

Feldtheorie und Quantenkorrelationen: Eine neue Perspektive auf Instantanität

Johann Pascher

28. März 2025

Zusammenfassung

Diese Arbeit entwickelt eine neue Perspektive auf das Phänomen der Quantenkorrelationen und deren scheinbare Instantanität. Durch die Einführung eines fundamentalen Feldansatzes wird gezeigt, wie die nicht-lokalen Eigenschaften der Quantenmechanik als natürliche Konsequenz einer zugrundeliegenden Feldstruktur verstanden werden können. Besondere Aufmerksamkeit wird dabei der Rolle des Quantenhintergrunds und der Interpretation moderner Bell-Experimente gewidmet. Diese Betrachtung ergänzt die Zeit-Masse-Dualitätstheorie und bietet einen konsistenten Rahmen für das Verständnis von Quantenphänomenen innerhalb eines umfassenden Feldkonzepts.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Ein neuer Ansatz	2
1.2	Theoretische Grundlagen	3
1.3	Experimentelle Evidenz	3
1.4	Mathematischer Rahmen	3
2	Das Vakuum als Quantenhintergrund	3
2.1	Fundamentale Konstanten des Vakuums	4
2.2	Das Vakuum als Träger des Feldes	4
3	Quantenkorrelationen im Feldmodell	4
3.1	Polarisation und Verschränkung	4
3.2	Bell'sche Ungleichungen und lokaler Realismus	5
3.3	Das Wien-Experiment von 2015	5
3.4	Der "Big Bell Test" von 2018	5
4	Feldtheorie und Instantanität	5
4.1	Schallwellen als Analogie	5
4.2	Warum ist diese Analogie wichtig?	6
4.2.1	Auflösung des Paradoxons	6
4.2.2	Realität des Feldes	6
4.2.3	Experimentelle Konsequenz	6

5	Feldgleichungen in dualer Formulierung	6
5.1	Modifizierte Quantenmechanik mit variabler Masse	6
5.2	Klein-Gordon-Gleichung und Higgs-Feld	7
5.3	Dirac-Gleichung für Fermionen	7
5.4	Variable Masse als verborgene Variable	8
6	Feldtheorie und Lokalität	8
6.1	Lokale-realistische Modelle und versteckte Variablen	8
6.2	Das Wellenfeld-Modell als Alternative	8
6.3	Feldkohärenz und Nicht-Lokalität	9
7	Feldtheorie und Relativitätstheorie	9
7.1	Das Wellenfeld-Modell und die Relativitätstheorie	9
7.2	Relativistische Quantenfeldtheorie und variable Masse	10
7.3	Das Paradoxon der Instantanität und die Rolle der variablen Masse	10
8	Was wir wissen und was fehlt	11
8.1	Was wir wissen: Die gesicherten Erkenntnisse	11
8.2	Was fehlt: Die offene Frage der Zeitmessung	11
8.3	Warum das wichtig ist: Die konzeptionelle Lücke	12
8.4	Mögliche Lösungsansätze	12
9	Schlussbemerkungen	12
9.1	Quantenmechanik als Werkzeug	12
9.2	Feldtheorie als realistischeres Modell	13
9.3	Das Higgs-Vakuum als aktiver Quantenhintergrund	13
9.4	Diese Sichtweise löst mehrere scheinbare Paradoxa	13
9.5	Verbindung zur Zeit-Masse-Dualitätstheorie	13
10	Fazit	14

1 Einleitung

Die moderne Quantenphysik steht vor einer fundamentalen Herausforderung: Die scheinbare Instantanität von Quantenkorrelationen scheint unserer klassischen Vorstellung von Lokalität und Kausalität zu widersprechen. Seit den bahnbrechenden Bell-Experimenten, insbesondere den schlupflochfreien Tests seit 2015 [10], wissen wir mit Sicherheit, dass die Quantenwelt nicht-lokale Eigenschaften aufweist. Dennoch bleibt die Frage nach der *Natur* dieser Nicht-Lokalität und ihrer Vereinbarkeit mit der Relativitätstheorie offen.

1.1 Ein neuer Ansatz

Diese Arbeit entwickelt eine alternative Perspektive auf das Problem der Quantenkorrelationen, indem sie einen fundamentalen Feldansatz vorschlägt. Statt separater Quantenfelder wird ein einheitliches Grundfeld postuliert, in dem Teilchen als Feldknoten und Quantenkorrelationen als Feldeigenschaften erscheinen [22]. Diese Sichtweise ermöglicht es, die scheinbare ‘spukhafte Fernwirkung’ als natürliche Konsequenz der Feldstruktur zu verstehen.

1.2 Theoretische Grundlagen

Der vorgeschlagene Ansatz basiert auf drei Kernkonzepten:

- Das Vakuum als aktiver Quantenhintergrund mit definierten Eigenschaften (ε_0, μ_0)
- Teilchen als stabile Knoten oder Anregungsmuster im fundamentalen Feld
- Quantenkorrelationen als inhärente Eigenschaften der Feldkohärenz

Diese Konzepte stehen in direkter Verbindung mit der Zeit-Masse-Dualitätstheorie [17], bei der die intrinsische Zeit $T = \hbar/mc^2$ als fundamentale Größe betrachtet wird. Die Eigenschaften des Quantenhintergrunds bestimmen dabei sowohl die Zeitentwicklung des Systems als auch die Struktur der Feldknoten, die als Materie wahrgenommen werden.

