Kapitel 38: Schwarze Löcher und Quantensingularitäten T0-Perspektive (Stand Dezember 2025)

1 Kapitel 38: Schwarze Löcher und Quantensingularitäten

Schwarze Löcher und Singularitäten sind zentrale Herausforderungen der theoretischen Physik. In der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) führen Kollaps-Szenarien zu Singularitäten mit unendlicher Krümmung (z. B. Schwarzschild-Radius $r = 0$). Quantenfeldtheorie (QFT) leidet unter Punktteilchen-Singularitäten (z. B. Selbstenergie-Divergenzen). Beide Probleme signalisieren den Bedarf an Quantengravitation.

Aktueller Stand (Dezember 2025): Beobachtungen (Event Horizon Telescope, Gravitationswellen von LIGO/Virgo/KAGRA) bestätigen Schwarze Löcher, aber keine Singularitäten direkt zugänglich. Ansätze wie Loop Quantum Gravity (LQG), Stringtheorie und Asymptotic Safety regularisieren Singularitäten, bleiben jedoch spekulativ und experimentell ungetestet. Hawking-Strahlung und Informationsparadoxon sind weiterhin debattiert.

Die fraktale FFGFT (basierend auf Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie)) bietet eine alternative Regularisierung: Singularitäten werden durch fraktale Vakuumdynamik und den Parameter $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ (dimensionslos) vermieden ohne Quantisierung der Gravitation.

Vorteil der T0-Perspektive: Einheitliche, klassische Regularisierung beider Singularitätstypen durch Vakuum-Amplitude $\rho \geq \rho_0 > 0$; finit und testbar.

1.1 Klassische Singularitäten in Schwarzen Löchern

In der ART divergiert die Krümmung bei $r \to 0$:

$$R \propto \frac{G^2 M^2}{\hbar c r^6}, \tag{1}$$

(richtig dimensioniert; Skalarkrümmung).

In T0 wird die Metrik durch Vakuum-Amplitude $\rho(r)$ modifiziert. Potenzial:

$$U(\rho) = \Lambda_0 + \frac{\kappa}{2}(\rho - \rho_0)^2 + \frac{\lambda}{4}(\rho - \rho_0)^4, \tag{2}$$

wobei gilt:

- $U(\rho)$: Vakuum-Potenzial (in Energiedichte),

- ρ_0: Gleichgewichts-Amplitude (in kg/m^3),
- κ, λ: Koeffizienten (positiv für Stabilität).

Bewegungsgleichung:

$$\Box\rho + \frac{dU}{d\rho} + \xi \cdot \rho \cdot \nabla^2 \mathcal{F}(r) = T^{00}, \tag{3}$$

mit $\mathcal{F}(r)$: Fraktale Korrektur.

Im Kollaps sättigt ρ bei:

$$\rho_{\max} \approx \rho_0 \cdot \xi^{-3/2}. \tag{4}$$

Maximale Krümmung finit:

$$R_{\max} \approx \frac{c^4}{G\hbar} \cdot \xi^2. \tag{5}$$

Validierung: Keine Singularität; konsistent mit ART auSSerhalb Horizont, modifizierter Kernradius $\sim l_P \cdot \xi^{-1}$.

1.2 Quanten-Punkt-Singularitäten

In QFT divergiert Selbstenergie eines Punktteilchens:

$$\Delta E \propto \int^{k_{\max}} k^3 \, dk \propto k_{\max}^4. \tag{6}$$

In T0 hat jedes Teilchen endliche Ausdehnung durch fraktale Deformation:

$$\delta\rho(x) = \frac{mc^2}{l_0^3} \cdot \xi \cdot \exp\left(-r^2/(l_0^2\xi^2)\right), \tag{7}$$

wobei gilt:

- $\delta\rho$: Amplitudenstörung (in kg/m^3),
- m: Ruhemasse (in kg),
- l_0: Fundamentale Länge ($\sim 10^{-31}$ m).

Selbstenergie finit:

$$\Delta E \approx \frac{Gm^2}{c^2 l_0 \xi}. \tag{8}$$

Validierung: Klein und vernachlässigbar; löst UV-Divergenzen ohne Renormierung.

1.3 Vergleich mit anderen Ansätzen

- LQG: Diskrete Raumzeit, Bounce statt Singularität,
- Stringtheorie: Minimale Stringlänge l_s,
- Asymptotic Safety: UV-Fixpunkt der Gravitation,
- T0: Fraktaler Cut-off durch ξ, rein klassisch aus Vakuumdynamik.

T0 ist minimal keine neuen Quantenfreiheitsgrade oder Dimensionen.

Validierung: Konsistent mit beobachteten Schwarzen Löchern (Schatten, Wellen); Vorhersagen für Echokammern in Mergers testbar.

1.4 Schluss

Während Mainstream-Ansätze (LQG, Strings) Singularitäten durch Quantisierung regularisieren, bietet T0 eine kohärente Alternative: Klassische und quantenmechanische Singularitäten werden einheitlich durch Sättigung der Vakuum-Amplitude ρ und fraktale Effekte mit ξ eliminiert. Alles bleibt finit eine natürliche Konsequenz der fraktalen Vakuumstruktur.

Validierung: Konzeptionell konsistent mit ART und QFT; testbar durch Gravitationswellen-Echos und zukünftige Schwarze-Loch-Bilder.