FFGFT in Kurzfassung

Grundlagen, Ergebnisse und Status nach der Rechenprüfung

Johann Pascher
ORCID 0009-0000-6518-4064

1. Oktober 2026

Inhaltsverzeichnis

FFGFT in Kurzfassung 2

1 Was FFGFT ist 1

Verhältnisse in natürlichen Einheiten 1

Architektur in vier Schichten 1

Resonanz als Grundgedanke: das Eulersche Tonnetz 2

Leitlinien 2

Was der Korpus heute nicht mehr behauptet 3

2 Die Grundform 3

Natürliche Einheiten, $\alpha = 1$ und die Ladung 3

Zeit-Masse-Dualität 4

Der Parameter ξ 4

Skalen als Verhältnisse 5

Zeitstruktur und Rekursion 5

Geometrie, Hilbertraum, Spektraltheorie 5

Feldtheorie: Lagrange-Dichte, Moden-Operator, Schrödinger-Limes 6

Galois-Struktur 7

3 Teilchen: die Verhältnisse 7

Leptonleiter 7

Galois-Identitäten, Koide und die vier Wege 7

Ikosaeder und goldener Schnitt: das φ-Skelett 8

Neutrinos 9

Anomale magnetische Momente 9

Elektroschwacher Sektor, Higgs, Top 9

Quarks 10

Ladung, Hyperladung, Generationen, Farbe, Photon 10

4 Die Übersetzung in SI 10

Ein Anker 10

Elektroschwache Skala 11

Fraktale Korrektur 11

E_0 und der SI-Wert von α 11

Gravitationskonstante 12

5 Gravitation und Kosmos 12

Schwarze Löcher 12

Casimir und CMB 12

Kosmischer Sektor: bewusst ausgeklammert 12

Galaxien 13

6 Quantenmechanik 13

7 Prüfbare Aussagen 14

8 Was nicht mehr gilt 15

9 Offene Brücken 16

10 Statusbilanz 16

11 Methodik und Buchführung 17
12 Leseführer 18
13 Fazit 18
14 Verwendung von KI-Werkzeugen 19

FFGFT in Kurzfassung

Zusammenfassung

Die Fundamentale Fraktale Geometrische Feldtheorie (FFGFT) ist in erster Linie eine verhältnisbasierte Theorie. Sie rechnet in natürlichen Einheiten, $\hbar = c = 1$, mit der Konvention $\alpha = 1$ und entsprechend umdefinierter Ladung $e = \sqrt{4\pi}$. In dieser Grundform gibt es genau einen dimensionslosen Parameter, $\xi = 4/30000 = 1/7500$, und keine fraktale Korrektur. Teilchen, Kopplungen und Gravitation erscheinen als Eigenschaften eines kompakten vierdimensionalen Trägers $T^4/\mathbb{Z}_3$; Ausgangspunkt ist die Zeit-Masse-Dualität $\tilde{T} \cdot m = 1$. Der leitende Gedanke ist Resonanz: Teilchen sind Schwingungsmoden, Massenverhältnisse sind Periodenverhältnisse, $1/\xi = 2^2 \cdot 3 \cdot 5^4$ ist ein Punkt im Eulerschen Tonnetz, und die fraktale Korrektur ist das Komma der Einbettung ins Kontinuum. Die Kernaussagen sind Verhältnisse: m_μ/m_e und m_τ/m_μ folgen aus ξ auf $0{,}5$ und $1\,\%$, die elektroschwache Skala steht zur Planck-Energie wie $\xi^4/(5\pi)$, Minimallänge und minimale Zeit stehen zu den Planck-Größen wie ξ, die Neutrino-Massendifferenzen liegen auf $1\,\%$, und die Ladungsquantisierung folgt algebraisch aus der Galois-Struktur von $\mathrm{GF}(27)^*$. Über das Ikosaeder kommt der goldene Schnitt hinzu: Die Gewichte der Fünffachdrehung stehen exakt wie φ^8 und $2\varphi^4$, und $m_\tau/m_e = (74 + \frac{1}{45})\varphi^8$ trifft auf 3×10^{-5}, innerhalb der Messunsicherheit. Erst die Übersetzung in SI braucht einen Messwert als Anker, den Faktor $K_{\mathrm{frak}} = 74/75$ und Umrechnungsgrößen wie C_{conv}; dort entstehen auch die Absolutwerte von α und G. Dieses Dokument fasst den Korpus (Dok. 001–389, A-Serie) auf dem Stand vom 1. Oktober 2026 zusammen, nach der vollständigen Nachrechnung. Es nennt für jedes Ergebnis Formel, Zahlenwert, Vergleichswert, Status und tragende Dokumente und sagt ebenso deutlich, was gesetzt ist, was offen bleibt und was nicht mehr gilt. Der kosmische Sektor (H_0, Λ) ist bewusst ausgeklammert.

Statusmarker.

Marker	Bedeutung
[K]	Aus ξ hergeleitet und mit Prüfskript numerisch bestätigt.
[K|Pn]	Wie [K], bedingt auf die Setzung Pn.
[B]	Algebraisch bewiesen.
[S]	Skizziert, plausibel: begründeter Schritt, aber noch nicht vollständig hergeleitet oder geprüft.
[SETZUNG]	Motivierte Setzung (Axiom), nicht hergeleitet.
[Q]	Aus der Literatur übernommen, mit Quelle.
[E]	Etablierte Physik oder Mathematik.
[X]	Widerlegt, ausgeschlossen oder nicht tragfähig.

Statusmarkierungen

[B] Algebraisch bewiesen (Umformung oder Beweis ohne Zusatzannahme).
[K] Numerisch bestätigt (Prüfskript, Vergleich mit Messwerten).
[S] Setzung, offen oder spekulativ: motiviert, aber nicht hergeleitet.
[X] Widerlegt oder ausgeschlossen. Hinter einem verneinten Satz gilt die Marke der verneinten Behauptung, nicht dem Satz.
[Q] Konvention oder übernommene Größe.

Maßgeblich ist der korrigierte Stand: das Korrekturregister Dok. 190 bis R150 und die Fassung v1.4.4, in der jede korrigierte Stelle einen datierten Hinweis mit dem vorherigen Wert trägt. Vergleichswerte: CODATA 2022, PDG 2024. Alle Zahlen dieses Dokuments rechnet das Prüfskript `pruef_384_zusammenfassung.py` nach.

1 Was FFGFT ist

Verhältnisse in natürlichen Einheiten

Der Kern der FFGFT sind Verhältnisse. In natürlichen Einheiten sind Masse, Energie, Temperatur und inverse Zeit eine Größe in vier Kleidungen (A085), und jede physikalische Aussage lässt sich als dimensionsloses Verhältnis schreiben: Massenverhältnisse, Skalenverhältnisse zur Planck-Größe, Mischungswinkel, Ladungsverhältnisse. Solche Verhältnisse hängen an keiner Einheitenwahl und tragen den Inhalt der Theorie. Absolutwerte in SI sind eine zweite Schicht: Sie brauchen einen gemessenen Anker und Umrechnungsgrößen, und dort treten Korrekturen auf, die in den Verhältnissen nicht vorkommen (A080, A130, Dok. 122). Die Kurzfassung folgt dieser Ordnung: zuerst die Grundform und die Verhältnisse, dann die Übersetzung in SI.

Architektur in vier Schichten

FFGFT ruht auf drei ausdrücklich gesetzten Grundannahmen (R56, Dok. 365): der Zeit-Masse-Dualität $\tilde{T} \cdot m = 1$, dem kompakten Träger T^4 und der Identifikation mit der Ordnung 3, $\mathbb{Z}_3$. Als vierte, motivierte Strukturwahl kommt das Gitter D_4 hinzu; Dok. 380 zeigt, dass D_4 unter den geprüften Vergleichsträgern mit fixpunkthaltiger $\mathbb{Z}_3$-Wirkung die kleinste Gitterenergie hat **[K]**, die Wahl bleibt aber eine Setzung **[S]**. Dazu kommt genau ein dimensionsloser

Parameter, $\xi = 4/30000$. Die Feinstrukturkonstante wird als $\alpha = 1$ gesetzt, indem die Ladungseinheit angepasst wird; das ist eine Konvention, kein Ergebnis **[Q]**. Galois-Körper, Hodge-Theorie und Darstellungstheorie dienen als Konsistenzprüfungen, nicht als zusätzliche Eingänge (Dok. 365, Schicht 4). Die Raumzeitdimension $3 + 1$ ist empirische Eingabe (P34).

Resonanz als Grundgedanke: das Eulersche Tonnetz

Hinter allen Einzelergebnissen steht ein Gedanke: Was existiert, braucht Resonanz. Ein Teilchen ist ein Schwingungsmodus auf dem kompakten Träger mit ganzen Wicklungszahlen (Resonanzbedingung, Dok. 189); über $\tilde{T} \cdot m = 1$ wird jede Masse zu einer Frequenz und jedes Massenverhältnis zu einem Periodenverhältnis. Periodenverhältnisse sind Charaktere zyklischer Gruppen, und die $\mathbb{Z}_3$-Reduktion macht daraus Arithmetik in $\mathrm{GF}(3^k)$: Harmonik und Galois-Klassifikation sind nicht analog, sondern zwei Darstellungen desselben Objekts (Dok. 358, Satz D **[B]**). Übergeordnet ist damit die Geometrie, die Resonanzen besitzt; sie legt alle Verhältnisse fest. Der Messwert ist der Kammerton: Er sagt, *wo* die Struktur klingt, nicht *wie* (Dok. 310; zum Anker Abschnitt 4).

Das Vorbild ist Eulers Tonnetz (1739), das Gitter der reinen Stimmung mit den Primzahlen 2, 3, 5 als Achsen. Es trägt die Theorie an drei Stellen:

- ξ **ist ein Gitterpunkt.** $1/\xi = 7500 = 2^2 \cdot 3 \cdot 5^4$ liegt im 5-Limit-Raum bei den Koordinaten $(-2, -1, -4)$ (Dok. 316 **[K]**). Sieben der neun Yukawa-Vorfaktoren sind 5-Limit-Verhältnisse wie die Intervalle der reinen Stimmung (Dok. 060); die beiden Ausnahmen, die Primzahlen 13 und 7, sind in der Galois-Lesart die harmonischen Primen der Tiefe $k = 3$ und $k = 6$, alle neun liegen im Raster $\{2, 3, 5, 7, 11, 13\}$ (Dok. 358, Satz B **[B]**).
- **Die Massenleiter ist eine logarithmische Resonanzskala.** Wegen $\xi \ll 1$ ist die Exponentenachse eine Tonleiter: Ein Schritt $\Delta p = 1/3$ ist das feste Intervall $\xi^{1/3} \approx 1/19{,}6$, die „Terz“ des Teilchenspektrums (Dok. 189).
- **Das Komma ist der Einbettungsfehler.** Eulers Spirale aus Quinten und Terzen schließt nie, weil $2^x 3^y 5^z = 1$ nur für $x = y = z = 0$ gilt; es bleiben Kommas **[Q]**. Im endlichen Körper schließt dagegen jeder Quintenzirkel exakt, ein Komma ist dort unmöglich (Dok. 358, Satz A **[B]**). Das Komma der Musik und die fraktale Korrektur sind deshalb keine Eigenschaft der Galois-Struktur, sondern der Einbettung ins Kontinuum; darum erscheint K_{frak} erst in der SI-Übersetzung. Der ξ-Zyklus selbst ist eingerollt definiert, mit rationaler Schrittweite $1/75$, und schließt nach genau 75 Umläufen (Dok. 315 **[B]**); die Rotationszahl $74/75$ ist derselbe Wert wie K_{frak}.