1.3 Experimentelle Evidenz

Die Theorie wird durch moderne Experimente gestützt, insbesondere:

- Die Wien-Experimente von 2015, die alle klassischen Schlupflöcher schlossen [8]
- Den ‘Big Bell Test’ von 2018 mit seiner einzigartigen Methodik [4]
- Verschiedene Analogien zu klassischen Feldphänomenen

1.4 Mathematischer Rahmen

Die grundlegende Feldgleichung kann geschrieben werden als:

$$\square\Psi + V(\Psi) = 0 \quad (1)$$

wobei $\square = \frac{\partial^2}{\partial t^2} - c^2\nabla^2$ der d’Alembert-Operator ist und $V(\Psi)$ ein Potentialterm, der die Stabilität der Feldknoten gewährleistet. In Verbindung mit der Zeit-Masse-Dualität lässt sich diese Gleichung umformulieren zu:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial(t/T)^2} - \nabla^2 + m_H^2 \right) h_T(x) = 0 \quad (2)$$

für Skalarfelder wie das Higgs-Feld, und für Fermionen gemäß der modifizierten Dirac-Gleichung:

$$\left(i\gamma^0 \frac{\partial}{\partial(t/T)} + i\gamma^i \partial_i - m_f \right) \psi_T(x) = 0 \quad (3)$$

wobei die modifizierte Zeitableitung $\partial_{t/T} = \frac{\partial}{\partial(t/T)} = T \frac{\partial}{\partial t}$ verwendet wird [17]. Dies führt zu einer modifizierten Dispersionsrelation:

$$\omega_T^2 = \mathbf{k}^2 + \frac{m_H^2 c^4}{\hbar^2} \cdot T^2 \quad (4)$$

2 Das Vakuum als Quantenhintergrund

Das Vakuum ist nicht einfach ‘nichts’, sondern ein aktiver Quantenhintergrund mit definierten physikalischen Eigenschaften [13].

2.1 Fundamentale Konstanten des Vakuums

Die elektrische Feldkonstante (ε_0) und die magnetische Feldkonstante (μ_0) charakterisieren die fundamentalen Eigenschaften des Vakuums als Quantenhintergrund. Sie bestimmen die Wechselwirkungen im elektromagnetischen Feld und stehen in direkter Beziehung zur Lichtgeschwindigkeit:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (5)$$

Diese Konstanten sind nicht nur mathematische Größen, sondern Ausdruck der physikalischen Struktur des Quantenhintergrunds [1]. In der Zeit-Masse-Dualitätstheorie beeinflussen sie direkt die intrinsische Zeit T und damit die Energieskala der Feldknoten [17].

2.2 Das Vakuum als Träger des Feldes

Der Quantenhintergrund fungiert als Trägermedium für das elektromagnetische Feld und alle anderen fundamentalen Felder. Diese Betrachtungsweise ermöglicht es:

- Die Ausbreitung von Wellen im 'leeren' Raum zu erklären
- Nicht-lokale Korrelationen als feldinhärente Eigenschaften zu verstehen
- Die Grenzen klassischer Teilchenvorstellungen zu überwinden

Die Homogenität des Vakuums und seiner Eigenschaften (ε_0, μ_0) ist dabei entscheidend für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit und damit für die Gültigkeit der speziellen Relativitätstheorie [21].

3 Quantenkorrelationen im Feldmodell

3.1 Polarisation und Verschränkung

Die Polarisation eines Photons kann als Superposition von horizontaler (H) und vertikaler (V) Polarisation beschrieben werden [7]:

$$|\psi\rangle = \alpha|H\rangle + \beta e^{i\phi}|V\rangle \quad (6)$$

Bei verschränkten Photonenpaaren entsteht ein gemeinsamer Zustand wie:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|H\rangle_A |H\rangle_B + |V\rangle_A |V\rangle_B) \quad (7)$$

Im Feldmodell werden diese Zustände nicht als isolierte Teilcheneigenschaften betrachtet, sondern als kohärente Feldmuster, die über den gesamten Raum ausgedehnt sind [24]. Die Korrelation zwischen den Messungen an Teilchen A und B ist eine inhärente Eigenschaft dieses Feldmusters, nicht das Ergebnis einer instantanen 'Kommunikation' zwischen den Teilchen.

