Anomale magnetische Momente in der T0-Theorie

Phänomenologische Beschreibung mit theoretischer Begründung

Strukturvorhersage und experimentelle Tests

Zusammenfassung

Die T0-Theorie sagt eindeutig zusätzliche Beiträge zu den anomalen magnetischen Momenten der Leptonen voraus, da die erweiterte Lagrange-Dichte mit Zeitfeld-Termen notwendigerweise die Vertex-Funktionen modifiziert. Wie im Standardmodell verwenden wir eine phänomenologische Parametrisierung dieser Beiträge, die aus der Theorie motiviert ist: $\Delta a_\ell = s_\ell \times \xi^{q_\ell} \times m_\ell^2 \times \alpha$. Die Normierung erfolgt am Myon ($s_\mu = 3.45 \times 10^{-8}$, $q_\mu = 1$), was die Vorhersage für das Tau ermöglicht: $a_\tau = 1.06 \times 10^{-7}$. Die vollständige Berechnung aus ersten Prinzipien ist aufgrund der Komplexität rekursiv ineinanderwirkender Felder in fraktaler Raumzeit derzeit nicht durchführbar – analog zur Situation hadronischer Beiträge im SM.

Hinweis zu älteren Dokumenten

Frühere Versionen der g-2 Analyse in der T0-Theorie (018_T0_Anomale-g2-9_En.pdf und 031_T0_g2-erweiterung-4_En.pdf) sind mit der hier dargestellten Formulierung **obsolet**. Diese Dokumente versuchten eine vollständige ab-initio Berechnung, die sich als nicht durchführbar erwies. Sie werden im Repository aufbewahrt aus historischen Gründen und zur Dokumentation des Entwicklungsprozesses, sollten aber nicht mehr als aktuelle Darstellung der Theorie verwendet werden. Die vorliegende phänomenologische Formulierung entspricht dem aktuellen Stand (Januar 2026).

Schlüsselwörter: Anomales magnetisches Moment, g-2, T0-Theorie, Phänomenologie, Strukturvorhersage, Rekursive Felder

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung: Phänomenologie vs. Ab-initio Berechnung

1.1 Die Situation im Standardmodell

Im Standardmodell wird das anomale magnetische Moment des Myons durch verschiedene Beiträge beschrieben:

$$a_\mu^{\text{SM}} = a_\mu^{\text{QED}} + a_\mu^{\text{EW}} + a_\mu^{\text{Had}} \tag{1}$$

Während a_μ^{QED} aus ersten Prinzipien berechnet werden kann, ist a_μ^{Had} (hadronischer Beitrag) **nicht** ab initio berechenbar. Stattdessen verwendet man:

- **Datengetriebene Methoden:** Dispersionsrelationen mit e^+e^--Daten
- **Lattice QCD:** Numerische Simulation auf dem Gitter
- **Phänomenologische Modelle:** Parametrisierungen der QCD-Effekte

Warum? Die QCD ist zwar fundamental definiert, aber die Berechnung von Schleifenintegralen mit stark wechselwirkenden Quarks und Gluonen ist extrem komplex.

1.2 Analoge Situation in der T0-Theorie

Die T0-Theorie erweitert die Lagrange-Dichte um Zeitfeld-Terme:

$$\mathcal{L}_{\text{T0}} = \mathcal{L}_{\text{SM}} + \xi \cdot T_{\text{field}} \cdot (\partial E_{\text{field}})^2 + \text{Kopplungsterme} \tag{2}$$

Diese Erweiterung führt **zwingend** zu zusätzlichen Beiträgen zum anomalen magnetischen Moment. Jedoch:

- Die Zeitfelder wirken **rekursiv** ineinander
- Die fraktale Raumzeit ($D_f = 3 - \xi$) modifiziert Propagatoren
- Renormierung in nicht-ganzzahliger Dimension ist hochkomplex
- Wechselwirkung mit SM-Feldern führt zu verschränkten Gleichungen

Wie im SM: Die Theorie ist fundamental definiert, aber die explizite Berechnung ist derzeit nicht durchführbar.

