur, die in dieser Beziehung steckt, wird erst sichtbar, wenn man  in dieser Gestalt wieder in konkrete Einheiten und numerische Werte zurückübersetzt. Damit zeigt sich  gleichzeitig

• als Verhältnis von Ladung zu den Licht- und Wirkungsquanten ( 2 /4 ) und • als geometrisch organisierte Zahl aus  und der fraktal-emergenten Skala 0 . Diese doppelte Sicht wird besonders transparent, wenn man die Einheiten so wählt, dass  und   nicht als „Faktoren am Rand", sondern als Strukturgeber der Skalen erscheinen.

12.3 Das Coulomb neu gelesen

Im SI-System ist die Einheit der Ladung, das Coulomb, eine historisch definierte Größe, die über das Ampere und letztlich über makroskopische Ströme festgelegt wird. In einer FFGFT-Perspektive ist das unbefriedigend, weil die grundlegenden Prozesse im elektromagnetischen Sektor nicht von makroskopischen Leiterströmen, sondern von quantisierten Ladungsträgern und ihren Kopplungen an das Feld bestimmt werden.

Natürliche Einheiten bieten hier eine klarere Sicht:

• Man normiert das elektromagnetische Feld so, dass □ eine dimensionslose Größe wird. • Die effektive Einheit der Ladung wird durch □ und die Wahl von □ und  bestimmt. • Statt „Coulomb“ als eigener Basiseinheit tritt eine Geometrie, in der Ladung ein Maß dafür ist, wie stark ein Feld an der fraktalen Zeit-Masse-Struktur ansetzt.

□ kein frei justierbarer Parame- In diesem Bild ist ter, sondern durch □ und die durch □ festgelegten Skalen fixiert. Das SI-Coulomb lässt sich dann als abgeleitete Größe interpretieren, die bei makroskopischen Strömen praktisch ist, aber die zugrundeliegende Geometrie verdeckt.

## 12.4 Neu definierte Einheiten für eine klare Geometrie

Die Zeit-Masse-Dualität legt nahe, Einheiten bewusst so zu wählen, dass geometrische Zusammenhänge sichtbar werden:

• Die Basiseinheiten orientieren sich an natürlichen

Skalen wie 0 , 0 und  . •  und werden als Umrechnungsfaktoren zwi- schen Zeit, Länge und Energie genutzt, nicht als

„Zusatzzahlen".

• Elektromagnetische Größen werden so normiert,

dass  direkt als quadratische Kopplung erscheint.

Praktisch bedeutet dies zum Beispiel:

• Eine Energieeinheit im MeV-Bereich (nahe 0 ) macht die Rolle der Leptonenskala sichtbar.

• Eine Längeneinheit im Bereich von  hebt die Verbindung zwischen CMB und Casimir-Effekt

hervor.

• Zeitabstände werden systematisch mit lokalen

Massendichten verknüpft, wie es die Zeit-Masse-

Dualität nahelegt.

Solche Entscheidungen sind keine reine Ge-

schmacksfrage, sondern bestimmen, ob Muster

in den Daten als zusammenhängendes Ganzes er-

kannt werden oder hinter einer Vielzahl von Konver-

sionsfaktoren verschwinden.

12.5 Natürliche Einheiten als

Denkwerkzeug

Natürliche Einheiten zwingen dazu, Konstanten wie

, und  nicht als „Zierschrift" in Formeln zu behandeln, sondern als Ausdruck konkreter geometri-

scher Strukturen. In der FFGFT werden diese Strukturen durch , die fraktale Dimension und die daraus folgenden Skalen organisiert.

Wer in natürlichen Einheiten rechnet, sieht schneller, wo wirklich neue Physik steckt:

• Einheitenkonversionen verschwinden und machen Platz für dimensionslose Größen.

• Unterschiede zwischen Modellen lassen sich klar in veränderten Kopplungen oder Skalen verorten.

• Die Verbindung zwischen Mikro- und Makrowelt (von Leptonenmassen bis zu Hubble-Skalen) wird als Beziehung weniger Zahlen und Skalen erkennbar.