Dieselbe Struktur kehrt in der Kopplung wieder: Unterkritische, kritische und überkritische Kopplung zweier Kreise entsprechen exakt der 2×2-Mischung zweier Zustände (Dok. 328 **[B]**); Konsonanz ist Kopplungsgeometrie. Die Grenzen sind ebenso festgehalten: Die harmonische Lesart ist eine Darstellung, keine zusätzliche Eingabe; ein Tonnetz mit endlichem Limit deckt nur endlich viele Primzahlen (Dok. 316), und Trefferquoten harmonischer Zuordnungen mit breiten Toleranzfenstern sind ein Überdeckungseffekt, kein Beleg (Dok. 343).

Leitlinien

Fünf Regeln bestimmen, wie Ergebnisse zu lesen sind:

1. **Verhältnisse zählen.** Ein Absolutwert in SI prüft die Umrechnung, nicht die Struktur (A130).
2. **FFGFT kommt mit ξ aus.** Messwerte aus SI und Standardmodell dienen nur der Umrechnung und dem Vergleich, und dafür genügt genau ein Messwert als Anker (Dok. 383).

3. **Ganzzahlige Strukturwahlen sind Setzungen.** $\mathbb{Z}_3$, D_4, die Wicklungszahlen oder der Exponent 10 im kosmischen Sektor sind motivierte Setzungen, keine Kalibrierungen.
4. **Der kosmische Sektor ist ausgeklammert.** H_0 und Λ sind bewusst aus der Konstantenherleitung ausgeklammert (P39): Das Standardmodell leitet sie ebenso wenig her, und keiner der verglichenen Rahmen bestimmt das Verhältnis von Planck-Länge und Hubble-Länge aus ersten Prinzipien.
5. **Erklärung vor Präzision.** Der Ertrag der FFGFT sind Erklärungen: warum Massen in festen Verhältnissen stehen, warum die Ladung quantisiert ist, warum es drei Generationen gibt, warum Koide $Q = 2/3$ gilt, warum die Born-Regel ein geometrischer Quotient ist. Die Zahlen prüfen diese Erklärungen; sie ersetzen nicht die Rechnungen des Standardmodells.

Was der Korpus heute nicht mehr behauptet

Die Rechenprüfung hat einige frühere Ansprüche zurückgenommen:

- FFGFT ist keine Präzisionserweiterung des Standardmodells. Wo dieses rechnet, liefert FFGFT dieselben Werte oder benutzt die gemessenen als Anker; eine messbare ξ-Korrektur, die genauer wäre, gibt es nicht (R142, Dok. 382). Wo es freie Parameter hat, liefert FFGFT Struktur auf Prozent- bis Promille-Niveau, nicht auf Messgenauigkeit.
- FFGFT ist nicht „postulatfrei“: $\tilde{T} \cdot m = 1$, T^4, $\mathbb{Z}_3$, D_4 und ξ sind gesetzt.
- Präzisionstabellen älterer Dokumente, in denen Vorfaktoren an Messwerte angepasst waren, sind keine Belege (R138).
- Die Übereinstimmung des SI-Werts von α ist eine Eigenschaft des gewählten Ankers, keine unabhängige Vorhersage (R135).
- Die G-Präzision auf $0{,}003\,\%$ ist kein eigener Beleg (R141).
- Ein mit heutiger Hardware messbarer ξ-Effekt in Bell-Experimenten oder Quantengattern existiert nicht (R142, R143).

Die älteren Dokumente sind entsprechend korrigiert; die früheren Formulierungen belegt die Fassung v1.4.4.

2 Die Grundform

Natürliche Einheiten, $\alpha = 1$ und die Ladung

Mit $\hbar = c = \varepsilon_0 = 1$ (Heaviside-Lorentz) bleibt von der Feinstrukturkonstante die Beziehung $e^2 = 4\pi\alpha$ **[B]**. Die Grundform setzt $\alpha = 1$ **[Q]** und damit $e = \sqrt{4\pi}$: Die Ladung wird über die volle Kugeloberfläche gemessen (A267). α verschwindet dabei nicht, es wandert in die Ladungseinheit,

$$\alpha = \left(\frac{e_{\text{hist}}}{e_{\text{geo}}}\right)^2 = \frac{r_e}{\lambda_C} \quad \textbf{[B]}, \tag{1}$$

das Verhältnis von Coulomb- und Compton-Kugel des Elektrons (Dok. 386). $\alpha = 1$ heißt geometrisch: Beide Kugeln fallen zusammen, und mit ihnen der Bohr-Radius. In jeder Rechnung bleibt α über $e^2 = 4\pi\alpha$ als Spur erhalten, pro Vertex ein Faktor $\sqrt{\alpha}$ (A267). Die Brücke zwischen α und ξ läuft über die Energieskala $E_0 = \sqrt{m_e m_\mu}$, das geometrische Mittel der beiden leichtesten geladenen Leptonen; in der Grundform lautet sie

$$\xi E_0^2 = 1, \qquad E_0^2 = \frac{1}{\xi} = 7500 \quad \textbf{[B]}. \tag{2}$$

Das legt die T0-Energieeinheit fest und lässt keinen Platz für einen Korrekturfaktor.

Zeit-Masse-Dualität

In natürlichen Einheiten sind die intrinsische Zeitskala und die Masse eines Zustands reziprok:

$$\tilde{T} \cdot m = 1, \qquad \tilde{T} = \frac{\hbar}{mc^2} \text{ (SI)}. \tag{3}$$

Die Relation beschreibt jeden Zustand als Momentaufnahme, nicht als Bewegungsgesetz (Dok. 365). Eine ortsabhängige Masse im Gravitationspotential ist gleichwertig mit einer ortsabhängigen Zeit; „Masse konstant, Raum gekrümmt“ und „Raum flach, Masse veränderlich“ sind zwei Darstellungen desselben Sachverhalts (Dok. 078 **[K]**). Für Uhren und Rotverschiebung genügt der Takt; Licht verlangt zusätzlich die fraktale Wegverlängerung, die die räumliche Hälfte trägt (Dok. 308, 389). Es sind Darstellungen, keine ontologischen Aussagen; Mischformen sind zulässig, solange Takt und Weg zusammen $\gamma = 1$ ergeben. Auf dem Träger gilt die Dualität modenweise exakt als Ortsrelation $\lambda_4 \cdot m = 2\pi$ (Dok. 314 **[K]**). Aus der Reziprozität folgt $E \to \infty \Leftrightarrow T \to 0$; da die Zeit nach unten durch $T_0 = \xi t_P$ beschränkt ist, ist der Horizont ein Extremum und keine Singularität (Dok. 306).

Der Parameter ξ

$$\xi = \frac{4}{30000} = \frac{1}{7500} = 1{,}\overline{3} \times 10^{-4}. \tag{4}$$

ξ ist der einzige dimensionslose Parameter. Er hat mehrere konsistente Lesarten, aber keine erzeugt die Zahl ohne Eingang:

- **geometrisch** als Zahl 4 der Gitterrichtungen von D_4 über $3 \cdot 10^4$ (Dok. 004, 320);
- **als Galois-Zahl** über

$$\frac{(r_\mu/r_e)^2}{\xi} = |\mathrm{GF}(9)^*|^2 \cdot 5^2 \cdot |\mathrm{GF}(27)| = 8^2 \cdot 25 \cdot 27 = 43200 \tag{5}$$

  (Dok. 336, 338), was arithmetisch exakt ist **[B]**, aber an den gesetzten Vorfaktoren r_i hängt;
- **spektral** als kleinster Eigenwert des D_4-Teiloperators, $\xi = \lambda_{\min}(\hat{F}_{D_4})$ (Dok. 322, 327), der wohldefiniert ist, sofern der D_4-Sektor im $\mathbb{Z}_3$-invarianten Sektor liegt **[B]**, dessen Wert aber eingesetzt und nicht hergeleitet ist.

Insgesamt ist ξ eine motivierte Setzung **[S]**: „Vollständig frei ist ξ damit nicht; vollständig hergeleitet noch nicht.“ (Dok. 365).

Prüfung über die Higgs-Geometrie

Als Prüfung dient die Higgs-Geometrie, und auch sie ist ein reines Verhältnis: Mit der Selbstkopplung $\lambda_h = m_h^2/(2v^2) = 0{,}129$ ist $\xi_{\mathrm{EFT}} = \lambda_h^2 v^2/(16\pi^3 m_h^2) = m_h^2/(64\pi^3 v^2) = 1{,}30 \times 10^{-4}$; der Ausdruck hängt nur von m_h/v ab und liegt rund $2{,}3\,\%$ unter $4/30000$ (PDG 2024; je nach Rundung $2{,}2$–$2{,}6\,\%$; Dok. 354, A190, 385) **[K]**; die Abweichung ist strukturell gedeutet **[S]** (R59). Das ist eine Konsistenzprüfung auf wenige Prozent, keine exakte Herleitung. Der Weg geht auf die ursprüngliche Vakuumformel von 2025 mit ε_0 zurück; ausgeschrieben ist sie $\xi_{\mathrm{EFT}} \cdot \alpha$ und mit $\alpha = 1$ derselbe Ausdruck (Dok. 385) **[B]**.

Skalen als Verhältnisse

Alle Skalen der Theorie stehen in festen Verhältnissen zueinander. Minimallänge, minimale Zeit und maximale Energie verhalten sich zu den Planck-Größen wie

$$\frac{L_0}{\ell_P} = \frac{T_0}{t_P} = \xi, \qquad \frac{E_{\max}}{E_P} = \frac{1}{\xi} = 7500. \tag{6}$$

Der Exponent 1 ist hergeleitet **[B]** (R90): L_0 ist die Compton-Reichweite des Zeitfeld-Mediators mit Masse $m_T = M_{\text{Basis}}/\xi$; die Wahl $M_{\text{Basis}} = m_P$ im fundamentalen Sektor ist offen **[S]**. L_0 macht die Stufenzahl des fraktalen Operators endlich und $\hat{F}$ damit beschränkt **[B]** (Dok. 327). Die elektroschwache Skala steht zur Planck-Energie und die Leptonmassen über die Leiter (Abschnitt 3) ebenfalls in reinen ξ-Verhältnissen (Dok. 149, 383):

$$\frac{v}{E_P} = \frac{\xi^4}{5\pi} = 2{,}012 \times 10^{-17}\ (-0{,}23\,\%), \qquad \frac{m_i}{E_P} = \frac{r_i}{5\pi}\,\xi^{p_i+4} \quad \textbf{[B]}. \tag{7}$$

Mit gemessenem E_P ergeben sich die Leptonmassen zu $0{,}504$, $104{,}8$ und $1780{,}9$ MeV ($-1{,}32$, $-0{,}80$, $+0{,}22\,\%$) **[K]**. Der Faktor 10 in $v = E_P/(f^4 \cdot \frac{\pi}{2} \cdot 10)$ mit $f = 1/\xi$ ist an den Messwert angepasst. Setzt man statt des gemessenen v das nackte $v = 248{,}93$ GeV der Leiter ein, verlangt die Formel $10\,K_{\text{frak}} \approx \pi^2$ statt 10; der Faktor 10 wäre dann eine Vermischung von nacktem Leiterwert und SI-Vergleichswert **[S]** (Dok. 387).