2 Phänomenologische Beschreibung

2.1 Theoretisch motivierte Strukturformel

Aus der Zeit-Masse-Dualität und dimensionaler Analyse folgt die Struktur:

$$\Delta a_\ell^{\text{T0}} = s_\ell \times \xi^{q_\ell} \times m_\ell^2 \times \alpha \tag{3}$$

Diese Form ist **nicht willkürlich**, sondern folgt aus:

1. **Zeit-Masse-Dualität:** $T \times m = \hbar$ → Kopplung $\propto m^2$
2. **Fraktale Skalierung:** Korrekturen $\propto \xi^q$ analog zur Massenformel $m_\ell = r_\ell \times \xi^{p_\ell} \times v$
3. **QED-Kopplung:** Vertex-Korrektur enthält Faktor α
4. **Geometrischer Faktor:** s_ℓ aus fraktaler Integration (analog zu r_ℓ bei Massen)

2.2 Normierung am Myon

Wie im Standardmodell (hadronische Beiträge) verwenden wir experimentelle Daten zur Normierung:

Mit der Myon-Diskrepanz $\Delta a_\mu = 37.5 \times 10^{-11}$ und der Annahme $q_\mu = 1$ (wie $p_\mu = 1$ in der Massenformel) ergibt sich:

$$s_\mu = \frac{\Delta a_\mu}{\xi \times m_\mu^2 \times \alpha} = 3.45 \times 10^{-8} \tag{4}$$

Status: Dieser Wert ist phänomenologisch bestimmt, aber die **funktionale Form** von Gleichung (3) ist theoretisch begründet.

3 Vorhersage für das Tau-Lepton

3.1 Strukturvorhersage ohne weitere Parameter

Mit der Annahme $s_\tau = s_\mu$ (universeller geometrischer Faktor) folgt:

$$a_\tau^{\text{T0}} = s_\mu \times \xi \times m_\tau^2 \times \alpha \tag{5}$$

Einsetzen der Zahlenwerte:

$$\begin{aligned} a_\tau^{\text{T0}} &= 3.45 \times 10^{-8} \times 1.333 \times 10^{-4} \times (1777)^2 \times 0.007297 \\ &= 1.06 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

Wichtig: Dies ist eine **Vorhersage**, keine Anpassung! Das Verhältnis ist parameterfrei:

$$\frac{a_\tau}{\Delta a_\mu} = \left(\frac{m_\tau}{m_\mu}\right)^2 = 282.8 \tag{6}$$

3.2 Experimenteller Test bei Belle II

Belle II erwartet bis 2027-2028 eine Sensitivität von $\sim 10^{-7}$ für a_τ.

Mögliche Ergebnisse:

- **Bestätigung** ($a_\tau \approx 1.1 \times 10^{-7}$): Starke Evidenz für die quadratische Massenskalierung der T0-Theorie
- **Abweichung**: Entweder ist $s_\tau \neq s_\mu$ (generationsabhängig) oder die Strukturformel muss modifiziert werden
- **Null-Ergebnis** ($a_\tau < 10^{-8}$): Die T0-Beiträge sind unterdrückt oder die Theorie benötigt Revision

4 Warum die vollständige Berechnung schwierig ist

4.1 Natürliche Einheiten vs. physikalische Einheiten

Die T0-Theorie kann in zwei verschiedenen Formulierungen dargestellt werden:

1. Natürliche Einheiten (idealisiert, durchsichtiger):

- In diesem System: $\hbar = c = \alpha = 1$, $E_0 = 1/\xi$ (dimensionslos)
- Alle Größen dimensionslos, nur Verhältnisse
- Keine zusätzlichen Konstanten – alle Physik durch Verhältnisse beschrieben
- Nur **ein Umrechnungsfaktor** zu SI-Einheiten am Ende
- Die Physik ist in diesem System durchsichtiger: pure Verhältnisse

Beispiel – Coulomb-Gesetz:

$$\text{Physikalisch (SI):} \quad F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = \frac{\alpha\hbar c}{r^2} \quad \text{(viele Konstanten)} \tag{7}$$

$$\text{Natürlich:} \quad F = \frac{1}{r^2} \quad \text{(mit } \alpha = 1\text{, pure Geometrie)} \tag{8}$$

In natürlichen Einheiten wird die Physik auf pure Geometrie reduziert. Am Ende gibt es **nur einen Umrechnungsfaktor** zu SI-Einheiten.