3.2 Bell'sche Ungleichungen und lokaler Realismus

Die Bell'schen Ungleichungen und ihre experimentelle Verletzung zeigen die Grenzen lokaler realistischer Theorien [3]. Im Feld-Modell lässt sich dies verstehen als:

$$|E(a, b) - E(a, c)| \leq 1 + E(b, c) \quad (8)$$

Die experimentell beobachtete Verletzung dieser Ungleichung (für bestimmte Winkel a, b, c) demonstriert, dass die Quantenwelt nicht durch lokale versteckte Variablen beschrieben werden kann [2]. Das Feld-Modell liefert hierfür eine natürliche Erklärung: Das fundamentale Feld ist in seiner Natur nicht-lokal, da es den gesamten Raum durchdringt.

3.3 Das Wien-Experiment von 2015

Das Experiment der Gruppe um Anton Zeilinger in Wien 2015 war eines der ersten wirklich schlupflochfreien Tests von Bell's Theorem [8]. Es kombinierte:

- Sehr hohe Detektionseffizienz ($>97\%$ durch SNSPDs)
- Ausreichende räumliche Trennung der Messungen
- Schnelle, unabhängige Quantenzufallsgeneratoren

Die beobachtete Verletzung der Bell-Ungleichung mit einer statistischen Signifikanz von 11.5 Standardabweichungen bestätigt die Nicht-Lokalität der Quantenwelt. Im Feldmodell ist diese Nicht-Lokalität eine natürliche Eigenschaft des fundamentalen Feldes und seiner kohärenten Struktur [24].

3.4 Der “Big Bell Test” von 2018

Der “Big Bell Test” nutzte die Entscheidungen von über 100.000 Menschen weltweit, um die Messeinstellungen in 13 verschiedenen Laboren zu steuern [4]. Diese menschliche Komponente adressierte das Freie-Wahl-Schlupfloch auf eine neue Art. Die Ergebnisse zeigten eine Verletzung der Bell-Ungleichungen mit statistischen Signifikanzen von bis zu 70 Standardabweichungen.

Diese Experimente bestätigen die nicht-lokale Natur der Quantenwelt, was im Feldmodell als Ausdruck der kohärenten Feldstruktur verstanden werden kann.

4 Feldtheorie und Instantanität

4.1 Schallwellen als Analogie

Schallwellen bieten eine hilfreiche Analogie zum Verständnis des Feldkonzepts [5]:

- Schall existiert als Druckwelle, die den gesamten Raum durchdringt
- Ein Mikrofon misst lokal die Schwingung, aber die Welle selbst ist global präsent
- Die Gleichzeitigkeit der Messung an verschiedenen Mikrofonen ergibt sich aus der kohärenten Struktur der Schallwelle

Im Feldmodell sind verschränkte Teilchen wie Knoten in einem globalen Quantenfeld. Die Korrelationen zwischen ihnen sind keine 'Fernwirkung', sondern vorhandene Eigenschaften des Feldes, die bei der Messung nur lokal abgetastet werden. Das Higgs-Feld spielt dabei eine besondere Rolle als universelles Medium, das nicht nur Masse vermittelt, sondern auch die intrinsische Zeitskala aller Teilchen bestimmt, wie in der Zeit-Masse-Dualitätstheorie beschrieben [17].

4.2 Warum ist diese Analogie wichtig?

4.2.1 Auflösung des Paradoxons

Die Nicht-Lokalität erscheint nur paradox, wenn man Teilchen als getrennte Objekte betrachtet. Im Feldmodell sind sie Teile eines Ganzen – wie Schallwellenpunkte in einem Raum [5].

4.2.2 Realität des Feldes

Das Quantenfeld ist keine Abstraktion, sondern die fundamentale Entität [21]. Seine Eigenschaften (Kohärenz, Nicht-Lokalität) sind so real wie die einer Schallwelle.

4.2.3 Experimentelle Konsequenz

Wenn Alice und Bob verschränkte Photonen messen, 'hören' sie quasi zwei Mikrofone ab, die dieselbe Schallwelle abtasten. Die Korrelationen sind im Feld bereits enthalten, nicht erst bei der Messung erzeugt [24].

Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualitätstheorie erhalten diese Korrelationen eine zusätzliche zeitliche Dimension: Die intrinsische Zeit $T = \hbar/mc^2$ bestimmt die Zeitskala der Feldkorrelationen und liefert eine natürliche Erklärung für die beobachteten Kohärenzzeiten und ihre Abhängigkeit von der Masse [17]. Die Higgs-Yukawa-Kopplung

$$\mathcal{L}_{\text{Yukawa-T}} = -y_f \bar{\psi}_L \Phi_T \psi_R \cdot \gamma + \text{h.c.} \quad (9)$$

definiert dabei nicht nur die Masse der Teilchen, sondern gleichzeitig auch ihre intrinsische Zeitskala gemäß

$$T_0 = \frac{\hbar\sqrt{2}}{y_f v c^2} \quad (10)$$

Diese Beziehung stellt eine fundamentale Verbindung zwischen dem Higgs-Mechanismus und der Quantenkohärenz her.

5 Feldgleichungen in dualer Formulierung

Ausgehend von der Zeit-Masse-Dualitätstheorie ergeben sich modifizierte Feldgleichungen, die eine variable Masse integrieren und das Higgs-Feld als Vermittler zwischen den beiden Betrachtungsweisen positionieren.