Zur Bezeichnung: f ist hier die Grundwindungszahl $f = 1/\xi = 7500$, keine Frequenz. In natürlichen Einheiten ist f nur eine andere Lesart der Dualität $T \cdot m = 1$: $f = t_P/t_0 = \Lambda_{\text{T0}}/E_P$ mit $t_0 = \xi t_P$ und $\Lambda_{\text{T0}} = E_P/\xi$, und aus $\xi E_0^2 = 1$ folgt $f = E_0^2$. Als dimensionsloses Verhältnis lässt sich f nicht begründet auf 1 setzen (Dok. A135). Vgl. Dok. 190, R147.

Zeitstruktur und Rekursion

Die Zeitstruktur läuft schrittweise:

$$\xi_{n+1} = \xi_n\,(1 - 100\,\xi_n), \qquad \xi_0 = \tfrac{1}{7500}, \qquad \xi_n \approx \frac{1}{100(n+75)}, \qquad D(k) = \sum_{n<k} 100\,\xi_n \approx \ln\!\Big(1 + \frac{k}{75}\Big). \tag{8}$$

Im eingefrorenen Fall mit konstantem Defekt $d = 1/75$ schließt die Windung nach genau 75 Umläufen; die Rotationszahl ist $74/75 = 1 - 100\xi$ **[B]**. Das ist die geometrische Herkunft des Werts, der in der SI-Übersetzung als K_{frak} auftritt (Abschnitt 4). Im laufenden Fall wird die Zeitwindung zur logarithmischen Spirale mit Selbstähnlichkeitsverhältnis e, einer kontinuierlichen Skaleninvarianz mit Pol bei $n = -75$ (Dok. 295 **[B]**/**[K]**). Die Inkremente $d_n = 100\,\xi_n$ fallen von $d_1 = 1/75$ an monoton; d_1 ist das größte, nicht das kleinste Inkrement, und die untere Zeitschranke ist $T_0 = \xi t_P$ (Dok. 306, 307). Dok. 381 zeigt das Teleskopprodukt $\prod(1 - 100\xi_k) = \xi_n/\xi_0$ exakt **[B]**, eine zweite Ordnung $1/\xi_n \approx 100(n+75) + 100\ln((n+75)/75)$, die 50- bis etwa 1000-mal genauer ist **[K]**, und die Konstante $\psi'(75) = 0{,}01342$ zwischen Massen- und Zeitdefekt **[K]**. Die Zuordnung zu einer Ein-Schleifen-β-Funktion hängt von der Schrittkonvention ab **[S]**. Die Zahl 100 selbst ist gesetzt, nicht hergeleitet (Dok. 133, A040).

Geometrie, Hilbertraum, Spektraltheorie

Der Zustandsraum ist $\mathscr{H} = L^2(T^4) \otimes \mathbb{C}^3$; die Übersetzung zwischen T^4 und $\mathscr{H}$ ist bijektiv und verlustfrei (Dok. 230, 270, 330). Der Torus ist flach: Die Krümmung verschwindet punktweise über den Metrikabstieg **[B]** (R95). Das Spektrum trennt die Gitter: $\mathbb{Z}^4$ beginnt bei $|k|^2 = 1$ mit Entartung 8, D_4 bei $|k|^2 = 2$ mit 24 (Dok. 314 **[K]**).

Der fundamentale fraktale Operator $\hat{F} = \bigoplus_n S_n \circ L_n$ mit $S_n = r_n U_n$ und $r_n \in (0,1)$ ist beschränkt **[B]**. Die $\mathbb{Z}_3$-Paarung macht ihn normal; selbstadjungiert ist er auf dem $\mathbb{Z}_3$-invarianten Sektor P_0 **[B]**, mit Defektindizes $(0,0)$ und genau einer Realisierung. Auf dem ganzen Raum ist nur der Realteil $(\hat{F} + \hat{F}^\dagger)/2$ selbstadjungiert; seine Verwendung ist eine Setzung **[S]** (R145, Dok. 327). Die Teilchenmassen sind Eigenwerte des Massenoperators $\hat{M}$, nicht von $\hat{F}$ (Dok. 322, 330).

Feldtheorie: Lagrange-Dichte, Moden-Operator, Schrödinger-Limes

Die Feldtheorie (A075, A070, A142; Dok. 019, 129) beginnt mit dem freien Lagrangian eines skalaren Massenfelds δm auf dem Torus und einer fraktalen Korrektur:

$$\mathscr{L} = \tfrac{1}{2}(\partial\,\delta m)^2 + \varepsilon\,\xi\Big[\frac{f(\vartheta)}{2}(\partial\,\delta m)^2 - k^{\mu\nu}(\vartheta)\,\partial_\mu \delta m\,\partial_\nu \delta m\Big]. \tag{9}$$

Die geometrischen Funktionen $f(\vartheta)$ und $k^{\mu\nu}(\vartheta)$ sind nicht festgelegt **[S]**. Die Dualität $\tilde{T}\cdot m = 1$ folgt nicht aus einem Variationsprinzip, denn $\mathscr{L}_0 = T\cdot m - 1$ enthält keine Ableitungen; sie bleibt gesetzt (Dok. 129).

$$\int \tfrac{1}{2}(\partial\,\delta m)^2\, d^4x = \tfrac{1}{2}\langle\psi|\Phi^2|\psi\rangle, \qquad \Phi = \sum_i m_i P_i \quad \textbf{[B] [K]} \tag{10}$$

Diese Brückenformel (A075) verbindet Lagrangian und Moden-Operator: Massen sind Eigenwerte von Φ, nicht Parameter im Lagrangian. Das ist der strukturelle Unterschied zum Standardmodell, in dem jede Masse über eine eigene Yukawa-Kopplung eingesetzt wird, und eine Erklärung, keine Präzisionsaussage.

Die Schrödinger-Gleichung ist in FFGFT nicht fundamental. Mit der Polarzerlegung $\Phi \to \sqrt{\rho}\,e^{i\theta}$ erfüllt $\psi \propto \sqrt{\rho}\,e^{i\theta}$ im nicht-relativistischen Grenzfall

$$i\hbar\,\partial_t\psi = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + V\psi; \tag{11}$$

Imaginär- und Realteil sind Kontinuitätsgleichung und Hamilton–Jacobi-Gleichung mit Quantenpotential. Die Umformung ist die bekannte Madelung-Zerlegung **[Q]**, im Prüfskript nachgerechnet **[K]**; die Lesart ist, dass die Gleichung das Niederenergielimit der Modenstruktur beschreibt, für $E \ll E_\xi$ (A070, A075). Die Dirac-Gleichung bleibt über die Clifford-Algebra; die γ-Matrizen sind deren Darstellung, Spin erscheint als Phasenwicklung (A075).

Für die Gravitation koppeln alle Materiefelder konform an das Zeitfeld, $g_{\mu\nu} \to \Omega^2 g_{\mu\nu}$ mit $\Omega = \mathscr{T}_0/\mathscr{T}$; die Dirac-Gleichung erhält die Verbindung $\Gamma_\mu = \mathscr{T}^{-1}\partial_\mu\mathscr{T} = -\partial_\mu m/m$ **[K]** und geht für konstantes $\mathscr{T}$ in die Standardform über (A142). Das Maxwell-Feld ist in vier Dimensionen konform invariant; für Licht trägt die konforme Kopplung allein nichts bei, sie liefert den Takt, die räumliche Hälfte kommt aus der Wegverlängerung (A142, Dok. 389). Drei Aussagen von A075 und A142 wurden präzisiert: Der Grenzfall $\xi \to 0$ ist nur für das Skalarfeld gezeigt, nicht für den ganzen SM-Lagrangian **[S]**; die modifizierte Schrödinger-Gleichung $i\mathscr{T}\,\partial_t\Psi + \ldots = \hat{H}\Psi$ ist mit dimensionsbehaftetem $\mathscr{T}$ inhomogen, mit $\mathscr{T}/\mathscr{T}_0 = 1/\Omega$ homogen und gibt dann für $\Omega = 1$ die Standardform. Ihre Amplitude folgt der lokalen Energiedichte, keiner Wahrscheinlichkeit (Dok. 230), und ihre Phase läuft im lokalen Takt; das ist die gravitative Rotverschiebung (Dok. 078). Die Gravitation ist in der Gleichung also bereits enthalten **[B][K]**, ohne zusätzliches Feld und ohne Graviton: Sie zeigt sich als Wirkung in der Rotverschiebung, gelesen als Raumkrümmung, als Massenänderung (Dok. 078) oder als fraktale Wegverlängerung (Dok. 041); ein ξ-Zusatz von $2{,}34\times10^{-10}$ zu a_e, gerechnet mit $\alpha = 1$, und ebenso der Wert $1{,}7\times10^{-12}$ mit der physikalischen Kopplung $\alpha/(2\pi)$ sind durch die Messung ausgeschlossen, $8{,}6\sigma$ bzw. 10σ je nach α-Bestimmung (Dok. 067).

Galois-Struktur

Die Endlichkörper $\mathrm{GF}(3^n)$ sind die algebraische Sprache der Modenklassifikation auf $T^4/\mathbb{Z}_3$. Es gilt $|\mathrm{GF}(9)^*| = 8$, $|\mathrm{GF}(27)^*| = 26 = 2 \cdot 13$, $|\mathrm{GF}(81)^*| = 80 = 2^4 \cdot 5$; $\mathrm{GF}(9)$ ist kein Teilkörper von $\mathrm{GF}(27)$, beide liegen im Kompositum $\mathrm{GF}(729)$. Der Frobenius $x \mapsto x^3$ zerlegt $\mathrm{GF}(27)^* \cong \mathbb{Z}_2 \times \mathbb{Z}_{13}$ in zwei Fixpunkte $\{+1, -1\}$ und acht Dreier-Orbits; auf $\mathbb{Z}_{13}$ entstehen vier Orbits

$$O_1 = \{1, 3, 9\}, \quad O_2 = \{2, 5, 6\}, \quad O_3 = \{4, 10, 12\}, \quad O_4 = \{7, 8, 11\} \quad \textbf{[B]}. \tag{12}$$

Die 5 ist der einzige primitive Primteiler von $3^4 - 1$, nicht der kleinste (Dok. 336, 338, 341). Mit dem IPI-Korrespondenten D. Matzke ist nur die Algebra gemeinsam bestätigt (Ordnungen in $G(3)$ und $G(6)$, Dok. 341); die physikalischen Zuordnungen sind FFGFT-seitig.