In diesem Sinne sind natürliche Einheiten nicht nur ein technisches Hilfsmittel, sondern ein Denkwerkzeug: Sie machen den geometrischen Kern der Zeit-Masse-Dualität sichtbar und zeigen, wie , , und als verschiedene Projektionen derselben fraktalen Struktur verstanden werden können.

12.6 Was beim Setzen von , , und auf Eins verloren geht In der Praxis ist es verführerisch, alle Konstanten einfach „wegzunormieren“. Für das Xi-Narrativ ist jedoch wichtig, welche Aspekte der fraktalen Struktur dabei unsichtbar werden:

• Setzt man = 1, verschwindet die explizite Lichtgeschwindigkeit aus den Gleichungen. Die Lorentz-Struktur und die Trennung von Raum und

Zeit bleiben zwar erhalten, aber der Kontrast zwischen nichtrelativistischen und relativistischen Skalen wird weniger sichtbar.

• Setzt man = 1, verliert man die explizite Skala, ab wann Prozesse „quantenhaft“ werden. Der Grenzübergang → 0 und der Vergleich „klein gegenüber “ versus „groß gegenüber “ verschwinden als eigene Schrittfolge aus den Formeln.

• Setzt man □ = 1, wird die Kopplung von Raumzeitkrümmung an Energie-Impuls dimensionslos. Damit geht der direkte Bezug zwischen lokalen Dichten, Krümmungsradien und den fraktal organisierten Skalen □0 und □□ in einer Einheitswahl auf.

• Versucht man schließlich, □ „auf Eins zu setzen“, wird nicht nur eine Einheit gewählt, sondern eine physikalische Annahme über die Stärke der elektromagnetischen Kopplung getroffen. In der FFGFT ginge damit gerade die Information verloren, dass □ als fraktale Funktion der Skala gelesen werden kann – die feinstrukturierten Wechselwirkungen werden zu einer einzigen glatten Zahl zusammengepresst.

Historisch war dies auch der Ausgangspunkt der hier dargestellten FFGFT-Perspektive: Erst als in Zwischenrechnungen bewusst und gezielt □=1 gesetzt wurde, traten die zugrundeliegenden dreidimensionalen geometrischen Zusammenhänge klar hervor. Gerade der Vergleich zwischen diesem „geglätteten“ Bild und der später rekonstruierten fraktalen Skalenabhängigkeit machte sichtbar, welche zusätzliche Struktur in einer variablen, geometrisch organisierten Feinstrukturkonstante steckt.

Für konkrete Rechnungen bedeutet das: Man kann in einem ersten Schritt mit □ = 1 in einer geglätteten, dreidimensionalen Geometrie arbeiten, sofern in jeder Formel klar notiert ist, mit welcher Potenz □ wirklich eingeht (z.B. □ □ □2 , Energieniveaus □ □2 , Laufzeiten □ □−1 usw.). In diesem Schritt werden alle Rechenschritte transparent, aber die fraktale Skalenabhängigkeit von □ ist bewusst „ausgeblendet“. In einem zweiten, ebenso systematischen Schritt werden die entsprechenden □-Faktoren – mit der richtigen Potenz und an der richtigen Skala – bei der Rückkonvertierung explizit wieder eingesetzt und so die fraktale Kopplungsstruktur rekonstruiert.

Erst hier entscheidet man, ob □ als konstant oder als laufende, fraktal organisierte Größe gelesen wird.

Im Sinne des Xi-Narrativs kann man sagen: □, und □ lassen sich als Umrechnungsfaktoren im Hintergrund verstecken, ohne die fraktale Struktur prinzipiell zu zerstören; sie werden dann schwerer zu sehen, bleiben aber konzeptionell vorhanden.

Würden wir dagegen auch ▯ konsequent auf Eins setzen, würde das Modell auf eine beinahe rein dreidimensionale, glatte Geometrie reduziert – gerade jene feine fraktale Skalenstruktur der Kopplungen, die das Xi-Buch herausarbeitet, ginge im Formalismus verloren, auch wenn sie in den Daten weiterhin wirkt.