Für g-2 in natürlichen Einheiten:

$$\tilde{a}_\ell = f\left(\frac{m_\ell}{m_\mu}, \xi, D_f\right) \quad \text{(dimensionslos, pure Verhältnisse, KEIN } \alpha\text{!)} \tag{9}$$

Wichtig: In natürlichen Einheiten erscheint α **nirgendwo** in den Formeln! Alle Physik ist durch reine Verhältnisse und Geometrie beschrieben. Man kann Verhältnisse berechnen:

$$\frac{\tilde{a}_\tau}{\tilde{a}_\mu} = \left(\frac{m_\tau}{m_\mu}\right)^2 \quad \text{(OHNE } \alpha\text{)} \tag{10}$$

Der Wert $\alpha = 1/137$ erscheint **nur** bei der Umrechnung zu SI-Einheiten am Ende:

$$a_\ell[\text{SI}] = (\text{Umrechnungsfaktor mit } \alpha) \times \tilde{a}_\ell \tag{11}$$

2. Physikalische SI-Einheiten (gemessen):

- $E_0 = \sqrt{m_e m_\mu} = 7.398$ MeV (gemessener Wert)
- $\alpha = 1/137.036$ (gemessener Wert)
- $D_f = 3 - \xi$ (fraktale Dimension)

- Alle Konstanten explizit
- Direkt experimentell vergleichbar

In SI-Einheiten erscheint α explizit in den Formeln:

$$\Delta a_\ell = s_\ell \times \xi \times m_\ell^2 \times \alpha \quad \text{(MIT } \alpha = 1/137\text{)} \tag{12}$$

Wichtig

Unsere Formulierung Die Formel $\Delta a_\ell = s_\ell \times \xi \times m_\ell^2 \times \alpha$ mit $\alpha = 1/137$ ist **bereits die SI-Version**! In natürlichen Einheiten wäre die Formel $\tilde{a}_\ell = \tilde{s}_\ell \times \xi \times \tilde{m}_\ell^2$ **ohne** α.

4.2 Philosophische Bemerkung: Die überbewertete Rolle von α

Ein fundamentales Problem der modernen Physik könnte sein, dass α als zu wichtig angesehen wird. Dies liegt daran, dass wir gewohnt sind, in SI-Einheiten zu rechnen, nicht in Verhältnissen.

Die zwei Perspektiven:

Natürliche Einheiten (fundamental)	**SI-Einheiten (phänomenologisch)**
Pure Verhältnisse	Absolute Werte
Geometrie	Konstanten
$F = 1/r^2$	$F = \alpha\hbar c/r^2$
Kein α	$\alpha = 1/137$
ξ fundamental	ξ und α beide nötig

Die Einsicht:

α ist eine **phänomenologische Konstante aus SI-Sicht**, weil wir gewohnt sind, in festen Einheiten (Meter, Kilogramm, Sekunde) zu rechnen statt in Verhältnissen. Sobald man feste Einheiten einführt, braucht man Umrechnungsfaktoren – und einer davon ist α.

In natürlichen Einheiten:

- Alle Physik: Pure Geometrie und Verhältnisse
- Coulomb: $F = 1/r^2$ (kein α)
- Leptonmassen: Verhältnisse aus (r, p) (kein α)
- g-2: Verhältnisse aus m^2-Skalierung (kein α)
- Fundamentale Konstante: nur ξ

In SI-Einheiten (unsere Gewohnheit):

- Feste Längeneinheit (Meter) → braucht $\hbar c$
- Feste Masseneinheit (Kilogramm) → braucht $v = 246$ GeV
- Feste Ladungseinheit (Coulomb) → braucht $\alpha = 1/137$
- Viele Konstanten nötig für Umrechnung

Die philosophische Frage:

Die Frage "Warum ist $\alpha = 1/137$?ïst aus fundamentaler Sicht vielleicht die **falsche Frage**. Sie fragt nach einem Umrechnungsfaktor zwischen willkürlich gewählten Einheitensystemen. Die richtige Frage wäre: "Welche geometrischen Verhältnisse bestimmen die Physik?- und dort erscheint α überhaupt nicht.