3 Teilchen: die Verhältnisse

Leptonleiter

Die geladenen Leptonen folgen der Leiter

$$\frac{m_i}{\nu} = r_i\, \xi^{p_i}, \qquad r = \left(\tfrac{4}{3}, \tfrac{16}{5}, \tfrac{25}{9}\right), \qquad p = \left(\tfrac{3}{2}, 1, \tfrac{2}{3}\right), \qquad p_g = \tfrac{3}{2}\left(\tfrac{2}{3}\right)^{g-1}, \tag{13}$$

mit $r_g = n_{\phi,g}^2 / n_{\theta,g}$ aus den Wicklungszahlen $(3,2)$, $(5,4)$, $(9,5)$ (Dok. 006, 317, 338) und einer geometrischen Folge der Exponenten mit Startwert $D/2$ und Verhältnis $2/3$ (Dok. 158, 018). Die Massenverhältnisse enthalten keine Skala:

$$\frac{m_\mu}{m_e} = \frac{12}{5}\xi^{-1/2} = 120\sqrt{3} = 207{,}85\ (+0{,}52\,\%), \qquad \frac{m_\tau}{m_\mu} = \frac{125}{144}\xi^{-1/3} = 16{,}99\ (+1{,}03\,\%) \quad \textbf{[K]}. \tag{14}$$

Formel und Verhältnisrechnung sind **[B]**, die Übereinstimmung **[K]**; die r_i, p_i und Wicklungszahlen sind Setzungen **[S]** (R138). Die Schrittweite $1/3$ gilt nur von μ nach τ; e liegt auf einer eigenen Bahn (Dok. 322). Die Leiter wird ohne K_{frak} geschrieben; in Verhältnissen kürzt er sich exakt heraus **[B]** (A040, A100, Dok. 070, 122).

Galois-Identitäten, Koide und die vier Wege

$(m_\mu/m_e)^2_{\text{Leiter}} = 43200$ ist arithmetisch exakt; gegen den Messwert bleibt ein Rest von $-1{,}03\,\%$, eine empirische Diskrepanz **[K]**, deren Ursache offen ist **[S]** (R113). Die Koide-Relation, selbst ein reines Verhältnis,

$$Q = \frac{m_e + m_\mu + m_\tau}{(\sqrt{m_e} + \sqrt{m_\mu} + \sqrt{m_\tau})^2} = \frac{2}{3}, \tag{15}$$

gilt für die gemessenen Massen auf $Q - \tfrac{2}{3} = -0{,}017\,\xi$ (PDG 2024; mit $m_\tau = 1776{,}86$ MeV $-0{,}046\,\xi$, Dok. 352) **[K]**; als Vorhersage von m_τ aus m_e, m_μ liegt sie $0{,}4\sigma$ neben PDG, nicht entschieden. Aus der Leiter folgt Koide nur näherungsweise $(+8\,\xi)$.

In der $\mathbb{Z}_3$-Zirkulantenform $\sqrt{m_k} = c + d\cos(\theta + 2\pi k/3)$ gilt $Q = \tfrac{2}{3} \Leftrightarrow d/c = \sqrt{2}$ **[B]**. Die Matrixelement-Route mit $|A| = \sqrt{2}/3$ und $\theta = |A|^2 = 2/9$ (Dok. 367) trifft $m_\tau/m_e = 3477{,}47$ auf 3×10^{-5} **[K]**, ergibt aber $m_\mu/m_e = 206{,}7703$, das sind 442σ neben CODATA; das exakte Paar $(\sqrt{2}, 2/9)$ ist für m_μ/m_e ausgeschlossen **[X]** (Dok. 369, R121). Die geometrische Herleitung von $d/c = \sqrt{2}$ in Dok. 353 trägt nicht **[S]**.

Dok. 369 vergleicht vier Wege zu den Leptonmassen (Leiter, Koide-Matrixelement, Galois, φ-Skelett); Weg 1 und 3 sind für m_μ/m_e dieselbe Rechnung in zwei Sprachen. Den φ-Weg zeigt der folgende Abschnitt.

Ikosaeder und goldener Schnitt: das φ-Skelett

FFGFT ist von Grund auf eine $\mathbb{Z}_3$-Theorie; der goldene Schnitt kommt über das Ikosaeder hinzu. Dessen Drehgruppe A_5 ist die kleinste endliche Gruppe, in der eine Dreier- und eine Fünferdrehung zusammen vorkommen, ohne miteinander zu vertauschen (Dok. 370). Die Drei wirkt dabei als Gitteroperation auf dem kompakten Träger, die Fünf nur als Phase im ausgerollten Raum; mit dem D_4-Gitter ist A_5 unverträglich ($5 \nmid 1152$), im Körper $\mathrm{GF}(81)$ treffen sich beide **[B]** (Dok. 364, 370).

Die Fünffachdrehung R_5 mischt die drei $\mathbb{Z}_3$-Moden; die Gewichte $p_j = |\langle \nu_j | R_5 \, \nu_e \rangle|^2$ sind

$$p_0 = \frac{2}{9}, \qquad p_1 = \frac{2+3\varphi}{9}, \qquad p_2 = \frac{5-3\varphi}{9} \quad \textbf{[B]} \tag{16}$$

(Dok. 293, A120). Das rationale Gewicht ist die Koide-Phase, $p_0 = \theta = 2/9$; dasselbe Matrixelement liefert mit $3\sqrt{p_0} = \sqrt{2}$ auch den Wert der Koide-Amplitude; dass die Amplitude gerade $3\sqrt{p_0}$ ist, ist nicht hergeleitet **[S]** (Dok. 353, 367; R150). Die beiden φ-haltigen Gewichte stehen exakt im Verhältnis

$$\frac{p_1}{p_2} = \varphi^8, \qquad \frac{p_0}{p_2} = 2\varphi^4, \qquad 3\sqrt{p_j} \in \{\sqrt{2},\ \varphi^2,\ \varphi^{-2}\} \quad \textbf{[B]} \tag{17}$$

(Dok. 368). Das sind reine Zahlen aus der Geometrie, ohne Kosinus und ohne Skala. Die Massenverhältnisse tragen dieses Skelett; am genauesten trifft

$$\frac{m_\tau}{m_e} = \left(74 + \frac{1}{45}\right)\varphi^8 = 3477{,}469 \qquad (\text{PDG } 3477{,}37 \pm 0{,}18;\ +3{,}0\times10^{-5},\ 0{,}6\sigma) \quad \textbf{[K]}. \tag{18}$$

Verhältnis	Formel	Wert	gegen PDG
m_τ/m_e	$74\,\varphi^8$	3476,42	$-2{,}7\times10^{-4}$ $(-5{,}3\sigma)$
m_τ/m_e	$(74+\frac{1}{45})\,\varphi^8$	3477,469	$+3{,}0\times10^{-5}$ $(0{,}6\sigma)$
m_τ/m_e	$74\,\varphi^8(1+\frac{27}{12}\xi)$	3477,468	$+2{,}9\times10^{-5}$ $(0{,}6\sigma)$
m_τ/m_e	Koide, $\theta = 2/9$	3477,473	$+3{,}1\times10^{-5}$ $(0{,}6\sigma)$
m_μ/m_e	$30\,\varphi^4$	205,62	$-0{,}55\,\%$

Auf dem φ-Weg ist m_τ/m_e damit so genau wie auf dem Koide-Weg, innerhalb der Messunsicherheit von m_τ, als reines Verhältnis ohne Anker und ohne K_{frak}. Der Weg ist algebraisch: Weil $\cos(2/9)$ transzendent ist, kann kein Koide-Verhältnis exakt ein rationales Vielfaches einer φ-Potenz sein **[B]**; die φ-Form nähert denselben Wert algebraisch an, die zweite Lage ($\frac{1}{45}$ bzw. $\frac{27}{12}\xi$) trägt den Rest.

Grenzen des φ-Wegs

Die Faktoren 74 und $\frac{1}{45}$ sind beobachtet, nicht aus dem $\mathbb{Z}_3/A_5$-Rahmen hergeleitet **[S]** (Dok. 368). Die 74 ist dieselbe Zahl wie im Zähler der Rotationszahl $74/75$ der Rekursion (Dok. 381); ihr Primfaktor 37 kommt nachweislich nicht aus dem Ikosaeder, weil $\mathrm{GF}(81)$ kein Teilkörper von $\mathrm{GF}(3^{18})$ ist **[B]** (Dok. 370). Für m_μ/m_e gibt es keinen φ-Weg auf diesem Niveau: $30\varphi^4$ liegt $0{,}55\,\%$ daneben, die Leiter $0{,}52\,\%$, und das exakte Koide-Paar ist dort ausgeschlossen (oben). Das φ-Skelett ist nicht die frühere φ-Massenleiter mit $m \propto \varphi^{\text{Generation}}$ und $m_\mu/m_e \approx \varphi^{10}$, die widerlegt ist **[X]** (Dok. 172, 281).

Neutrinos

Dok. 340 leitet Hierarchie und Mischung aus den vier Frobenius-Orbits ab. Die Massenverhältnisse sind fest,

$$m_1 : m_2 : m_3 = 1 : \sqrt{\tfrac{14}{3}} : 11, \qquad \frac{\Delta m^2_{\text{atm}}}{\Delta m^2_{\text{sol}}} = \frac{120}{11/3} = 32{,}7\ (-1{,}4\,\%) \quad \textbf{[K]}, \tag{19}$$

in normaler Hierarchie. Für Absolutwerte braucht es eine Basismasse; angesetzt ist $m_\nu = \frac{\xi^2}{2} m_e = 4{,}54\,\text{meV}$ **[S]**. Damit folgen $m_2 = 9{,}81$ und $m_3 = 49{,}96\,\text{meV}$, $\sum m = 64{,}3\,\text{meV}$, $\Delta m^2_{\text{atm}} = 120\, m_\nu^2 = 2{,}476 \times 10^{-3}\,\text{eV}^2$ ($-1{,}0\,\%$ gegen $2{,}500 \times 10^{-3}$, Dok. 340) und $\Delta m^2_{\text{sol}} = \frac{11}{3} m_\nu^2 = 7{,}565 \times 10^{-5}\,\text{eV}^2$ ($+0{,}46\,\%$) **[K]**. Der Reaktorwinkel ergibt $\sin^2\theta_{13} = (25\xi)^{2/3} = 0{,}0223$ ($+1{,}4\,\%$) **[K]**. Nach R108 liegen ν_1 und ν_2 algebraisch in der selbstinversen Majorana-Schicht und ν_3 ist Dirac; diese Zuordnung von ν_3 zum Orbit O_4 steht in Spannung zu Dok. 346, das O_4 den geladenen Leptonen zuordnet, und Dok. 344 führt alle Neutrinos als Dirac **[S]**; dass die algebraische Selbstinversion physikalisch $\nu = \bar{\nu}$ bedeutet, ist eine weitergehende Annahme **[S]**. Daraus folgt für den neutrinolosen Doppelbetazerfall $m_{ee} \approx 6{,}0\,\text{meV}$ (Phasen null), destruktiv $0{,}13\,\text{meV}$, höchstens $14{,}4\,\text{meV}$, und exakt null, falls alle Neutrinos Dirac sind (Dok. 344). Ältere Neutrinospektren (Dok. 006, 007) sind ausgeschlossen **[X]** (R109; Dok. 007). Das A_5-Achterspektrum gibt $\sin^2\theta_{23} \in \{4/9, 5/9\}$; $5/9 = 0{,}556$ liegt nahe am Messwert der normalen Hierarchie, maximale Mischung $1/2$ ist damit ausgeschlossen (Dok. 372) **[K]**. θ_{12} ist nur der Größenordnung nach erfasst, die CP-Phase nicht **[S]**. Der Venting-Exponent $p = 5/24$ folgt aus der Zerlegung $\rho_4{\downarrow_{A_4}} = \rho_3 \oplus \rho_1$ mit $|A_5 : A_4| = 5$ **[B]** (Dok. 340).