5.1 Modifizierte Quantenmechanik mit variabler Masse

Im Gegensatz zur konventionellen Schrödinger-Gleichung:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = \hat{H} \Psi(x, t) \quad (11)$$

in der die Zeit (t) als externer, klassischer Parameter behandelt wird und die Masse als konstant gilt, führt die Zeit-Masse-Dualität zu einer fundamentalen Modifikation:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial(t/T)} \Psi = \hat{H} \Psi \quad (12)$$

Diese modifizierte Gleichung verwendet die intrinsische Zeit $T = \hbar/mc^2$ und berücksichtigt, dass die Zeitentwicklung nicht mehr einheitlich für alle Objekte ist, sondern von deren Masse abhängt. Für Systeme mit variabler Masse kann dies umgeschrieben werden als:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) = \hat{H}(m(t)) \Psi(x, t) \quad (13)$$

Bei Mehrteilchensystemen mit unterschiedlichen Massen, wie sie bei verschränkten Systemen auftreten, nimmt die modifizierte Gleichung folgende Form an:

$$i(m_1 + m_2)c^2 \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x_1, x_2, t) = \hat{H} \Psi(x_1, x_2, t) \quad (14)$$

Diese Erweiterung hat tiefgreifende Auswirkungen auf unser Verständnis von Quantenkorrelationen und der scheinbaren Instantanität bei verschränkten Zuständen [17].

5.2 Klein-Gordon-Gleichung und Higgs-Feld

Die Standard-Klein-Gordon-Gleichung für das Higgs-Boson lautet:

$$(\square + m_H^2)h(x) = 0 \quad (15)$$

Im Zeit-Masse-Dualitätsbild wird sie zu:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial(t/T)^2} - \nabla^2 + m_H^2 \right) h_T(x) = 0 \quad (16)$$

Dies führt zu einer modifizierten Dispersionsrelation:

$$\omega_T^2 = \mathbf{k}^2 + \frac{m_H^2 c^4}{\hbar^2} \cdot T^2 \quad (17)$$

Diese Modifikation bedeutet, dass die Wellenausbreitung im Higgs-Feld selbst von der intrinsischen Zeit abhängt, was zu messbaren Abweichungen vom Standardmodell führen könnte.

5.3 Dirac-Gleichung für Fermionen

Die Dirac-Gleichung für Fermionen im Standardmodell:

$$(i\gamma^\mu \partial_\mu - m_f)\psi(x) = 0 \quad (18)$$

wird im Zeit-Masse-Dualitätsbild zu:

$$\left(i\gamma^0 \frac{\partial}{\partial(t/T)} + i\gamma^i \partial_i - m_f \right) \psi_T(x) = 0 \quad (19)$$

5.4 Variable Masse als verborgene Variable

Eine besonders faszinierende Konsequenz dieser Betrachtung ist, dass die variable Masse als fundamentale verborgene Variable dienen könnte, die den scheinbaren Indeterminismus der Quantenmechanik erklären kann. Im Gegensatz zu klassischen verborgenen Variablen-Theorien, die durch Bell'sche Experimente weitgehend ausgeschlossen wurden, ist die variable Masse in der Zeit-Masse-Dualität eine fundamentale, bereits in der Physik verankerte Größe.

Die modifizierte Lagrange-Dichte, die diesen Ansatz formalisiert, lautet:

$$\mathcal{L}_{\text{gesamt}} = \mathcal{L}_{\text{Standard}} + \mathcal{L}_{\text{intrinsisch}} \quad (20)$$

wobei der zusätzliche Term die intrinsische Zeit berücksichtigt:

$$\mathcal{L}_{\text{intrinsisch}} = \bar{\psi} \left(i\hbar\gamma^0 \frac{\partial}{\partial(t/T)} - i\hbar\gamma^0 \frac{\partial}{\partial t} \right) \psi \quad (21)$$

Diese Erweiterung könnte den Weg zu einer deterministischen Quantentheorie ebnen, die Einsteins Intuition bestätigt, dass 'Gott nicht würfelt' [17].

6 Feldtheorie und Lokalität

6.1 Lokale-realistische Modelle und versteckte Variablen

In einer lokal-realistischen Theorie müssten die Messergebnisse durch lokale versteckte Variablen λ bestimmt sein [3]. Die Korrelationsfunktion wäre dann:

$$E(a, b) = \int A(a, \lambda) B(b, \lambda) \rho(\lambda) d\lambda \quad (22)$$

Die Bell'schen Experimente zeigen jedoch, dass diese Annahme die beobachteten Korrelationen nicht erklären kann [2].

6.2 Das Wellenfeld-Modell als Alternative

Das Wellenfeld-Modell bietet eine Alternative, die die Quantenkorrelationen ohne Verletzung der Lokalität erklären kann [5]:

- Das verschränkte System wird als ein einheitliches, kohärentes Feld betrachtet.
- Die Messungen an verschiedenen Orten sind lokale Abtastungen dieses globalen Feldes.
- Die Korrelationen sind inhärente Eigenschaften des Feldes, nicht das Ergebnis einer instantanen Kommunikation.