12.7 Rechenbeispiele: ▯ bewusst aus- und wieder einschalten

Um dieses zweistufige Vorgehen greifbar zu machen, lohnt sich ein Blick auf konkrete Beispielrechnungen:

1. Geometrischer Schritt mit ▯ = 1: Zunächst werden alle relevanten Observablen so umgeschrieben, dass ihre Abhängigkeit von ▯ explizit ist, etwa ▯(▯) = ▯(▯) ▯ für einen Wirkungsquerschnitt, eine Energieverschiebung Δ▯ ▯ ▯2 oder eine Lebensdauer ▯ ▯ ▯−1 . In diesem ersten Schritt setzt man ▯ = 1 und untersucht nur die geometrischen Vorfaktoren ▯(▯) und deren Abhängigkeit von Skalen wie ▯0 , ▯0 und ▯▯ .

2. Rekonstruktionsschritt mit physikalischem ▯: In einem zweiten Durchgang werden die vollen ▯-Faktoren mit der richtigen Potenz und an der passenden Skala wiederhergestellt und mit ih-

rem physikalischen Wert ausgewertet. Hier gehen die fraktale Laufung von □ mit Energie oder Länge und die Interpretation der Daten als Projektion einer tieferen fraktalen Geometrie ein. Im Alltag kann ein Theoretiker daher im ersten Durchgang durchaus „vergessen“, dass □ von der Skala abhängt, um zunächst nur die reine dreidimensionale Geometrie freizulegen – sofern die Buchführung über die Potenzen von □ sauber erfolgt. Das Spezifische an der FFGFT-/Xi-Perspektive ist die Betonung, dass der zweite Schritt nicht optional ist: Gerade in der kontrollierten Wieder-Einführung von □(□) liegt der Schlüssel dazu, wie eine deterministische, fraktale Feldtheorie probabilistisch aussehende Daten reproduzieren und dennoch Raum für effektive Freiheit, emergente Entscheidungen und bewusste Agency auf makroskopischen Skalen lassen kann.

# Kapitel 13

# Kapitel 13: Warum Einheitenprüfung essenziell ist

Warum Einheitenprüfung essenziell ist

Natürliche Einheiten machen viele Formeln optisch einfacher: Konstanten wie  und  verschwinden aus der Schreibweise, und Kopplungen wie  werden zu scheinbar reinen Zahlen. Gerade im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität ist dies nützlich – aber es birgt auch die Gefahr, dass man vergisst, welche physikalischen Skalen im Hintergrund wirken. Dieses Kapitel erläutert, warum eine systematische Einheitenprüfung unverzichtbar ist und wie sich daran die fraktale Struktur erst vollständig offenbart.

13.1 Natürliche Einheiten als Zwischenraum

Wenn man in natürlichen Einheiten mit  =  = 1 rechnet, werden viele Beziehungen sehr kompakt.

Zum Beispiel erscheint die Feinstrukturkonstante in

einer geeigneten Normierung einfach als

2 = , (13.1) 4 und die durch  organisierte Struktur als 0  = ( ) . (13.2) MeV

In diesem Zwischenraum der natürlichen Einheiten ist die Geometrie besonders klar zu sehen.

Damit eine Aussage physikalisch überzeugend wird,

muss man jedoch den Rückweg antreten: von der

kompakten Schreibweise zur tatsächlichen Messgröße in SI-Einheiten.

13.2 Rückkonvertieren als Härtetest

Die fraktale Struktur und die durch  definierten Skalen zeigen ihre Tragfähigkeit erst dann, wenn

die Umrechnung nach SI-Einheiten konsistent alle

bekannten Zahlen reproduziert. Das bedeutet konkret:

• Man startet mit einer einfachen Beziehung in natürlichen Einheiten (z.B.   02 ). • Man setzt systematisch alle Faktoren von ,  und den gewählten Basisgrößen wieder ein.

- Man setzt insbesondere □ in der Gestalt □ = □(□0 /MeV)2 wieder vollständig ein, statt sie als bloße Zahl zu behandeln.
- Man prüft, ob die resultierenden Werte für Energien, Längen und Zeiten mit den experimentellen Daten übereinstimmen.