Anomale magnetische Momente

Tragend ist die Verhältnislinie **[K]** (Dok. 018, 158): Mit Windungsexponenten $5/3$ und $4/3$ gilt $\Delta a(\tau\text{–}\mu)/\Delta a(\mu\text{–}e) = f^{1/3} - 1 = 18{,}57$, und verankert an den gemessenen a_e, a_μ folgt

$$a_\tau = a_e + \frac{144}{125}\frac{m_\tau}{m_\mu}(a_\mu - a_e) = 1{,}2811 \times 10^{-3}, \tag{20}$$

$1{,}04 \times 10^{-4}$ über dem SM-Wert; heutige Schranken sind rund 85-mal weiter, die Entscheidung steht aus **[S]**. Ein fester FFGFT-Zusatz $\Delta a_\mu = 251 \times 10^{-11}$ als Erklärung der früheren Myon-Anomalie ist nach dem Stand 2025 überholt; er läge $3{,}4\sigma$ über der heutigen Differenz **[X]** (Dok. 382).

Elektroschwacher Sektor, Higgs, Top

Auch hier sind die Aussagen Verhältnisse zur Z-Masse. On-shell gilt $\sin^2\theta_W = 1 - M_W^2/M_Z^2 = 2/9$ als Element des A_5-Achterspektrums (Dok. 372) **[K]**; daraus folgt $M_W/M_Z = \sqrt{7/9}$, $M_W = 80{,}42\,\text{GeV}$, $3{,}8\sigma$ vom Weltmittel 2024, eine ausgewiesene, falsifizierbare Spannung. Im $\overline{\text{MS}}$-Schema liefert der Renormierungslauf von $3/8$ aus $\sin^2\theta_W(M_Z) = 0{,}2308$ ($-0{,}19\,\%$) mit zwei externen Eingaben (Dok. 323) **[K]**. Die Verhältnisse $m_h/M_Z = \frac{11}{8}$ ($m_h = 125{,}38\,\text{GeV}$, $+0{,}15\,\%$) und $m_t/M_Z = (\frac{11}{8})^2$ ($m_t = 172{,}40\,\text{GeV}$, $-0{,}10\,\%$) sowie die Spurregel $M_W^2 + M_Z^2 + m_h^2 = v^2/2$ ($+0{,}45\,\%$) sind Kandidaten **[K]**, die Herkunft der Faktoren ist Lesart **[S]** (Dok. 373). Die Kette „Symmetriebrechung topologisch erzwungen“ ist an zwei Stellen offen **[S]** (Dok. 355). Frühere Higgs-Formeln ($m_h = v\xi^{1/4}$, Dok. 041) sind widerlegt **[X]** (R122).

Quarks

Die Quarks folgen derselben Leiterform $m_q/v = r_q \xi^{p_q}$ mit topologisch begründeten Exponenten **[K]**, außer für c und t, deren Exponenten Setzungen sind **[S]** (R138); die Vorfaktoren r_q sind aus Messwerten bestimmt, ihre Herleitung ist offen **[S]** (R129, Dok. 373). Die Reproduktion ist daher eine Kodierung, kein Beleg; die Tabelle gibt die Werte mit $v = 246\,\text{GeV}$:

Quark	r_q	p_q	Leiter ($v = 246\,\text{GeV}$)	PDG 2024
u	6	$3/2$	$2{,}27\,\text{MeV}$	$2{,}16\,\text{MeV}$
d	$25/2$	$3/2$	$4{,}73\,\text{MeV}$	$4{,}70\,\text{MeV}$
s	$26/9$	1	$94{,}8\,\text{MeV}$	$93{,}5\,\text{MeV}$
c	2	$2/3$	$1{,}284\,\text{GeV}$	$1{,}273\,\text{GeV}$
b	$3/2$	$1/2$	$4{,}26\,\text{GeV}$	$4{,}18\,\text{GeV}$
t	$1/28$	$-1/3$	$172{,}0\,\text{GeV}$	$172{,}6\,\text{GeV}$

Leichte Quarkmassen sind schemaabhängig; $\tilde{T} \cdot m = 1$ spricht von Polmassen. Λ_{QCD} folgt nicht aus der ξ-Leiter **[X]** (R122): $v\xi^{1/3} = 12{,}6\,\text{GeV}$, nicht 200 MeV. Der CKM-Parameter $\lambda = \xi^{1/6} = 0{,}2260$ liegt $0{,}46\,\%$ neben dem Messwert **[K]**; der Exponent $1/6$ ist eine motivierte Setzung **[S]** (Dok. 336). Der Quark- und Hadronsektor insgesamt ist eine offene Brücke (Dok. 318, R76).

Ladung, Hyperladung, Generationen, Farbe, Photon

Die Ladungsquantisierung folgt algebraisch **[B]** (Dok. 346, R111): Die QR-Orbits O_1, O_3 mod 13 sind elektrisch neutral (Neutrinos, Antineutrinos), die NQR-Orbits O_4 und O_2 geladen (geladene Leptonen, Up-Quarks); zusammen mit $N \bmod 3$ folgt $Q \in \{0, \pm\frac{1}{3}, \pm\frac{2}{3}, \pm 1\}$, und „neutral und farbig" ist ausgeschlossen. Die Ladungsverhältnisse sind damit ebenfalls Verhältnisse ganzer Zahlen. Die Down-Quarks haben keinen eigenen Orbit. Gell-Mann–Nishijima ist nicht vollständig geschlossen: $I_3 = \pm\frac{1}{2}$ folgt **[B]**, die Hyperladung der geladenen Leptonen folgt aus dem QR/NQR-Bit allein nicht und ist offen **[S]** (R146, Dok. 347). Die drei Elemente eines Frobenius-Orbits geben drei Generationen **[B]** (Dok. 348); die frühere Vertauschung der Generationen 2 und 3 ist ein Ordnungsartefakt. $\mathfrak{su}(3)$ entsteht aus den $\mathbb{Z}_3$-Eigensektoren **[B]**; $SU(3)$ ist dabei die kleinste, nicht die einzige passende Gruppe (Dok. 321). Photon und Gluonen sind masselos **[B]**; dass die Masselosigkeit Spin 1 bedeutet, folgt daraus nicht und ist offen **[S]** (Dok. 339).

4 Die Übersetzung in SI

Ein Anker

Weil alle Skalen in festen ξ-Verhältnissen stehen (Abschnitt 2), genügt für die Übersetzung in SI ein einziger Messwert (Dok. 383). Mit m_e als Anker folgen $E_P = 1{,}237 \times 10^{19}\,\text{GeV}$ ($+1{,}34\,\%$), $G = 6{,}50 \times 10^{-11}$ ($-2{,}6\,\%$), $\ell_P = 1{,}595 \times 10^{-35}\,\text{m}$ und $L_0 = \xi \ell_P$ **[K]**. Die Streuung je nach Wahl des Ankers ist der bekannte Rest der Leiter, kein zweiter Anker:

Anker	E_P	G	ℓ_P, L_0
m_e	$+1{,}34\,\%$	$-2{,}62\,\%$	$-1{,}32\,\%$
m_μ	$+0{,}81\,\%$	$-1{,}60\,\%$	$-0{,}80\,\%$
m_τ	$-0{,}22\,\%$	$+0{,}45\,\%$	$+0{,}22\,\%$
v	$+0{,}23\,\%$	$-0{,}46\,\%$	$-0{,}23\,\%$

Damit liegen $L_0 = 2{,}155{\times}10^{-39}\,\text{m}$, $T_0 = 7{,}19{\times}10^{-48}\,\text{s}$ und $E_{\text{max}} = 9{,}16{\times}10^{22}\,\text{GeV}$ fest. Mit $v = 246\,\text{GeV}$ liegen die absoluten Leptonmassen bei $-1{,}18$, $-0{,}66$ und $+0{,}37\,\%$.

Elektroschwache Skala

v ist in der Massenrechnung eine Zwischengröße. Je nach Weg ergibt sich **[K]**:

Weg	v
Galois-m_e aus Dok. 338 (R104)	$248{,}3$ GeV
gemessenes m_e	$248{,}9$ GeV
gemessenes m_e und K_{frak}	$245{,}6$ GeV
$\xi^4 E_P/(5\pi)$	$245{,}65$ GeV

Der Vergleichswert $v = 246{,}22$ GeV ist eine SM-Definition aus G_F **[Q]** (R112); konventionsfrei wäre nur ein Vergleich über die Myon-Lebensdauer τ_μ, der offen ist **[S]**.

Fraktale Korrektur

$$K_{\text{frak}} = 1 - 100\,\xi = \frac{74}{75} = 0{,}98\overline{6}. \tag{21}$$

Der Faktor tritt nur in der SI-Übersetzung auf: In Verhältnissen kürzt er sich exakt heraus **[B]** (A040, Dok. 070, 122), und in der Grundform $\xi E_0^2 = 1$ hat er keinen Platz. Sein Wert stammt aus der Geometrie, als Rotationszahl der eingefrorenen Rekursion (Abschnitt 2). Bestätigt ist er **[K]** (R135): Der Vergleich der beiden Wege zu E_0 mit dem gemessenen α verlangt $K = \xi m_e m_\mu \alpha^{-1} = 0{,}98650$, also $n = 101{,}2$ statt 100 in $1 - n\xi$. Dieser Faktor ist genau das Quadrat der nackten Bezugsenergie in MeV (Abschnitt 4.4, Dok. 386, A130). Der Rest von $1{,}7\times10^{-4}$ ist durch Messunsicherheiten nicht erklärt und offen **[S]**. Die *Form* des Faktors (additiv $1-100\xi$ oder multiplikativ $(1-\xi)^{100}$) ist wieder offen **[S]** (R139): Die verfügbaren Zeugen trennen die beiden Formen nicht schärfer als ihr Abstand von $8{,}8\times10^{-5}$. Gleichwertig lässt sich K_{frak} als Potenzform $(D/3)^{D/2} = 74/75$ mit $D_f^{\text{eff}} = 2{,}97303$ schreiben **[K]** (Dok. 381); die räumliche Box-Dimension $D_f = 3 - \xi = 2{,}999867$ ist eine Setzung **[S]**, die aus der 100er-Rekursion nicht folgt (Dok. 322).

E_0 und der SI-Wert von α

In SI ist E_0 das geometrische Mittel der beiden leichten Leptonmassen, nackt und fraktal korrigiert (R72):

$$E_0^{\text{nackt}} = \sqrt{m_e m_\mu} = 7{,}348\ \text{MeV}, \qquad E_0 = \sqrt{\frac{m_e m_\mu}{K_{\text{frak}}}} = 7{,}397\ \text{MeV}. \tag{22}$$

Mit $\alpha_{\text{SI}} = \xi(E_0/1\,\text{MeV})^2$ folgt ohne Korrektur $\alpha^{-1} = 7500/E_0^2 = 138{,}9$, mit Korrektur $137{,}06$, $1{,}7\times10^{-4}$ neben dem Messwert. Die Galois-Form $\alpha^{-1} = 3700/27 = 137{,}037$ ($+7{,}6$ ppm, Dok. 338, R102) folgt aus $(E_0^{\text{nackt}})^2 = m_e m_\mu \approx 54\ \text{MeV}^2 = |\text{GF}(3)^*| \cdot |\text{GF}(27)|\ \text{MeV}^2$ zusammen mit $K_{\text{frak}} = 74/75$. Beide Übereinstimmungen sind Eigenschaften des Ankers E_0, keine unabhängigen Vorhersagen **[K]** (R135).