In der T0-Theorie:

- Fundamentale Konstante: $\xi = 4/(3 \times 10^4)$ (geometrisch)
- Fraktale Dimension: $D_f = 3 - \xi$
- Alle Physik aus Verhältnissen
- α nur SI-Umrechnungsfaktor (phänomenologisch)

Diese Perspektive könnte erklären, warum viele Versuche, α äus ersten Prinzipien zu berechnen", scheitern: Man versucht einen phänomenologischen Umrechnungsfaktor zu berechnen, statt die fundamentale Geometrie zu verstehen.

4.3 Konsequenz für g-2: Verhältnisse sind fundamental

Die gleiche Einsicht gilt für das anomale magnetische Moment:

Unsere aktuelle Herangehensweise (SI-phänomenologisch):

- Wir versuchen absolute Werte zu berechnen: $a_\mu = 37.5 \times 10^{-11}$
- Dafür brauchen wir $s_\mu = 3.45 \times 10^{-8}$ (phänomenologisch!)
- Und $\alpha = 1/137$ (phänomenologisch!)
- Viele Konstanten, kompliziert

Fundamentale Herangehensweise (Verhältnisse):

- Zuerst das **Verhältnis** definieren (natürliche Einheiten)
- $\tilde{a}_\tau/\tilde{a}_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2$ (pure Geometrie!)
- Kein α, kein s_μ mit komischen Werten
- Nur geometrische Verhältnisse
- Dann erst SI-Umrechnung für Experimente

Warum das besser wäre:

Wenn wir g-2 zuerst als **Verhältnis** definieren, wird klar:

1. Die **Strukturvorhersage** $a_\tau/a_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2$ ist fundamental

2. Diese ist **unabhängig** von SI-Einheiten
3. Keine mysteriösen Konstanten wie $s_\mu = 3.45 \times 10^{-8}$
4. Pure Geometrie: quadratische Massenskalierung
5. Experimentell testbar durch Verhältnismessung

In natürlichen Einheiten:

$$\boxed{\frac{\tilde{a}_\tau}{\tilde{a}_\mu} = \left(\frac{m_\tau}{m_\mu}\right)^2 \approx 283} \tag{13}$$

Dies ist die **fundamentale Vorhersage** der T0-Theorie – eine reine Verhältnisaussage ohne phänomenologische Konstanten!

Erst für den SI-Vergleich:

$$a_\mu^{\text{SI}} = (\text{Umrechnungsfaktor}) \times \tilde{a}_\mu \tag{14}$$
$$a_\tau^{\text{SI}} = (\text{Umrechnungsfaktor}) \times \tilde{a}_\tau \tag{15}$$

Der Umrechnungsfaktor enthält α, s_μ etc. – aber das sind **phänomenologische Größen**, keine fundamentalen Vorhersagen.

Paradigmenwechsel

Die T0-Theorie sagt nicht vorher: "$a_\mu = 37.5 \times 10^{-11}$"(SI-abhängig).
Sie sagt vorher: "$a_\tau/a_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2$"(fundamental, SI-unabhängig).
Dieser Verhältniswert ist bei Belle II **direkt testbar** ohne Kenntnis der absoluten Werte oder der Umrechnungsfaktoren!

4.4 Warum Verhältnisse fundamental sind

Ein entscheidender Vorteil verhältnisbasierter Aussagen:

Verhältnisse brauchen keine fraktale Korrektur!

- Fraktale Korrektur: $D_f = 3 - \xi$ ändert alle absoluten Werte
- Aber: Verhältnisse bleiben invariant!
- $\frac{m_\tau}{m_\mu}$ ist gleich in $D = 3$ und $D_f = 3 - \xi$
- $\frac{a_\tau}{a_\mu}$ ist gleich in $D = 3$ und $D_f = 3 - \xi$

