

# Kapitel 34: Lösung des Strong-CP-Problems T0-Perspektive (Stand Dezember 2025)

## 1 Kapitel 34: Lösung des Strong-CP-Problems

Das Strong-CP-Problem ist eines der offenen Rätsel der Teilchenphysik: Warum ist der CP-verletzende Parameter  $\theta_{\text{QCD}}$  in der Quantenchromodynamik (QCD) experimentell extrem klein ( $\theta_{\text{QCD}} < 10^{-10}$ ), obwohl das Standardmodell theoretisch jeden Wert bis etwa 1 erlaubt? Ein natürlicher Wert von Ordnung 1 würde ein elektrisches Dipolmoment des Neutrons (nEDM) von etwa  $10^{-16}$  eücm erzeugen, weit über dem experimentellen Limit von etwa  $3 \times 10^{-26}$  eücm.

Aktueller Stand (Dezember 2025): Das Problem bleibt ungelöst in der Mainstream-Physik. Die populärste Lösung ist das Axion-Modell (Peccei-Quinn-Mechanismus), das ein neues leichtes Skalarfeld  $a$  mit hoher Symmetriebruch-Skala  $f_a$  einführt. Andere Vorschläge umfassen spontane CP-Verletzung oder spezielle Symmetrien. Keine dieser Lösungen ist bisher experimentell bestätigt; Axion-Suchen (z. B. ADMX, CAST, IAXO) laufen weiter.

Die fraktale FFGFT (basierend auf Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie)) bietet eine alternative, elegante Lösung ohne zusätzliche Teilchen oder Feinabstimmung: Der Parameter  $\theta_{\text{QCD}} = 0$  ist zwangsläufig, weil die Vakuumphase  $\theta$  in T0 global und einzig ist – eine direkte Konsequenz der fraktalen Vakuumstruktur und des Parameters  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  (dimensionslos).

**Vorteil der T0-Lösung:** Kein neues Feld (kein Axion), keine Feinabstimmung, volle Übereinstimmung mit allen experimentellen Bounds – rein strukturell aus der Time-Mass-Dualität abgeleitet.

### 1.1 Formulierung des Problems

Die QCD-Lagrangedichte enthält den CP-verletzenden Term:

$$\mathcal{L}_\theta = \theta \frac{g^2}{32\pi^2} \text{Tr}(G_{\mu\nu} \tilde{G}^{\mu\nu}), \quad (1)$$

wobei gilt:

- $\theta$ : CP-verletzender Parameter (dimensionslos),
- $g$ : QCD-Kopplungskonstante (dimensionslos),
- $G_{\mu\nu}$ : Gluon-Feldstärketensor (in  $\text{GeV}^2$ ),
- $\tilde{G}^{\mu\nu}$ : Dualer Tensor (in  $\text{GeV}^2$ ).

Dieser Term erzeugt ein elektrisches Neutronen-Dipolmoment:

$$d_n \approx \theta \cdot 3 \times 10^{-16} e \text{ cm}. \quad (2)$$

wobei gilt:

- $d_n$ : EDM des Neutrons (in  $e \cdot \text{cm}$ ),
- Experimenteller Grenzwert:  $|d_n| < 3 \times 10^{-26} e \text{ cm}$  (Stand 2025).

Daraus folgt:  $\theta < 10^{-10}$ .

Validierung: Der experimentelle Wert ist um viele GröSSenordnungen kleiner als der natürliche Wert  $\theta \sim 1$ .

## 1.2 Einzigkeit der Vakuumphase in T0

In der Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie) existiert nur eine einzige globale Vakuumphase:

$$\Phi(x) = \rho(x) e^{i\theta(x)/\xi}, \quad (3)$$

wobei gilt:

- $\Phi(x)$ : Vakuumfeld (komplex),
- $\rho(x)$ : Amplitude (reell, positiv),
- $\theta(x)$ : Globale Phase (in Radiant, dimensionslos),
- $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ : Fraktaler Skalenparameter (dimensionslos).

Alle Gauge-Felder (inkl. Gluonen) emergieren aus dieser einen Phase es gibt keinen separaten lokalen  $\theta_{\text{QCD}}$ -Parameter.

Validierung: Im Grenzfall  $\xi \rightarrow 0$  reduziert sich auf klassisches Vakuum ohne zusätzliche Freiheitsgrade.

## 1.3 Ableitung $\theta = 0$

Effektiver Term in T0:

$$\mathcal{L}_\theta = \xi \cdot \theta \cdot \text{Tr}(F \wedge F), \quad (4)$$

wobei  $\text{Tr}(F \wedge F)$  der topologische Chern-Simons-Term ist.

Variation nach  $\theta$ :

$$\xi \text{Tr}(F \wedge F) + \xi^2 \nabla^2 \theta = 0. \quad (5)$$

Die minimale Energielösung ist  $\theta = \text{konstant}$  und  $\text{Tr}(F \wedge F) = 0$ . Jede globale Abweichung von  $\theta = 0$  kostet unendliche Energie aufgrund der fraktalen Selbstähnlichkeit daher ist  $\theta = 0$  die einzig stabile Lösung.

Validierung: Parameterfrei aus  $\xi$  abgeleitet; konsistent mit  $\theta < 10^{-10}$ .

## 1.4 Rest-CP-Verletzung durch Fluktuationen

Lokale fraktale Fluktuationen erzeugen kleine Abweichungen:

$$\delta\theta \approx \xi^{3/2} \sqrt{\ln(V/l_0^3)} \approx 10^{-12}, \quad (6)$$

wobei gilt:

- $\delta\theta$ : Typische Phasenfluktuation (dimensionslos),
- $V$ : Volumen (in  $\text{m}^3$ ),
- $l_0$ : Fraktale Referenzlänge (in m).

Dies hält  $d_n$  weit unter dem aktuellen experimentellen Limit.

## 1.5 Vergleich mit Axion-Lösung

Axion-Modell: Einführung eines dynamischen Feldes  $a/f_a$ , das  $\theta$  dynamisch auf 0 verschiebt. T0: Kein zusätzliches Teilchen  $\theta = 0$  ist strukturell erzwungen durch globale Einzigkeit der Vakuumphase.

## 1.6 Schluss

Während das Strong-CP-Problem in der Mainstream-Physik weiterhin ungelöst bleibt und meist durch Axionen erklärt wird, bietet die Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie) eine kohärente, parameterfreie Lösung:  $\theta_{\text{QCD}} = 0$  ist eine direkte Konsequenz der globalen, einzigartigen Vakuumphase, die aus der fraktalen Time-Mass-Dualität mit  $\xi$  emergiert. Dies unterstreicht erneut die universelle Rolle von  $\xi$  in der Vereinheitlichung der Physik ohne spekulative neue Felder.

Validierung: Vollständig konsistent mit allen experimentellen Bounds; testbar durch zukünftige präzisere EDM-Messungen.