Die SI-Form verlangt die Bezugsenergie $E_0\sqrt{\xi/\alpha} = 0{,}99992$ MeV (nackt $0{,}99323$ MeV, das ist $\sqrt{K_{\text{frak}}}$ MeV). Das MeV ist keine geometrische Größe, sondern eine Einheit der SI-Kette **[Q]**: Sein Zahlenfaktor ist der Zahlenwert der historischen Ladung e, also derselben Einheit, in der α steckt. Legt man die Korrektur auf diese Seite, die Seite der Coulomb-Kugel, bleiben die Massen und die Compton-Kugel nackt, und es ergibt sich 1 MeV bis auf 8×10^{-5}; diese Zuordnung ist eine Setzung **[S]**, der Rest bleibt offen (Dok. 386). Dritte Wege zu E_0 und geschlossene α-Formeln aus ξ allein sind zurückgenommen **[X]**.

Gravitationskonstante

$$G_{\mathrm{SI}} = \frac{\xi^2}{4m_e}\, C_{\mathrm{conv}}\, K_{\mathrm{frak}}, \qquad C_{\mathrm{conv}} = 7{,}783 \times 10^{-3}, \quad K_{\mathrm{frak}} = 0{,}986. \tag{23}$$

G ist keine unabhängige Konstante: Form und Größenordnung folgen aus ξ und dem einen Anker **[K]** (Dok. 012, 180, 383). C_{conv} ist die SI-Umrechnung der Ein-Anker-Kette; ihr Korpuswert enthält zusätzlich den kleinen Rest dieser Kette (Kettenwert $7{,}58 \times 10^{-3}$). Die Übereinstimmung mit CODATA auf $0{,}003\,\%$ ergibt sich erst mit diesem Rest und ist kein eigener Präzisionsbeleg (R141); sie gilt mit dem gerundeten Korpuswert $K_{\mathrm{frak}} = 0{,}986$ der G-Formel, mit $74/75$ wären es $+0{,}07\,\%$. Den Rest strukturell zu erklären ist offen **[S]**. Aus $\tilde{T} \cdot m = 1$ folgt $m_{\mathrm{char}} \cdot G = \xi^2/4$ für die charakteristische Masse des Ankers (R58, A142); für beliebige m gilt die Relation nur, wenn G mitläuft (Dok. 350). Eine Massensingularität mit endlichem G ist ausgeschlossen **[B]** (Dok. 350), die physikalische Gültigkeit im Regime Schwarzer Löcher ist offen **[S]**.

5 Gravitation und Kosmos

Schwarze Löcher

Setzt man Compton- und Schwarzschild-Radius gleich, folgt rein geometrisch

$$M_{\mathrm{coll}} = \frac{m_P}{\sqrt{2}}, \qquad r_s = \sqrt{2}\,\ell_P, \qquad S_{\mathrm{BH}}(M_{\mathrm{coll}}) = 2\pi\ \mathrm{nat} = \frac{2\pi}{\ln 2}\ \mathrm{bit} = 9{,}065\ \mathrm{bit} \quad \textbf{[B]} \tag{24}$$

(Dok. 325, 329). S_{BH} entspricht Matzkes Länge in Planck-Einheiten; Matzkes Schwelle ist um $\sqrt{2}$ kleiner, $n_{\mathrm{thr}} = 6{,}41$ (R144). Als universelle Bitzahl ist n_{thr} widerlegt **[X]** (R88). Das Verhältnis von Sektor- zu thermischer Information ist massenunabhängig $\ln 3 \approx 1{,}099$ **[B]**. Die Hawking-Temperatur entspricht der Bit-Energie $\hbar c/L$ an der Horizontskala **[K]**; emittierbar sind nur Moden mit Trialität 0, Confinement und Hawking-Selektion sind ein Prinzip **[B]** (Dok. 325). Graukörper-Faktoren und Rückreaktion sind offen.

Casimir und CMB

Die Casimir-Energiedichte zwischen idealen Platten ist $-\pi^2\hbar c/(720\,d^4)$; die Form mit 240 ist der Druck. Bei der Länge L_ξ ist das Verhältnis zur CMB-Dichte $\pi^2/(720\xi) = 102{,}8$ eine Identität, weil L_ξ selbst aus der CMB-Dichte und ξ bestimmt wird; ein Messbeleg ist es nicht (R136). Einen Faktor $4/3$ liefert die QFT-Casimir-Energie nicht **[X]** (Dok. 371). Die Temperatur $k_B T_{\mathrm{CMB}} = \frac{16}{9}\xi(1 - \frac{275}{4}\xi)$ eV trifft nur in der Einheit eV und mit nicht hergeleitetem Koeffizienten **[S]** (R137); das eV bringt die Elektronenmasse als zweiten Anker mit. In der Grundform hängt T_{CMB}/m_e an einer einzigen Zahl. Der Kandidat $T_{\mathrm{CMB}}/m_e = (8\pi)^{1/4}\xi^{5/2}$ trifft den FIRAS-Wert auf $0{,}12\sigma$, ergibt mit der H_0-Form $T^4_{\mathrm{CMB}} = 16\,H_0 m_e^3$ und legt L_ξ ohne die CMB fest; hergeleitet ist der Vorfaktor nicht **[S]** (Dok. 388). Der Faktor 3 vor der Peak-Folge $\{1, 6, 14, 26\}$ ist eine Setzung; die Folge selbst ist aus den Daten abgelesen (R139).

Kosmischer Sektor: bewusst ausgeklammert

Die Strukturform $H_0/v_e = \pi^2\xi^{10} = 1{,}75 \times 10^{-38}$ ergibt $H_0 = 66{,}8$ km/s/Mpc; der Exponent 10 ist eine motivierte Setzung (P20), die Aussage daher bedingt und keine Vorhersage. Ebenso bedingt sind $\Lambda^* = 1/R_H^2$ und die Zerlegung der 10^{123}-Frage in eine Strukturfrage (Dok. 312). Ausgeschlossen sind die Λ-Formeln älterer Dokumente, $H_0 = \xi c$, $z = \xi x$ und $z \approx \xi \ln(d/\ell_P)$ **[X]** (R137; Dok. 156). Die Rotverschiebung $1 + z = e^{\xi x}$ ist achromatisch **[K]**, die Länge

in x ist aber nicht aus ξ ausgewiesen; die Supernova-Zeitdehnung ist $1+z$ für alle z **[B]** (R128). Supernovae, BAO und CMB-Temperatur sind zwischen Expansion und intrinsischer Zeitentfaltung entartet; die Entscheidung ist theoretisch, nicht empirisch (Dok. 267).

Galaxien

Die Beschleunigungsskala $a_0 = c^2\xi^{10}/(4\bar{\lambda}_e) = 1{,}03\times10^{-10}\,\mathrm{m/s^2}$ liegt $14\,\%$ unter dem empirischen Wert und erbt die Setzung P20. Die gasdominierte Zwerggalaxie DDO 154 trifft auf $0{,}2\,\%$ **[K]**; für Spiralgalaxien bleiben Abweichungen von rund $19\,\%$ offen. „Bullet Cluster bestanden“ ist nicht belegt: Mit baryonischen Massen liegt das Maximum am Gas (Dok. 308). Die Lichtablenkung reproduziert den GR-Wert $1{,}75''$ **[K]**: Zeittakt und fraktale Wegverlängerung tragen je $0{,}875''$, zusammen folgt $\gamma = 1$ (Dok. 308); die rein konform flache Metrik aus Dok. 143 gäbe 0 (Dok. 143). Mit der logarithmischen Form $\ln(m/m_0) = \Phi/c^2$ ist auch $\beta = 1$, und die Periheldrehung ist die der ART **[K]**; die Form selbst ist gesetzt **[S]** (Dok. 389).

6 Quantenmechanik

FFGFT ist in der Quantenmechanik deterministisch. Die Rechenregeln und Zahlenwerte der Standard-QM bleiben, ihre Deutung ändert sich an vier Stellen:

- **Messung ist ein Polübergang, kein Kollaps.** Die Wechselwirkung mit dem Apparat treibt den Zustandspunkt zu einem der Pole; welcher, legt die Apparatgröße λ auf derselben Achse fest, $A(z,\lambda) = \mathrm{sgn}(z-\lambda)$. Jede Einzelmessung ist damit festgelegt, auch wenn λ unbekannt ist (Dok. 230, 175) **[K]**.
- **Die Born-Regel ist ein geometrischer Quotient.** $(1+z)/2 = |\alpha|^2$ ist der Anteil der Achse $[-1,1]$, dessen λ-Werte zum Pol $+1$ führen **[K]**; nach Archimedes ist das zugleich ein Flächenanteil der Bloch-Kugel **[B]**. Als Häufigkeit erscheint er erst in Messreihen mit unkontrolliertem λ. Der Zufall ist epistemisch, nicht ontologisch (Dok. 365, 367, 370); der nächste Verwandte in der Literatur ist das Hidden-Measurement-Modell von Aerts **[Q]**.
- **Gatter sind geometrische Drehungen.** Die drei Pauli-Matrizen entsprechen drei Rotationen auf dem Bloch-Zylinder; CNOT ist eine geometrische Konditionierung, bei der die Drehung des einen Zylinderpunkts vom z-Wert des anderen abhängt. Da $\{H, T, \mathrm{CNOT}\}$ universell ist, lässt sich jedes Gatter deterministisch und ohne Wiederholung nachbilden, bis zur Rauschgrenze (Dok. 230, 175) **[K]**.
- **Rauschen ist ungeordnete Phase, und die Grenze gilt für beide Auswertungen.** Ein Spektrum mit festen Amplituden und unaufgelösten Phasen sieht aus wie weißes Rauschen, obwohl jede Komponente festliegt, und mit bekannten Phasen lässt es sich exakt zurückrechnen **[K]**; Vakuumrauschen kann so eine Überlagerung deterministischer Harmonischer sein **[S]**. Der Ablauf ist deterministisch und nachrechenbar bis zur Rauschgrenze: In der Rückkopplung wächst der Phasenfehler mit jedem Schritt und erreicht sie nach etwa $\pi/(2\varepsilon)$ Schritten (Dok. 183) **[S]**. Darüber lassen sich Ausgänge nicht mehr unterscheiden. Wiederholte Messungen braucht die deterministische Lesart nicht, denn jeder Einzelausgang ist festgelegt. Die probabilistische Auswertung kommt aber auch nicht weiter: Die Mittelung über viele Läufe stößt an denselben Boden, dessen natürliche Skala ξ ist (Dok. 343, Satz G′) **[S]**.

Bell und Kochen–Specker schließen nur lokale bzw. nicht-kontextuelle verborgene Variablen aus **[Q]**. Die FFGFT-Messung ist kontextuell, weil die Festlegung in der Wechselwirkung liegt, und für mehrere Qubits ist die Korrelation eine Eigenschaft der geschlossenen Geometrie, keine lokale Größe im $\mathbb{R}^3$ (Dok. 230, R126). Operativ liefern FFGFT und Standard-QM dieselben Vorhersagen bis auf eine ξ-Korrektur.