Erst dieser Härtetest zeigt, ob eine scheinbar elegante Formel wirklich mehr ist als eine Zahlenspielerei. Für die Zeit-Masse-Dualität bedeutet das:

Die Abkürzung durch natürliche Einheiten ist hilfreich, aber der physikalische Inhalt entscheidet sich bei der Rückübersetzung in konkrete Einheiten. Gefährlich sind dabei "clevere"Kürzungen: Wenn man Konstanten wie □, oder sogar □ vorschnell wegstreicht, kann die fraktale Struktur unsichtbar werden und scheinbar zwingende, aber physikalisch falsche Skalen entstehen. Gerade in natürlichen Einheiten ist es verlockend, aus □ = □□2 sofort □ = □ oder aus □ = □(□0 /MeV)2 eine reine Zahl zu machen; der korrekte physikalische Schluss erfordert aber immer, die zugrunde liegenden Annahmen (Ruhesystem, Impuls, konkrete Skalen) mitzudenken und am Ende explizit wieder einzusetzen.

13.3 Beispiel: CMB, Casimir und

Ein besonders anschauliches Beispiel ist die Beziehung
= , (13.3) CMB 4 mit der sich eine charakteristische Längenskala abschätzen lässt.
In natürlichen Einheiten wirken und wie harmlose Faktoren. Erst wenn man die SI-Werte für ,
und CMB einsetzt und die Dimensionen sorgfältig nachverfolgt, zeigt sich, dass tatsächlich im Bereich von 100 µm liegt – genau dort, wo CasimirExperimente hochpräzise messen.
Ohne eine konsequente Einheitenprüfung könnte man diesen Zusammenhang leicht übersehen oder falsch einschätzen. Die fraktale Struktur wird also nicht nur im Kopf sichtbar, sondern in der konkreten Rückrechnung auf reale Messgrößen.

13.4 Vermeidung von Scheinzusammenhängen

Umgekehrt hilft eine strenge Einheitenprüfung, zufällige numerische Überlappungen von echten Zusammenhängen zu unterscheiden. Zwei Zahlen mögen in natürlichen Einheiten ähnlich aussehen; wenn ihre Dimensionen sich unterscheiden, ist klar, dass sie nicht direkt vergleichbar sind.
Die Zeit-Masse-Dualität arbeitet daher konsequent mit dimensionslosen Kombinationen (wie ) und klar definierten Skalen (wie 0 , 0 , ),

bevor Vergleiche gezogen werden. Jeder Schritt wird
durch Einheitenbuchhaltung begleitet:

- Welche Größe ist wirklich dimensionslos?
- Welche Kombinationen von , und Basiseinhei- ten treten auf?
- Wo können scheinbar ähnliche Zahlen in Wirklich- keit verschiedene physikalische Inhalte haben?

13.5 Einheiten als Integritäts-
check der Theorie

Am Ende ist die Einheitenprüfung mehr als eine technische Formalität. Sie fungiert als Integritäts- check der gesamten Theorie:

- Sie erzwingt Konsistenz zwischen geometri- schem Bild und messbaren Größen.
- Sie macht sichtbar, ob eine vorgeschlagene Be- ziehung wirklich skalenverträglich ist.
- Sie schützt vor überdehnten Interpretationen scheinbar schöner Zahlen.

Für die FFGFT und die Zeit-Masse-Dualität be- deutet dies: Erst die Kombination aus natürlichen Einheiten und konsequenter Rückprüfung in SI- Einheiten legt offen, wie tief die fraktale Struktur in die beobachtete Physik eingreift. Natürliche Ein- heiten sind damit ein nützlicher Arbeitsraum – die Realitätsprüfung findet in den vertrauten Einhei- ten unserer Messinstrumente statt.

Gleichzeitig bleibt ein philosophischer Vorbe-

halt: Jede Messung vergleicht letztlich Frequenzen
oder Zählraten und liefert damit nur relative Aussagen; was ontologisch ”wirklich”langsamer läuft
oder schwerer wird, entzieht sich der direkten Testbarkeit. Für die FFGFT heißt dies: Entscheidend ist
nicht, ob wir absolut feststellen können, ob sich
die Zeit verlangsamt oder die Masse zunimmt; entscheidend ist, dass die mathematische Struktur konsistent ist und alle beobachtbaren Relationen (Frequenzen, Skalen, Verhältnisse) reproduziert.