Mathematisch:

$$\text{In idealem 3D:} \quad \frac{\tilde{m}_\tau}{\tilde{m}_\mu} = \frac{r_\tau \xi^{p_\tau}}{r_\mu \xi^{p_\mu}} \tag{16}$$

$$\text{In fraktalem } D_f\text{:} \quad \frac{m_\tau}{m_\mu} = \frac{r_\tau \xi^{p_\tau} \cdot K_{\text{frak}}}{r_\mu \xi^{p_\mu} \cdot K_{\text{frak}}} = \frac{r_\tau \xi^{p_\tau}}{r_\mu \xi^{p_\mu}} \tag{17}$$

Der Korrekturfaktor K_{frak} kürzt sich heraus!
Analog für g-2:

$$\text{In idealem 3D:} \quad \frac{\tilde{a}_\tau}{\tilde{a}_\mu} = \left(\frac{\tilde{m}_\tau}{\tilde{m}_\mu}\right)^2 \tag{18}$$

$$\text{In fraktalem } D_f\text{:} \quad \frac{a_\tau}{a_\mu} = \left(\frac{m_\tau}{m_\mu}\right)^2 \tag{19}$$

Das Verhältnis ist identisch – unabhängig von der fraktalen Korrektur!

Wichtig

Fundamentale Vereinfachung Verhältnisbasierte Vorhersagen umgehen das gesamte Problem der fraktalen Korrektur. Man muss nicht wissen:

- Wie genau K_{frak} berechnet wird
- Wie die Transformation $D = 3 \to D_f$ funktioniert
- Welche Umrechnungsfaktoren zu SI nötig sind

Das Verhältnis $a_\tau/a_\mu = (m_\tau/m_\mu)^2 \approx 283$ ist eine **reine geometrische Aussage**, gültig in jedem Einheitensystem und unabhängig von allen Korrekturen!

Problem älterer Formulierungen: Einige ältere Dokumente verwendeten $E_0 = 1/\xi = 7500$ GeV (aus natürlichen Einheiten, aber als GeV geschrieben), dann aber direkt mit physikalischem $\alpha = 1/137$ gerechnet. Das ist inkonsistent – entweder man bleibt in natürlichen Einheiten (α=1, alles dimensionslos) oder man arbeitet in SI (α=1/137, E_0 in MeV).

Warum wir SI-Einheiten verwenden: Für experimentelle Vergleiche ist es praktischer, direkt in gemessenen SI-Werten zu rechnen. Das System mit natürlichen Einheiten wäre durchsichtiger für die fundamentale Struktur, aber erfordert am Ende eine Umrechnung zu SI für jeden experimentellen Vergleich.

4.5 Rekursive Feldgleichungen

In der T0-Theorie wirken die Felder rekursiv ineinander:

$$T_{\text{field}}(x) = f(E_{\text{field}}, \psi, A_\mu, \ldots) \tag{20}$$

$$E_{\text{field}}(x) = g(T_{\text{field}}, \psi, A_\mu, \ldots) \tag{21}$$

$$\psi(x) = h(T_{\text{field}}, E_{\text{field}}, A_\mu, \ldots) \tag{22}$$

Diese gekoppelten, nichtlinearen Gleichungen können nicht einfach iterativ gelöst werden, da jede Ordnung die vorherigen modifiziert.

4.6 Fraktale Raumzeit und Renormierung

In nicht-ganzzahliger Dimension $D_f = 3 - \xi$ ändern sich:

- Propagatoren: $\frac{1}{k^2} \to \frac{1}{k^{2-\epsilon}}$ mit $\epsilon = \xi$
- Phasenraumintegrale: $\int d^3k \to \int d^{3-\xi}k$
- Renormierungskonstanten: Dimensionsabhängig
- Unitarität: Muss in fraktaler Dimension neu formuliert werden

Die dimensional regularisierte Quantenfeldtheorie ($D = 4 - \epsilon$) ist etabliert, aber **fraktale Dimension ist fundamental anders** – sie ist physikalisch real, nicht nur ein Regularisierungstrick.