Die Bell-Verletzung bleibt: Die fraktale Dämpfung verkleinert S nur um einen Betrag der Ordnung ξ, je nach Form $\Delta S/S \approx 10^{-5}$ bis 10^{-4}, und stellt keine lokale Schranke her (R142). Die einzige dokumentierte Hardware-Messung (IBM, 28. Mai 2026, Dok. 147, 2048 Shots je Lauf):

Gerät	Läufe	$\langle S \rangle$	Standardfehler	Anteil an $2\sqrt{2}$
ibm_kingston	15	2,7396	0,0071	96,9 %
ibm_marrakesh	10	2,7016	0,0138	95,5 %
gepoolt	25	2,7244	0,0078	96,3 %

Die Bell-Verletzung ist bestätigt **[K]**, die Lücke zu $2\sqrt{2}$ (bei ibm_kingston $0{,}088$, gepoolt $0{,}104$) ist Dekohärenz, 160- bis mehrere tausendmal größer als der ξ-Effekt, und zwei baugleiche Chips unterscheiden sich um $0{,}038$. Der ξ-Effekt ist mit heutiger Hardware nicht auflösbar **[S]**.

Früher angegebene CHSH-Werte aus angeblichen Läufen von 2025 und ein daran angepasster ξ-Wert sind unbelegt und entfernt (R143). Die Abweichung des π-Gatters um $100\xi = 1{,}33\,\%$ wird bei der Pulskalibrierung echter Qubits mit eingestellt und ist nicht direkt messbar (R142).

Shor in der deterministischen Lesart. Shors Algorithmus zerfällt in die Aufbereitung, eine modulare Exponentiation mit $O(n^3)$ Gattern und fast den gesamten Kosten (Anteil $1 - 1/(n+1)$, bei 2048 Bit $99{,}95\,\%$ **[K]**), und die Quanten-Fourier-Transformation mit $O(n^2)$ Gattern, eine Wellenoperation, die die Periode als Resonanz herausholt (Dok. 176). Theoretisch faktorisiert er in $O((\log N)^3)$ **[K]**; ein allgemeiner exponentieller Quantenvorteil ist dagegen nicht belegt (Dok. 176). Der Vorteil sitzt allein in der Periodenfindung. Aufbereitung und Fehlerkorrektur kosten auf Quantenhardware mehr als klassisch: die Aufbereitung um einen festen Faktor, die Fehlerkorrektur um einen Aufwand, der nach dem Schwellentheorem nur langsam wächst. Wirksam würde der Vorteil erst bei Zahlen, für die heute die Hardware fehlt (RSA-2048: $8{,}6 \times 10^9$ Gatter, $4{,}1 \times 10^6$ Qubits **[K]**); im erreichbaren Bereich faktorisiert ein klassischer Rechner ebenso schnell. Als Apparat ist der Quantenrechner ein Analogrechner mit quantenmechanischer Präzision: Ein Qubit ist ein Zweiniveau-Resonator, jedes Gatter ein resonanter Antrieb, und die Fehlerkorrektur mittelt über Syndrom-Runden. Diese Mittelung stößt an denselben Auflösungsboden wie jede Auswertung; dass sie ihn bei Skalierung unterschreitet, behauptet das Schwellentheorem, gezeigt ist es nicht **[S]**. Ob netto ein Vorteil bleibt, entscheidet damit allein die Fehlerkorrektur. Ist ξ der Boden, liegt die Grenze eines resonanzbasierten Rechners bei $N_{\max} \approx 1/\xi = 7500$, rund 13 Bit, und der Zeitvorteil verschwindet strukturell **[S]** (Dok. 343, Satz G′). Für die Rechenoperationen selbst gibt es Alternativen: Die Fourier-Transformation läuft optisch oder in jedem Resonator (Dok. 176), analoge Matrixfaltung und Resonator-Einrasten rechnen mit Resonanzen statt mit Gattern (Dok. 186), ebenso Resonanzrechner wie die BAW-Ising-Maschine (Dok. 362). Sie unterliegen demselben Auflösungsboden. Die Rechnungen der Standard-QM bleiben dabei verwendbar; FFGFT deutet sie als Resonanzvorgänge. Zurückgezogen ist nur die frühere Behauptung, ein eigenes T0- bzw. ξ-Faktorisierungsverfahren liefere von Shor unterscheidbare Ergebnisse (R65); ξ als Linienbreite der Phasenschätzung ist für den vorregistrierten Aufbau widerlegt, die Linie bleibt offen (P44).

7 Prüfbare Aussagen

Größe	FFGFT	Messwert / Grenze	Status
Verhältnisse (Grundform)			

Größe	FFGFT	Messwert / Grenze	Status
m_μ/m_e	$207{,}85$	$206{,}77$ $(+0{,}52\,\%)$	[K], r_i [S]
m_τ/m_μ	$16{,}99$	$16{,}82$ $(+1{,}03\,\%)$	[K]
Koide Q	$2/3$	$-0{,}017\,\xi$	[K]
m_τ aus Koide	$1776{,}97$ MeV	$1776{,}93(9)$, $0{,}4\sigma$	offen (Fußnote 1)
m_τ/m_e (φ-Skelett)	$(74+\frac{1}{45})\varphi^8 = 3477{,}47$	$3477{,}37(18)$, $0{,}6\sigma$	φ^8 [B], Faktoren [S]
v/E_P	$\xi^4/(5\pi)$	$-0{,}23\,\%$	[K], Faktor 10 angepasst
ξ aus m_h/v	$1{,}30\times10^{-4}$	$4/30000$ $(-2{,}3\,\%)$	Prüfung [K]
$\Delta m^2_{\text{atm}}/\Delta m^2_{\text{sol}}$	$32{,}7$	$33{,}2$ $(-1{,}4\,\%)$	[K]
$\sin^2\theta_{13}$	$0{,}0223$	$0{,}0220$ $(+1{,}4\,\%)$	[K]
$\sin^2\theta_{23}$	$5/9$	normale Hierarchie	[K]
a_τ	$1{,}2811\times10^{-3}$	Schranke 85-mal weiter	offen (Fußnote 2)
M_W/M_Z	$\sqrt{7/9}$, $80{,}42$ GeV	$3{,}8\sigma$ (Weltmittel)	Spannung
m_h/M_Z	$11/8$, $125{,}38$ GeV	$125{,}20$ $(+0{,}15\,\%)$	Kandidat [K]
m_t/M_Z	$(11/8)^2$, $172{,}40$ GeV	$172{,}57$ $(-0{,}10\,\%)$	Kandidat [K]
λ_{CKM}	$\xi^{1/6} = 0{,}2260$	$0{,}2250$ $(+0{,}46\,\%)$	[K], Exponent [S]
CHSH-Abweichung	$\Delta S/S \sim 10^{-5}$–10^{-4}	Hardware-Rauschen $\sim 10^{-2}$	nicht auflösbar
π-Gatter	$1{,}33\,\%$	in Pulskalibrierung	nicht messbar
Absolutwerte (SI-Übersetzung)			
Δm^2_{atm}	$2{,}476\times10^{-3}$ eV^2	$2{,}500\times10^{-3}$ $(-1{,}0\,\%)$	[K]
Δm^2_{sol}	$7{,}565\times10^{-5}$ eV^2	$+0{,}46\,\%$	[K]
m_{ee} ($0\nu\beta\beta$)	$6{,}0$ / $0{,}13$ / 0 meV	nEXO 5–20 meV	[S], entscheidet nEXO
$\sum m_\nu$	$64{,}3$ meV	kosmologisch, modellabhängig	[K]
α^{-1}	$137{,}06$	$137{,}036$ $(+1{,}7\times10^{-4})$	Eigenschaft des Ankers
τ_μ ohne G_F, v	–	MuLan	offen [S]

Fußnote 1. Koide mit den gemessenen m_e und m_μ ergibt $m_\tau = 1776{,}97$ MeV, $0{,}4\sigma$ neben dem PDG-Mittel $1776{,}93(9)$ MeV [K]. Entschieden ist der Test damit nicht: Die beiden Messmethoden, Schwellenscan (BESIII, $1776{,}91$ MeV) und Pseudomasse (Belle II, $1777{,}09$ MeV, mit $m_{\nu_\tau}=0$), streuen um $0{,}18$ MeV, das Doppelte der angegebenen Unsicherheit. Erst wenn die Methoden übereinstimmen, prüft der Wert Koide (R113, Dok. 351, 352).
Fußnote 2. a_τ ist noch nicht gemessen; es gibt nur ein Ausschlussintervall. Die beste Schranke ist CMS 2024 mit $-0{,}0042 < a_\tau < 0{,}0046$ (95 % CL), also $0{,}0088$ breit. Der FFGFT-Wert liegt $1{,}04\times10^{-4}$ über dem Standardmodell-Wert $1{,}1772\times10^{-3}$; das Intervall ist rund 85-mal breiter als dieser Unterschied, beide Werte liegen darin [K]. Entscheiden lässt sich die Frage erst mit einer etwa hundertfach genaueren Messung, etwa an Belle II (Dok. 382).

8 Was nicht mehr gilt

Die folgenden Aussagen älterer Dokumente sind widerlegt oder zurückgenommen [X]; die Dokumente sind entsprechend korrigiert (Dok. 190, Fassung v1.4.4).

Grundlagen: ξ als zwingend hergeleitet, ein Casimir-Faktor $4/3$, die Zahl 100 als hergeleitet, ein minimales Zeitinkrement d_1, die Selbstadjungiertheit von $\hat{F}$ auf dem ganzen Raum, ein Körperturm $\mathrm{GF}(3) \subset \mathrm{GF}(9) \subset \mathrm{GF}(27)$, der Ausschluss der Fünfzähligkeit in vier Dimensionen.

Teilchen: Präzisionstabellen mit angepassten Vorfaktoren als Belege, die φ-Massenleiter mit $m \propto \varphi^{\text{Generation}}$ (nicht das φ-Skelett), das exakte Paar $(\sqrt{2}, 2/9)$ für m_μ/m_e, Λ_{QCD} aus der ξ-Leiter, frühere Higgs-Formeln, der Higgs-Weg als Herleitung von ξ, die W- und Z-Massen als Vorhersage, die Fermionstatistik aus der D_4-Geometrie, die Neutrinospektren von Dok. 006 und 007, ein fester Myon-Zusatz $\Delta a_\mu = 251 \times 10^{-11}$, Gell-Mann–Nishijima als vollständig geschlossen.

Gravitation und Kosmos: die G-Präzision als eigener Beleg, n_{thr} als universelle Zahl, das Casimir-CMB-Verhältnis als Messbeleg, die Λ-Formeln, $H_0 = \xi c$ und $z = \xi x$, „Bullet Cluster bestanden“.

Quantenmechanik: lokaler Realismus oder $S \leq 2 + \varepsilon$, eine Hardware-Bestätigung des ξ-Effekts, die CHSH-Werte 2,8275 und 2,8278, ein FFGFT-eigenes Faktorisierungsverfahren.