Dieses Modell ist konsistent mit der Zeit-Masse-Dualitätstheorie, da beide Ansätze das fundamentale Feld und seine inhärenten Korrelationen als primäre Realität betrachten [17]. Das Higgs-Feld kann in diesem Zusammenhang als universelles Medium verstanden werden, das durch die modifizierte Lagrange-Dichte

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} = (D_{T\mu}\Phi_T)^\dagger (D_T^\mu\Phi_T) - V_T(\Phi_T) \quad (23)$$

beschrieben wird. Die kovariante Ableitung

$$D_{T\mu} = \partial_{t/T, \mathbf{x}} + ig\mathbf{A}_\mu \quad (24)$$

enthält dabei die zeitliche Modifikation bezüglich der intrinsischen Zeit, wodurch das Higgs-Feld zum zentralen Vermittler zwischen Raum, Zeit und Masse wird.

6.3 Feldkohärenz und Nicht-Lokalität

Die Nicht-Lokalität wird im Feldmodell nicht als 'spukhafte Fernwirkung' interpretiert, sondern als Ausdruck der Kohärenz eines ausgedehnten Systems [24]:

- Das verschränkte Wellenfeld verbindet die Messorte direkt durch seine kohärenten Eigenschaften.
- Die scheinbare 'Kommunikation' ist in diesem Modell keine Übertragung von Informationen, sondern das Ergebnis eines gemeinsamen Feldzustands.

Die Zeit-Masse-Dualitätstheorie ergänzt dieses Bild, indem sie die intrinsische Zeit T als charakteristische Zeitskala der Feldkorrelationen identifiziert. Dies erklärt die beobachteten Kohärenzzeiten und ihre Abhängigkeit von der Masse [17]. Für Quantensysteme unterschiedlicher Masse sollten die Kohärenzzeiten τ_1 und τ_2 zweier ansonsten identischer Quantensysteme mit Massen m_1 und m_2 dem Verhältnis folgen:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (25)$$

Diese Vorhersage könnte durch Präzisionsexperimente mit verschränkten Teilchen unterschiedlicher Masse überprüft werden und würde eine direkte Verbindung zwischen der klassischen Nichtlokalität und der masseabhängigen Zeitskala des Quantensystems herstellen.

7 Feldtheorie und Relativitätstheorie

7.1 Das Wellenfeld-Modell und die Relativitätstheorie

Das Wellenfeld-Modell lässt sich in Einklang mit der Relativitätstheorie bringen [12]:

- Keine echte Informationsübertragung: Die Korrelationen zwischen verschränkten Teilchen entstehen nicht durch Signalübertragung.
- Lokalität der Messergebnisse: Jeder Messwert wird lokal bestimmt, auch wenn die Ergebnisse global korreliert sind.
- Ausgedehntes Feld: Das Feld erstreckt sich über den gesamten Raum, aber es ist durch die Lichtkegelstruktur der Raumzeit begrenzt.

7.2 Relativistische Quantenfeldtheorie und variable Masse

Das Wellenfeld-Modell ist auch mit der relativistischen Quantenfeldtheorie kompatibel [21]:

- Verschränkung in der Raumzeit: Die Quantenkorrelationen sind in der relativistischen Quantenfeldtheorie vollständig beschreibbar.
- Keine absolute Referenzzeit: Die Relativitätstheorie verlangt, dass es keine bevorzugte Zeitkoordinate gibt. Das Wellenfeld-Modell erfordert keine solche Annahme.

Diese Betrachtungen zeigen, dass die Konzepte von Lokalität und Realismus neu interpretiert werden müssen, ohne fundamentale Prinzipien wie die Relativitätstheorie zu verletzen. Die Zeit-Masse-Dualitätstheorie bietet hier einen vielversprechenden Ansatz, indem sie zwei komplementäre Sichtweisen verbindet:

- Das Standardmodell mit konstanter Masse und Zeitdilatation (der übliche relativistische Rahmen)
- Das komplementäre Modell mit absoluter Zeit und variabler Masse

Diese Dualität ermöglicht eine neue Interpretation relativistischer Phänomene und quantenmechanischer Prozesse, wobei das Higgs-Feld als Vermittler zwischen beiden Beschreibungen fungiert. Die modifizierte Dispersionsrelation

$$\omega_T^2 = \mathbf{k}^2 + \frac{m_H^2 c^4}{\hbar^2} \cdot T^2 \quad (26)$$

zeigt, wie sich diese Dualität in der Wellenausbreitung manifestiert [17].

7.3 Das Paradoxon der Instantanität und die Rolle der variablen Masse

Die scheinbare Instantanität von Quantenkorrelationen bleibt eines der hartnäckigsten Paradoxa der Quantenmechanik. Die Idee, dass Messungen an verschränkten Teilchen, unabhängig von ihrer räumlichen Trennung, instantan korrelierte Ergebnisse liefern, scheint der Relativitätstheorie zu widersprechen, die keine überlichtschnelle Informationsübertragung erlaubt.

