

# Kapitel 29: Das Delayed-Choice-Quantum-Eraser-Experiment in der fraktalen T0-Geometrie

## 1 Kapitel 29: Das Delayed-Choice-Quantum-Eraser-Experiment in der fraktalen T0-Geometrie

Das **Delayed-Choice-Quantum-Eraser (DCQE)**-Experiment (Kim et al., 2000; Walborn et al., 2002) demonstriert anschaulich die Quantenkomplementarität und Verschränkung. Es scheint Retrokausalität zu implizieren: Eine verzögerte Entscheidung, Which-Path-Information zu löschen oder zu behalten, beeinflusst scheinbar das Interferenzverhalten eines Photons in der Vergangenheit. In der fraktalen **Fundamental Fractal-Geometric Field Theory (FFGFT)** mit **T0-Time-Mass-Dualität** löst sich dieses Paradoxon vollständig auf. Das Phänomen emergiert aus der globalen, fraktalen Kohärenz des Vakuumphasenfeldes  $\theta(x, t)$ , reguliert durch den einzigen fundamentalen Parameter  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$  (dimensionslos). Es gibt keine Retrokausalität lediglich eine nichtlokale, aber kausale Korrelation in der fraktalen Vakuumstruktur.

In T0 sind Quantenzustände Anregungen des komplexen Vakuumfeldes  $\Phi(x, t) = \rho(x, t)e^{i\theta(x, t)}$ . Photonen sind reine Phasenwirbel ( $\delta\rho \approx 0$ ), deren Propagation durch Gradienten der Zeitdichte  $T(x, t)$  geleitet wird (Dualität  $T(x, t) \cdot m(x, t) = 1$ ). Verschränkung ist globale Phasenkohärenz:  $\theta_{\text{signal}} + \theta_{\text{idler}} = \theta_{\text{total}} = \text{konst.}$

## 1.1 Symbolverzeichnis und Einheiten

Wichtige Symbole und ihre Einheiten		
Symbol	Bedeutung	Einheit (SI)
$\xi$	Fraktaler Skalenparameter	dimensionslos
$\Phi(x, t)$	Komplexes Vakuumfeld	$\text{kg}^{1/2}/\text{m}^{3/2}$
$\rho(x, t)$	Vakuum-Amplitudendichte	$\text{kg}^{1/2}/\text{m}^{3/2}$
$\theta(x, t)$	Vakuumphasenfeld	rad (dimensionslos)
$T(x, t)$	Zeitdichte	$\text{s}/\text{m}^3$
$\psi(x, t)$	Effektive Wellenfunktion	dimensionslos
$\Delta\theta$	Phasenstörung	rad
$l_0$	Fraktale Korrelationslänge	m
$\theta_{\text{total}}$	Globale verschränkte Phase	rad
$\langle\theta(x)\theta(x')\rangle$	Phasenkorrelation	$\text{rad}^2$
$V$	Sichtbarkeit der Interferenz	dimensionslos

### Einheitenprüfung (Phasenkorrelation):

$$[\langle\theta\theta\rangle] = \text{dimensionslos} + \text{dimensionslos} \cdot \ln(\text{m}/\text{m}) = \text{dimensionslos}$$

Einheiten konsistent.

## 1.2 Das Problem der scheinbaren Retrokausalität

Im Standardmodell der Quantenmechanik erscheint DCQE paradox: Die totale Verteilung am Signal-Detektor D0 zeigt nie Interferenz. Nur bei Post-Selektion (Korrelation mit Idler-Detektoren) treten Untermengen mit Interferenz (erased) oder Clumping (which-path) auf auch wenn die Idler-Messung verzögert erfolgt.

Dies führt zu Missverständnissen über Retrokausalität. T0 löst dies parameterfrei durch fraktale Nichtlokalität.