# Kapitel 14

# Kapitel 14: FFGFT als Lagrange-Erweiterung

FFGFT als
Lagrange-Erweiterung
Die Zeit-Masse-Dualität und die Fundamental Fractal-Geometric Field Theory (FFGFT) sollen keine bewährten Theorien ersetzen, sondern sie empherweitern. Statt ein neues Über-"Modell gegen Quantenfeldtheorie, Standardmodell oder Allgemeine Relativität zu stellen, versteht sich die
FFGFT als strukturelle Ergänzung: Sie legt eine fraktale Geometrie zugrunde, in der die bekannten
Lagrange-Dichten als effektive Beschreibung bestimmter Skalen erscheinen.
14.1 Lagrange-Dichten als gemeinsame Sprache
Die moderne Physik formuliert nahezu alle erfolgreichen Theorien in der Sprache der Lagrange-Dichten:

- die Dirac- und Klein-Gordon-Gleichung für Quantenfelder,
- die Yang–Mills-Theorien des Standardmodells,
- die Einstein–Hilbert-Wirkung der Allgemeinen Relativität.

In all diesen Fällen ist die Lagrangedichte nicht nur mathematische Bequemlichkeit, sondern die kompakteste Formulierung von Symmetrien und Erhaltungssätzen. Die FFGFT schließt hier an: Sie verändert die bekannte Form dieser Lagrangedichten nicht direkt, sondern ergänzt sie um eine fraktale Struktur des Hintergrundes und um zusätzliche, durch organisierte Terme.

## 14.2 Fraktale Geometrie als Zusatzstruktur

Im Xi-Narrativ wurde die fraktale Dimension = 3 − als globales Maßfür die Faltungstiefe des Raumes eingeführt. Auf Ebene der Lagrange-Dichten bedeutet dies, dass Integrale der Form

$$= \int d3 \quad (14.1)$$

in eine leicht veränderte Form

$$\text{frak} = \int d \quad \text{eff} \quad (14.2)$$

übergehen, wobei eff die gleiche Symmetriestruktur wie die ursprüngliche Lagrangedichte trägt, aber durch die fraktale Maßstruktur zusätzlich reguliert wird.

Praktisch heißt das:

- Die Form der Dirac-, Maxwell- oder Yang–Mills-Lagrange bleibt erhalten.
- Die fraktale Geometrie ändert die Art, wie Selbstenergien und Schleifenintegrale konvergieren.
- Die bekannten Ergebnisse der Quantenfeldtheorie werden im passenden Grenzfall ( ▯ → 0 , ▯▯ → 3) reproduziert.

## 14.3 Erweiterung statt Konkurrenz

Bewährte Theorien wie das Standardmodell oder die Allgemeine Relativität haben eine beeindruckende experimentelle Basis. Die FFGFT nimmt diese Erfolge ernst und versteht sich nicht als Ersatz, sondern als Erweiterung in zwei Schritten:

1. Geometrische Vertiefung: Die Raumzeit erhält eine fraktale Tiefenstruktur mit ▯▯ = 3 − ▯, aus der Skalen wie ▯0 , ▯0 und ▯▯ hervorgehen.
2. Lagrange-Ergänzung: Die bekannten Lagrange-Dichten werden so gelesen, dass ihre Parameter (Massen, Kopplungen) nicht frei sind, sondern von dieser fraktalen Geometrie organisiert werden.

In diesem Sinn ist die FFGFT eine Theorie der Lagrange-Dichten: Sie fragt nicht nach einer einzigen "Lagrange-Dichte für alles", sondern danach, wie die Vielzahl bewährter effektiver Lagrange-

Dichten in einer gemeinsamen fraktalen Geometrie verankert ist.