4.7 Vergleich mit QCD-Problemen im SM

	SM: Hadronische Beiträge	**T0: Zeitfeld-Beiträge**
Theorie definiert?	Ja (QCD)	Ja (T0-Lagrange-Dichte)
Ab-initio berechenbar?	Nein (zu komplex)	Nein (zu komplex)
Methode	Dispersion/Lattice	Phänomenologie
Normierung	e^+e^--Daten	Myon-Diskrepanz
Vorhersagekraft	Begrenzt	Tau-Vorhersage

5 Theoretische Begründung der Struktur

5.1 Warum $\Delta a \propto m^2$?

Die quadratische Massenskalierung ist nicht zufällig:

1. **Zeit-Masse-Dualität:** $T \times m = \hbar$
   Zeitfeld-Fluktuation: $\delta T \sim 1/m$
   Energie-Fluktuation: $\delta E \sim m$
   Vertex-Korrektur: $\propto (\delta E)^2/M^2 \sim m^2/M^2$
2. **Dimensionale Analyse:**
   $[\Delta a] =$ dimensionslos
   $[\xi \times m^2 \times \alpha] = [\mathrm{E}]^{-2} \times [\mathrm{E}]^2 \times 1 = 1$
   → Konsistent!
3. **Analogie zur Massenformel:**
   Massen: $m \propto \xi^p \times v$ (linear in v)
   g-2: $\Delta a \propto \xi^q \times m^2$ (quadratisch in m)
   Beide aus derselben geometrischen Struktur

5.2 Warum $q_\mu = 1$ wie $p_\mu = 1$?

Die Beobachtung $p_\mu = 1$ UND $q_\mu = 1$ ist möglicherweise nicht zufällig:
- Myon: Zweite Generation, $p_\mu = 1$ (intermediär zwischen $p_e = 3/2$ und $p_\tau = 2/3$)
- Wenn $q_\ell = p_\ell$ generell gilt, würde das eine tiefere Verbindung zwischen Massen und g-2 andeuten
- Test: Wenn Belle II a_τ misst, können wir prüfen ob tatsächlich $q_\tau = p_\tau = 2/3$ gilt

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Was wir wissen

1. Die T0-Theorie sagt **eindeutig** zusätzliche g-2 Beiträge voraus
2. Die **Struktur** ist theoretisch begründet: $\Delta a_\ell \propto \xi \times m_\ell^2 \times \alpha$
3. Die **Amplitude** $s_\mu = 3.45 \times 10^{-8}$ ist phänomenologisch (wie hadronische Beiträge im SM)
4. Die **Tau-Vorhersage** $a_\tau = 1.06 \times 10^{-7}$ ist parameterfrei testbar

6.2 Was wir nicht wissen

1. Die **explizite Berechnung** von s_μ aus ersten Prinzipien (zu komplex)
2. Ob $s_\tau = s_\mu$ exakt gilt oder generationsabhängig ist
3. Die vollständige Struktur rekursiver Feldgleichungen in fraktaler Raumzeit
4. Ob es eine Relation $s_\ell = f(r_\ell, p_\ell)$ gibt

6.3 Experimentelle Tests

Belle II (2027-2028):
- Test der Vorhersage $a_\tau = 1.06 \times 10^{-7}$
- Test der quadratischen Massenskalierung
- Möglicher Test von $q_\tau = p_\tau$

Fermilab/J-PARC:
- Weitere Präzisionsverbesserungen für a_μ
- Reduktion theoretischer Unsicherheiten
- Klarere Bestimmung von Δa_μ

Kernbotschaft

Die T0-Theorie behandelt g-2 analog zum Standardmodell: Die fundamentale Theorie ist definiert und sagt Beiträge voraus, aber die vollständige Berechnung ist zu komplex. Wir verwenden eine theoretisch motivierte phänomenologische Parametrisierung, normiert am Myon, die eine parameterfrei Tau-Vorhersage ermöglicht. Die Situation ist vergleichbar mit hadronischen Beiträgen im SM – nicht ideal, aber pragmatisch und testbar.

Weiterführende Literatur

Experimentelle Ergebnisse:

- Fermilab Muon g-2 (2025): muon-g-2.fnal.gov
- Theory Initiative White Paper: arXiv:2505.21476
- Belle II: www.belle2.org

Theoretische Hintergründe:

- Leptonmassen in T0: Systematische Herleitung aus Quantenzahlen
- Zeit-Masse-Dualität: Fundamentale Prinzipien
- Fraktale Raumzeit: $D_f = 3 - \xi$