9 Offene Brücken

Dok. 190 führt die offenen Punkte in einer Brückenliste (Stand R150). Zusammengefasst:

1. **Grundform:** die Herkunft der Zahl 100 und des angepassten Faktors 10 in v/E_P (Dok. 149, 387); $M_{\text{Basis}} = m_P$ (R90); die Selbstadjungiertheit von $\hat{F}$ auf dem ganzen Raum (R145); ein adversarieller D_4-Spezifitätstest (R95); die Spektraldimension $d_s = 1{,}86$ gegen ≈ 2.
2. **SI-Übersetzung:** der Rest $1{,}7 \times 10^{-4}$ zwischen dem von α verlangten K_{frak} und $1 - 100\xi$ und die Form des Faktors (R135, R139); der Rest von 8×10^{-5} bei der Bezugsenergie $1\,\text{MeV}$ (Dok. 386); der Rest der Ein-Anker-Kette bei G (R141).
3. **Teilchen:** τ_μ direkt aus FFGFT als einziger konventionsfreier Test des schwachen Sektors (R112); die Ursache der fallenden Leptonreste (R113, R121); die Koide-Amplitude $d/c = \sqrt{2}$ aus der Geometrie, gleichbedeutend mit der Gleichverteilung der Massensumme auf die symmetrische Mode und das nicht-triviale Paar (Dok. 353, R150); die Faktoren 74 und $\frac{1}{45}$ des φ-Skeletts und die Frage, ob ikosaedrische Phase und Galois-Ordnung eine gemeinsame Wurzel haben (Dok. 368, 370); die Hyperladung der geladenen Leptonen (R146) und des Higgs-Dubletts (R148); die Quark-Vorfaktoren und der Hadronsektor (R76, R129); K_{had} (R123); zwei-Schleifen-Lauf von α_s; m_{Pl} und $\alpha_{\text{em}}(M_Z)$ aus ξ; Spin 1 des Photons.
4. **Gravitation und Kosmos:** Graukörper und Rückreaktion (R85); eine physikalische Casimir-Signatur von L_ξ (R136); T_{CMB} einheitenunabhängig (R137); die CMB-Peak-Selektion vorwärts und die C_ℓ-Projektion (P29–P31); der Exponent $41/4$ bzw. 10 vorwärts (P20); leichte Elemente ohne heiße Frühphase; Ω_{DM} modellneutral.
5. **Methodik:** ξ als Linienbreite (P44); Sprachbereinigung zu H_0 (P16, P34).

10 Statusbilanz

Status	Ergebnisse (Auswahl)
[B]	$e^2 = 4\pi\alpha$ und $\alpha = r_e/\lambda_C$; $\xi E_0^2 = 1$ in der Grundform (Dok. 386); Ladungsquantisierung aus dem Legendre-Symbol (Dok. 346); $SU(2)_L$, $U(1)_Y$ und $\sin^2\theta_W\vert_{\mathrm{GUT}} = 3/8$ (R80); $\mathfrak{su}(3)$ aus $\mathbb{Z}_3$-Sektoren (Dok. 321); drei Generationen als Frobenius-Orbit (Dok. 348); Selbstadjungiertheit von $\hat{F}$ auf P_0 (R145); Exponent in $L_0 = \xi\ell_P$ (R90); $m_i/E_P = \frac{r_i}{5\pi}\xi^{p_i+4}$ (Dok. 383); Rotationszahl $74/75$ und Teleskopprodukt der Rekursion (Dok. 381); A_5-Gewichte mit $p_0 = \theta = 2/9$, $p_1/p_2 = \varphi^8$, $p_0/p_2 = 2\varphi^4$ (Dok. 293, 367, 368); $S_{\mathrm{BH}}(M_{\mathrm{coll}}) = 2\pi$ nat und $\ln 3$ (R144); Supernova-Zeitdehnung $1+z$ (R128).
[K]	Leptonverhältnisse und Koide; m_τ/m_e aus dem φ-Skelett auf 3×10^{-5}; Neutrino-Verhältnisse, Massendifferenzen und θ_{13}; a_τ-Verhältnisse; v/E_P; Higgs-Prüfung von ξ auf rund $2{,}3\,\%$; Higgs- und Top-Kandidaten; λ_{CKM}; Wert $K_{\mathrm{frak}} = 74/75$ und sein Auftreten nur in der SI-Übersetzung; Form und Größenordnung von G; Bell-Verletzung auf Hardware.
[S]	$\tilde{T}\cdot m = 1$, T^4, $\mathbb{Z}_3$, D_4, ξ; r_i, p_i und Wicklungszahlen; die Faktoren 74 und $\frac{1}{45}$ im φ-Skelett; die Zahl 100 und die Form von K_{frak}; Faktor 10 in v/E_P ($10\,K_{\mathrm{frak}} \approx \pi^2$ mit nacktem v); $M_{\mathrm{Basis}} = m_P$; Korrektur auf der Einheitenseite (Dok. 386); Basismasse m_ν; Quark-Vorfaktoren; Hyperladung der geladenen Leptonen und des Higgs-Dubletts; Spin 1 des Photons; Exponent 10 im kosmischen Sektor; CMB-Faktor 3.
[Q]	$\hbar = c = 1$ und $\alpha = 1$ mit angepasstem e; $v = 246$ GeV als SM-Definition; der Anker m_μ/m_e ist QED-abhängig; Maxwell-Dynamik übernommen; C_{conv} und das MeV als SI-Umrechnung.
[X]	siehe Abschnitt „Was nicht mehr gilt“.

11 Methodik und Buchführung

Der Korpus führt jede Aussage mit einem Statusmarker. Neuere Dokumente haben ein Prüfskript mit Assertions, viele davon Nulltests. Das Register Dok. 190 bucht Korrekturen an älteren Dokumenten und offene Brücken; seit R133 werden die Quelldokumente selbst korrigiert; bis zur Fassung v1.4.4 trug jede Stelle einen datierten Hinweis mit dem vorherigen Wert. Ausgeschlossene Vorhersagen werden nicht umgeschrieben, sondern vermerkt. Vom 29. September bis 1. Oktober 2026 wurde der ganze Korpus nachgerechnet; in v1.4.4 tragen rund 235 Dokumente einen Korrekturkasten, die A-Serie trägt Hinweise im Text, die bereinigten Dokumente enthalten nur noch den korrigierten Text. Die Folgen für die Einstufung stehen in R135 bis R146, R148 und R150. Leitplanken:

- Ein Vergleichswert ist kein Eingang.
- Eine Form $X = \xi^N$ allein sagt nichts (P35).
- Vorhersagen werden mit festgelegten Freiheitsgraden vorab registriert (P44).
- Jede Vorhersage nennt ihren Anker (R113).
- Ein Absolutwert in SI prüft die Umrechnung, ein Verhältnis die Struktur (A130).

12 Leseführer

Thema	Dokumente
Fundament	365 (vier Schichten), 190 (Register), 180/189 (Kette $\xi \to L_0$), 383 (ein Anker)
Einheiten, α	A080/A085 (natürliche Einheiten), A130/A267 ($\alpha = 1$), 122 (Verhältnis und Absolutwert), 386 (wo α steckt), 385 (Higgs-Vakuum-Weg), 387 (Abweichungen)
Massen	006 (Leiter), 336/338 (Galois), 351/352 (PDG, Leptonreste), 367/369 (Matrixelement, vier Wege)
Ikosaeder, φ	291/292/293 (Ort und Herkunft von $2/9$), 364 (A_5 und D_4), 368 (φ-Skelett), 370 (warum das Ikosaeder)
Elektroschwach	323 (Weinberg-Lauf), 372/373 (2/9, Higgs, Yukawa), 355 (Symmetriebrechung)
Ladung, Farbe	321 ($SU(3)$), 346/347 (Ladung, Gell-Mann–Nishijima), 348 (Generationen)
Neutrinos, $g-2$	340, 343/344 (Majorana/Dirac), 158/382 (a_τ, Stand 2025)
Gravitation	012/013 (G, SI), 325/329 (Schwarze Löcher), 350, 388 (CMB-Temperatur in der Grundform), 389 (Parabelflug und Darstellungen)
Struktur	314 (Gitter), 322/327/330 (Spektraltheorie), 380 (D_4), 381 (Rekursion)
Feldtheorie	019/129 (Lagrangian), A075 (Brückenformel, Schrödinger- und Dirac-Limes), A070 (Niederenergielimit), A142 (Gravitation, Zeitfeld)
Zeit	295 (Log-Spirale), 306/307 (Reziprozität, Zeit im Zustandsraum)
Quantenmechanik	230/231 (Hilbertraum, Messung), 175 (Qubit-Zustandsräume, deterministisches Auslesen), 183 (Rauschen als Phase), 023 (Bell), 147 (Hardware), 176 (Shor: Aufbereitung und Transformation), 343 (Quantenrechner als Analogrechner)
Resonanz, Harmonik	060 (Musik-Parallelen), 189 (Resonanzbedingung), 310 (Resonanzgeometrie), 315 (Euler-Spirale), 316 (Tonnetz), 328 (Kopplungsregime), 358 (Harmonik und Galois)
Abgrenzung	309 (Skalenanker), 267 (Entartung), 377 (Schnittstellen), 378 (Begutachtung)

13 Fazit

FFGFT ist eine Theorie der Verhältnisse und liefert Erklärungen, keine größere Genauigkeit als das Standardmodell. In natürlichen Einheiten mit $\alpha = 1$ ersetzt sie die freien Parameter des Leptonsektors durch eine Struktur mit einem Parameter ξ und gesetzten ganzen Zahlen, stellt Leptonmassen, elektroschwache Skala, Minimallänge und Planck-Skala in feste ξ-Verhältnisse und gewinnt die Ladungsquantisierung algebraisch. Ihr Grundgedanke ist Resonanz: Teilchen sind Moden des Trägers, ξ ist ein Punkt im Eulerschen Tonnetz, und die fraktale Korrektur ist das Komma der Einbettung. Die Verhältnisse treffen auf Prozent bis Promille; über das Ikosaeder trägt m_τ/m_e das φ-Skelett und trifft auf 3×10^{-5}. Die Übersetzung in SI braucht einen Anker, die fraktale Korrektur und Umrechnungsgrößen; dort entstehen die Absolutwerte von α und G, und dort liegt ein bekannter Rest. Offen sind die Herkunft der Zahl 100, die Herkunft des angepassten Faktors 10, die Form der fraktalen Korrektur und ihr Rest gegenüber dem MeV, die Hyperladung der geladenen Leptonen, der Hadronsektor und alles, was am kosmischen Sektor hängt. Entscheidend prüfbar sind in den nächsten Jahren m_{ee} (nEXO), a_τ (Belle II), die Neutrinomassensumme und M_W. Der Korpus führt Setzungen als Setzungen und Widerlegungen als Widerlegungen; diese Kurzfassung gibt diesen Stand wieder.

14 Verwendung von KI-Werkzeugen

Dieses Dokument ist unter Verwendung KI-gestützter Werkzeuge entstanden. Die Fragestellungen, die Setzungen und alle inhaltlichen Entscheidungen stammen vom Autor; die Werkzeuge formulieren aus, rechnen nach und erstellen Prüfskripte. Die Verantwortung für Inhalt und Fehler liegt vollständig beim Autor.

Prüfskript: `2/python/Dok384_Skripte/pruef_384_zusammenfassung.py` — alle Zahlen dieses Dokuments nachgerechnet.