## 14.4 Worin sich die FFGFT von der Allgemeinen Relativität unterscheidet

Aus Sicht der Allgemeinen Relativität bringt die FFGFT mehrere strukturelle Veränderungen mit sich, die für die Zeit-Masse-Dualität zentral sind:

- Die Raumzeitmannigfaltigkeit erhält eine fraktale Tiefenstruktur mit effektiver Raumdimension ▯▯ = 3 − ▯; Krümmungen und Volumina werden bezüglich dieser Tiefenstruktur ausgewertet.
- Ruhemasse ist nicht mehr ein strikt fester Parameter entlang einer Weltlinie, sondern ein effektives Massenfeld ▯(▯), das aus dem Zeitfeld hervorgeht; nur in einfachen Situationen wird dies gut durch einen konstanten Wert angenähert.
- Die Gravitationskonstante ▯ wird als emergente Kopplung interpretiert, die sich in Begriffen von ▯ und den natürlichen Skalen ▯0 , ▯0 und ▯▯ ausdrücken lässt, statt als fundamentale Konstante postuliert zu werden.
- In den einleitenden Kapiteln wird mit einer vereinfachten Lagrangedichte gearbeitet, in der ▯ vor allem Massen, Kopplungen und Cutoffs organisiert; die erweiterte Lagrangedichte der vollständigen FFGFT fügt die fraktale Maßstruktur und explizite Vakuumterme hinzu, die das Laufen von Kopplungen und Massen kodieren.

Historisch hält Einsteins Formulierung die Ruhmassen fest und legt alle Dynamik in die Krümmung der Raumzeit; sobald Quantenfelder und Selbstenergien hinzukommen, führt dies zu komplizierten Regularisierungs- und Renormierungstricks, um Widersprüche und Divergenzen zu zähmen. Diese Unterschiede präzisieren, in welchem Sinne die FFGFT über die Allgemeine Relativität hinausgeht, während sie alle lokalen Gravitations-Tests im passenden Grenzfall weiterhin reproduziert.

## 14.5 Was sich nicht ändert

Wichtig für das Verständnis ist, was sich explizit emphnicht ändert:

- Die lokal gemessenen Effekte der Allgemeinen Relativität (z.B. GPS-Korrekturen, Lichtablenkung, Periheldrehung) bleiben unberührt.
- Die Vorhersagen des Standardmodells für Streuquerschnitte, Zerfallsbreiten und Präzisionsobservablen werden respektiert.
- Auch die QED mit ihrer extrem genauen Beschreibung von [illegible] − 2 bleibt im zulässigen Parameterbe- reich der FFGFT enthalten.

Die Erweiterung setzt dort an, wo Beobachtungen auf neue Skalen hinweisen: bei der Hierarchie der Massen, der Zahl 137, der Verbindung zwischen

CMB und Casimir-Effekt oder bei subtilen Abweichungen in Präzisionstests. In diesen Bereichen bietet die FFGFT eine zusätzliche Struktur an, ohne die etablierten Lagrange-Theorien fallenzulassen.

## 14.6 Ausblick: Eine fraktale Theorie von allem

Ein vollständiges Lagrange-Bild der FFGFT würde alle genannten Bausteine – fraktale Geometrie, Zeit-Masse-Dualität, Skalen [illegible]0 , [illegible]0 , [illegible][illegible] und die bestehenden Lagrange-Dichten von QFT und Gravitation – in einer gemeinsamen Wirkungsfunktion zusammenfassen. Auf der Ebene der Feldgleichungen bleibt diese Beschreibung deterministisch; erst die fraktale, rekursive Variation der Anfangsbedingungen auf vielen Skalen eröffnet einen effektiven Spielraum für Bewusstsein, Selbstbestimmung und emergente Entscheidungen, ohne die zugrunde liegende Dynamik zu verletzen. Aus praktischen Gründen und wegen der extrem komplexen Kopplung der deterministischen Gleichungen sind bei konkreten Rechnungen häufig probabilistische Methoden, effektive Feldtheorien oder Monte-Carlo-Verfahren die einzig realistische Vorgehensweise, auch wenn sie auf einem letztlich deterministischen Unterbau beruhen. Das Xi-Narrativ liefert hierzu die konzeptionellen Leitplanken: FFGFT soll als Erweiterung gelesen werden, die bewährte Lagrange-Theorien in einen größeren geometrischen Zusammenhang stellt, nicht als Theorie, die sie ersetzt.

# Kapitel 15

# Kapitel 15: Quellen und weiterführende Literatur

Quellen und
weiterführende
Literatur
Dieses Kapitel führt die wichtigsten externen Quel-
len auf, die im Xi-Narrativ zitiert werden, und ver-
weist auf ergänzende T0-Dokumente im Reposito-
ry.