Die Zeit-Masse-Dualitätstheorie bietet einen eleganten Lösungsansatz für dieses Paradoxon:

- In der konventionellen Betrachtung erscheinen Quantenkorrelationen als instantan, weil wir Zeit als universellen, konstanten Parameter betrachten.
- Im Rahmen der Zeit-Masse-Dualität mit variabler Masse wird jedoch erkennbar, dass die masseabhängige intrinsische Zeit $T = \hbar/mc^2$ eine fundamentalere Zeitskala darstellt als die externe Laborzeit.
- Die Korrelationen erfolgen nicht instantan in der intrinsischen Zeit des Systems, sondern folgen einer Dynamik, die durch die modifizierte Schrödinger-Gleichung

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial(t/T)} \Psi = \hat{H} \Psi \quad (27)$$

beschrieben wird.

Diese Reformulierung löst das Paradoxon auf natürliche Weise: Was als instantane Wirkung in der Laborzeit erscheint, ist tatsächlich ein Prozess, der in der intrinsischen Zeit des Quantensystems abläuft, wobei die variable Masse als verborgene Variable fungiert [17]. Die modifizierte Lagrange-Dichte

$$\mathcal{L}_{\text{intrinsisch}} = \bar{\psi} \left(i\hbar\gamma^0 \frac{\partial}{\partial(t/T)} - i\hbar\gamma^0 \frac{\partial}{\partial t} \right) \psi \quad (28)$$

erfasst formal die Diskrepanz zwischen der Zeitentwicklung in der absoluten Zeit und der masseabhängigen intrinsischen Zeit.

8 Was wir wissen und was fehlt

8.1 Was wir wissen: Die gesicherten Erkenntnisse

- **Nichtlokalität ist real:** Bell-Experimente zeigen, dass verschränkte Teilchen Korrelationen aufweisen, die sich nicht durch lokale verborgene Variablen erklären lassen [10].
- **Keine klassische Kommunikation:** Die Korrelationen entstehen, ohne dass Energie oder Information zwischen den Teilchen ausgetauscht wird [8].
- **Schlupflöcher sind geschlossen:** Experimente wie Delft (2015) [10], Micius (2017) [23] und der BIG Bell Test (2018) [4] schlossen Lokalitäts-, Nachweis- und Freiheitsgrad-Schlupflöcher.

8.2 Was fehlt: Die offene Frage der Zeitmessung

Trotz aller Fortschritte bleibt die **Zeitlichkeit der Korrelationen** ungeklärt:

- **Korrelation \neq Kausalität:** Die Experimente messen *statistische Übereinstimmungen*, nicht die *kausale Geschwindigkeit* eines physikalischen Mechanismus [19].
- **Relativität der Gleichzeitigkeit:** Die Idee einer 'absoluten Instantaneität' ist relativistisch problematisch [12].
- **Technische Limitationen:** Um die 'Geschwindigkeit' der Korrelationen zu messen, müsste man den exakten Zeitpunkt des Zustandskollapses beider Teilchen mit enormer Präzision bestimmen.

Die Zeit-Masse-Dualitätstheorie bietet hier einen vielversprechenden Ansatz: Wenn die intrinsische Zeit T die fundamentale Zeitskala ist, könnten die scheinbar instantanen Korrelationen als Ausdruck einer gemeinsamen intrinsischen Zeitentwicklung verstanden werden [17].

Eine der zentralen Vorhersagen dieser Theorie ist, dass die Kohärenzzeiten τ verschiedener Teilchen in einem bestimmten Verhältnis zu ihren Massen stehen sollten:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad (29)$$

Dies würde die modifizierte Dispersionsrelation $\omega_T^2 = k^2 + (m^2 c^4 / \hbar^2) \cdot T^2$ direkt mit dem Korrelationsverhalten verknüpfen und bietet einen experimentell überprüfbaren Zugang zur Natur der Quantenzeit.

8.3 Warum das wichtig ist: Die konzeptionelle Lücke

- **Interpretationen der Quantenmechanik:**

- Die **Kopenhagener Deutung** beschreibt den Kollaps als instantan, aber nicht als physikalischen Prozess [18].
- Die **Bohm'sche Mechanik** postuliert eine nichtlokale Führungswelle – doch ihre 'Geschwindigkeit' ist nicht messbar [5].
- Die **Viele-Welten-Interpretation** vermeidet den Kollaps komplett [20].

Ohne direkte Zeitmessung bleiben diese Deutungen metaphysische Spekulationen. Die Feldtheorie bietet dagegen ein physikalisch interpretiertes Modell, das auf der Zeitableitung $\partial_{t/T} = T(\partial/\partial t)$ basiert und die Quanten-Zeit direkt mit der Masse verknüpft [17].

8.4 Mögliche Lösungsansätze

Um die 'echte Zeitmessung' zu realisieren, bräuchte es:

1. **Verschränkte Quantenuhren:** Uhren, deren Zeitmessung durch Verschränkung korreliert ist [11].
2. **Kosmische Bell-Tests:** Nutzung von Licht aus Quasaren zur Erweiterung der Zeitachse der Korrelationen [9].
3. **Quanten-Netzwerke mit Satelliten:** Experimente über interkontinentale Entfernungen, kombiniert mit optischen Uhren [23].