## 1.3 Beschreibung des Experiments

Verschränkte Photonenpaare aus parametrischer Down-Conversion (PDC): - Signal-Photon Doppelspalt Detektor D0 (beweglich für Scanning). - Idler-Photon verzögertes Setup mit Beam-Splittern und Detektoren (D1D4).

Ohne Erasure (Which-Path-Detektoren): Keine Interferenz in korrelierten Subsets. Mit Erasure (z. B. Beam-Splitter vor Detektoren): Interferenz in Subsets verzögerte Wahl klassifiziert nur die Daten.

## 1.4 Phasenkohärenz in der T0-Vakuumstruktur

Die effektive Wellenfunktion ist eine Phasenmodulation:

$$\psi(x, t) = e^{i\theta(x, t)/\xi}, \quad (1)$$

da Photonen reine Phase sind ( $\rho \approx \rho_0$ ).

Fraktale Korrelation:

$$\langle \theta(x)\theta(x') \rangle = \theta_0 + \xi \cdot \ln(|x - x'|/l_0). \quad (2)$$

**Einheitenprüfung:**

$$[\xi \cdot \ln(|x - x'|/l_0)] = \text{dimensionslos}$$

Für verschränkte Paare:

$$\theta_{\text{signal}}(x) + \theta_{\text{idler}}(x') = \theta_{\text{total}} = \text{konstant.} \quad (3)$$

## 1.5 Ableitung des Erasure-Effekts

Which-Path-Markierung stört die Idler-Phase:

$$\Delta\theta_{\text{idler}} \approx \pi \quad \Rightarrow \quad \Delta\theta_{\text{signal}} \approx \pi \quad (\text{durch Dualität}), \quad (4)$$

randomisiert die Phase am D0 reduzierte Sichtbarkeit  $V \approx 0$ .

Erasure (z. B. 50/50 Beam-Splitter):

$$\Delta\theta_{\text{idler}} \approx 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta\theta_{\text{signal}} \approx 0, \quad (5)$$

Kohärenz erhalten  $V \approx 1$  in korrelierten Subsets.

Die verzögerte Wahl beeinflusst nur die Post-Selektion der Ereignisse die globale Phase  $\theta_{\text{total}}$  ist immer kohärent.

Minimale Phasenunsicherheit aus Fraktalität:

$$\Delta\theta_{\text{min}} \approx \xi^{3/2} \sqrt{\ln(\xi^{-1})} \approx 4.6 \times 10^{-6}. \quad (6)$$

## 1.6 Nichtlokale Korrelation ohne Retrokausalität

Die Korrelation ist fraktal bedingt:

$$\Delta\theta_{\text{signal}} \cdot \Delta\theta_{\text{idler}} \geq \xi. \quad (7)$$

Dies ist deterministisch und kausal keine Signalübertragung rückwärts.

## 1.7 Vergleich mit anderen Interpretationen

Andere Interpretationen	T0-Fraktale FFGFT
Kopenhagen: Kollaps, Beobachter	Deterministisch, vakuumgeometrisch
Many-Worlds: Branching	Einheitliche fraktale Phase
Retrokausalitäts-Modelle: Zeitreise	Keine Retrokausalität nötig
Zusätzliche Annahmen	Parameterfrei aus $\xi$

## 1.8 Schlussfolgerung

Das DCQE-Experiment ist in der Fundamentale Fraktalgeometrische Feldtheorie (FFGFT, früher T0-Theorie) kein Paradoxon mehr: Die scheinbare Retrokausalität entsteht aus der globalen, fraktalen Kohärenz des Vakuumphasenfeldes  $\theta(x, t)$ . Erasure stellt Kohärenz in korrelierten Subsets wieder her, ohne das vergangene Ereignis zu verändern lediglich die Klassifikation der Daten. Alles emergiert parameterfrei aus dem einzigen Skalenparameter  $\xi = \frac{4}{3} \times 10^{-4}$ , und vereinheitlicht Quantenverschränkung mit der Time-Mass-Dualität als geometrische Notwendigkeit des dynamischen Vakuums.