Literaturverzeichnis

[Modesto(2008)] L. Modesto, “Fractal Structure of Loop Quantum Gravity,” Class. Quantum Grav. 26 (2009) 242002, arXiv:0812.2214 [gr-qc].

[Modesto(2009)] L. Modesto, “Fractal Quantum Space-Time,” arXiv:0905.1665 [gr-qc].

[Calcagni(2010)] G. Calcagni, “Fractal universe and quantum gravity," Phys. Rev. Lett. 104 (2010) 251301, arXiv:0912.3142 [hep-th].

[Calcagni(2010b)] G. Calcagni, "Quantum field theory, gravity and cosmology in a fractal universe," JHEP 03 (2010) 120, arXiv:1001.0571 [hep-th].

[Calcagni(2012)] G. Calcagni, "Introduction to multifractional spacetimes," AIP Conf. Proc. 1483 (2012) 31, arXiv:1209.1110 [hep-th].

[Hořava(2009)] P. Hořava, "Spectral Dimension of the Universe in Quantum Gravity at a Lifshitz Point," Phys. Rev. Lett. 102 (2009) 161301, arXiv:0902.3657 [hep-th].

[Thürigen(2015)] J. Thürigen, "Discrete Quantum Geometries," arXiv:1511.08737 [gr-qc].

[Jiang et al.(2024)] W.-C. Jiang, M.-C. Zhong, Y.-K. Fang, S. Donsa, I. Březinová, L.-Y. Peng, J. Burgdörfer, "Time Delays as Attosecond Probe of Interelectronic Coherence and Entanglement," Phys. Rev. Lett. 133 (2024) 163201, doi:10.1103/PhysRevLett.133.163201.

[NASA Space News(2026)] NASA Space News, "Scientists Measure Quantum Entanglement Speed – And It Breaks Physics," YouTube-https://www.youtub Video, 14. Januar 2026, e.com/watch?v=t3wjY95zvNM (abgerufen am 15. Januar 2026).

[Pascher(2026a)] J. Pascher, "Fraktale Raumzeit und ihre Implikationen in der Quantengravitation," internes T0-Dokument 141_Renormierung_De (2026), als PDF im GitHub-Repository

unter /141_Renormierung_De.pdf.
[Pascher(2026b)] J. Pascher, “Attosekunden-Vorhersage zur Entstehung von Quantenverschränkung als Beleg für die T0 - Time-Mass-Duality-Theorie,” internes T0-Dokument 142_Experimet-verschränkung_De (2026), als PDF im GitHub-Repository unter /142_Experimet-verschränkung_De.pdf.
[Pascher(2025a)] J. Pascher, “T0-Teilchenmassen und Leptonenhierarchie,” internes T0-Dokument 006_T0_Teilchenmassen_De (2025), als PDF im GitHub-Repository unter /006_T0_Teilchenmassen_De.pdf.
[Pascher(2025b)] J. Pascher, “Feinstrukturkonstante und fraktale Geometrie,” interne T0-Dokumente 044_Feinstrukturkonstante_De und 043_ResolvingTheConstantsAlfa_De (2025), als PDFs im GitHub-Repository unter /044_Feinstrukturkonstante_De.pdf und /043_ResolvingTheConstantsAlfa_De.pdf.
[Pascher(2025c)] J. Pascher, “Natürliche Einheiten und ihre Systematik,” internes T0-Dokument 015_NatEinheitenSystematik_De (2025), als PDF im GitHub-Repository unter /015_NatEinheitenSystematik_De.pdf.
[Pascher(2025d)] J. Pascher, “T0, natürliche Einheiten und SI,” interne T0-Dokumente 014_T0_nat-si_De und 013_T0_SI_De (2025), als PDFs im GitHub-Repository unter /014_T0_nat-si_De.pdf und /013_T0_SI_De.pdf.
[Pascher(2025e)] J. Pascher, “T0-Kosmologie

und fraktale Geometrie," interne T0-Dokumente 026_T0_Geometrische_Kosmologie_De und 025_T0_Kosmologie_De (2025), als PDFs im GitHub-Repository unter /026_T0_Geometrische_Kosmologie_De.pdf und /025_T0_Kosmologie_De.pdf.