Diese Experimente könnten auch die vorhergesagten Effekte der Zeit-Masse-Dualitätstheorie direkt testen, darunter:

- Die modifizierte Energie-Impuls-Beziehung: $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 + \alpha \hbar c/T$
- Der Photonen-Energieverlust: $E(r) = E_0 e^{-\alpha r}$ mit $\alpha = \frac{H_0}{c}$
- Das modifizierte Gravitationspotential: $\Phi(r) = -\frac{GM}{r} + \kappa r$
- Die nichtlinearen Higgs-Kopplungen: $g_H \propto m \left(1 + \delta \cdot \ln\left(\frac{m}{m_0}\right)\right)$

Insbesondere der Absorptionskoeffizient $\alpha = \frac{H_0}{c} \approx 2.3 \times 10^{-28} \text{ m}^{-1}$ und die Gravitationsmodifikation $\kappa \approx 4.8 \times 10^{-7} \text{ GeV/cm} \cdot \text{s}^{-2}$ könnten in kosmologischen Beobachtungen nachweisbare Signaturen hinterlassen [17].

9 Schlussbemerkungen

9.1 Quantenmechanik als Werkzeug

Die Quantenmechanik hat sich als unglaublich präzises und nützliches mathematisches Werkzeug erwiesen, um Vorhersagen über Experimente zu treffen [6]. Sie beschreibt erfolgreich, wie sich Quantenobjekte verhalten, ohne notwendigerweise die 'wirkliche Natur' dieser Objekte zu offenbaren.

9.2 Feldtheorie als realistischeres Modell

Feldtheorien, wie sie in der Elektrodynamik und Quantenfeldtheorie verwendet werden, könnten der Realität näher kommen, da sie die Welt als Kontinuum beschreiben, das überall präsent ist [22]. Dies harmonisiert besser mit der Vorstellung, dass Wellenfelder grundlegender sind als Teilchen.

9.3 Das Higgs-Vakuum als aktiver Quantenhintergrund

Eine besonders wichtige Erweiterung unseres Verständnisses liefert die Betrachtung des Higgs-Vakuums als aktiver Quantenhintergrund. Im Standardmodell erzeugt das Higgs-Feld durch spontane Symmetriebrechung einen Vakuumerwartungswert

$$\langle \Phi \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ v \end{pmatrix} \quad (30)$$

der überall im Raum präsent ist. In der Zeit-Masse-Dualitätstheorie erhält dieses allgegenwärtige Feld eine zusätzliche Bedeutung: Es definiert nicht nur die Massen aller Elementarteilchen, sondern auch deren intrinsische Zeitskalen gemäß

$$T_0 = \frac{\hbar}{m_0 c^2} = \frac{\hbar \sqrt{2}}{y_f v c^2} \quad (31)$$

Diese doppelte Rolle des Higgs-Feldes als Massengenerator und Zeitskalen-Mediator bietet einen eleganten Mechanismus, um die scheinbaren Paradoxa der Quantenkorrelationen zu verstehen. Die intrinsische Higgs-Zeit-Beziehung impliziert, dass Korrelationen zwischen Teilchen keine mysteriöse Fernwirkung erfordern, sondern als natürliche Eigenschaft eines fundamentalen Feldes entstehen, das sowohl Masse als auch Zeit vermittelt [17].

9.4 Diese Sichtweise löst mehrere scheinbare Paradoxa

- **Die 'spukhafte Fernwirkung' wird natürlich erklärbar:**
 - Das Feld ist überall präsent
 - Änderungen sind Eigenschaften des Gesamtfelds
 - Keine echte 'Fernwirkung' nötig
- **Die Vereinbarkeit mit der Relativitätstheorie:**
 - Keine Informationsübertragung im klassischen Sinn
 - Das Feld selbst respektiert relativistische Grenzen
 - Korrelationen sind Feldeigenschaften

9.5 Verbindung zur Zeit-Masse-Dualitätstheorie

Die hier präsentierte Feldtheorie ergänzt die Zeit-Masse-Dualitätstheorie in idealer Weise [17]:

- Beide betrachten das fundamentale Feld als primäre Realität

- Die intrinsische Zeit $T = \hbar/mc^2$ liefert die natürliche Zeitskala für die Feldkorrelationen
- Die Feldknotenstruktur erklärt sowohl Teilcheneigenschaften als auch Verschränkungsphänomene
- Die modifizierten Feldgleichungen bieten einen mathematischen Rahmen für die beschriebenen Phänomene

Die modifizierte Lagrange-Dichte für das Higgs-Feld in der Zeit-Masse-Dualitätstheorie:

$$\mathcal{L}_{\text{Higgs-T}} = (D_{T\mu}\Phi_T)^\dagger (D_T^\mu\Phi_T) - V_T(\Phi_T) \quad (32)$$

und die modifizierte Yukawa-Kopplung:

$$\mathcal{L}_{\text{Yukawa-T}} = -y_f \bar{\psi}_L \Phi_T \psi_R \cdot \gamma + \text{h.c.} \quad (33)$$

liefern einen formalen Rahmen, um Quantenkorrelationen und ihre scheinbare Instantanität als Eigenschaften des fundamentalen Feldes zu verstehen. Die intrinsische Zeit-Higgs-Beziehung $T_0 = \frac{\hbar\sqrt{2}}{y_f v c^2}$ verbindet dabei den Higgs-Mechanismus direkt mit der Zeitstruktur des Feldes.

Zusammen bieten diese Theorien einen konzeptionellen Rahmen, der Quantenphänomene natürlicher erscheinen lässt und die scheinbaren Paradoxa der Quantenmechanik in ein umfassenderes Verständnis der Realität einbettet.

Die modifizierte Energiedichte und die daraus resultierende modifizierte Energie-Impuls-Beziehung $E^2 = (pc)^2 + (mc^2)^2 + \alpha \hbar c / T$ könnten experimentell überprüfbare Konsequenzen haben, insbesondere im Bereich der Quantengravitation und bei kosmologischen Beobachtungen. Besonders relevant ist der vorhergesagte Photonen-Energieverlust $E(r) = E_0 e^{-\alpha r}$ mit $\alpha = \frac{H_0}{c}$, der möglicherweise die beobachtete kosmische Rotverschiebung neu interpretieren könnte [17].

10 Fazit

Die Bell-Experimente haben die **Nichtlokalität** der Quantenwelt bewiesen – aber sie haben nicht gezeigt, dass diese Korrelationen 'instantan' oder 'schneller als Licht' sind [19].

- **Was fehlt:** Eine experimentelle Methode, um den *kausalen Zeitverlauf* der Quantenkorrelationen zu messen, frei von Interpretationsspielraum.
- **Was bleibt:** Die Quantenmechanik zwingt uns, klassische Vorstellungen von Zeit und Kausalität aufzugeben. Bis eine 'echte Zeitmessung' gelingt, bleibt die Frage nach der **Natur der Quantenzeit** eines der größten Rätsel der Physik.

„Die Zeit ist das, was man an der Uhr abliest“ – Albert Einstein.

In der Quantenwelt gibt es jedoch keine Uhr, die den Kollaps der Verschränkung misst.

Die Zeit-Masse-Dualitätstheorie könnte diese Lücke schließen, indem sie die intrinsische Zeit T als fundamentale Größe betrachtet, die direkt mit der Struktur des Quantenfeldes und seinen Korrelationen verknüpft ist [17]. Insbesondere bietet die Higgs-vermittelte intrinsische Zeit

$$T_0 = \frac{\hbar\sqrt{2}}{y_f v c^2} \quad (34)$$

eine natürliche Zeitskala für jedes Elementarteilchen, die seine Kohärenzzeit und Korrelationseigenschaften bestimmt. Dies könnte die Brücke zwischen der scheinbaren Instantanität der Quantenkorrelationen und der relativistischen Kausalitätsstruktur unserer Welt schlagen.

Literatur

- [1] Aitchison, I. J. R. (2004). *An informal introduction to gauge field theories*. Cambridge University Press.
- [2] Aspect, A., Grangier, P., & Roger, G. (1982). Experimental realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A new violation of Bell's inequalities. *Physical Review Letters*, 49(2), 91-94.
- [3] Bell, J. S. (1964). On the Einstein Podolsky Rosen paradox. *Physics Physique Fizika*, 1(3), 195-200.
- [4] BIG Bell Test Collaboration. (2018). Challenging local realism with human choices. *Nature*, 557(7704), 212-216.
- [5] Bohm, D. (1980). *Wholeness and the Implicate Order*. Routledge.
- [6] Feynman, R. P. (1965). *The Character of Physical Law*. MIT Press.
- [7] Fox, M. (2006). *Quantum Optics: An Introduction*. Oxford University Press.
- [8] Giustina, M., Versteegh, M. A., Wengerowsky, S., Handsteiner, J., Hochrainer, A., Phelan, K., ... & Zeilinger, A. (2015). Significant-loophole-free test of Bell's theorem with entangled photons. *Physical Review Letters*, 115(25), 250401.
- [9] Handsteiner, J., Friedman, A. S., Rauch, D., Gallicchio, J., Liu, B., Hosp, H., ... & Zeilinger, A. (2017). Cosmic Bell test: measurement settings from Milky Way stars. *Physical Review Letters*, 118(6), 060401.
- [10] Hensen, B., Bernien, H., Dréau, A. E., Reiserer, A., Kalb, N., Blok, M. S., ... & Hanson, R. (2015). Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres. *Nature*, 526(7575), 682-686.
- [11] Jozsa, R., Abrams, D. S., Dowling, J. P., & Williams, C. P. (2000). Quantum clock synchronization based on shared prior entanglement. *Physical Review Letters*, 85(9), 2010-2013.
- [12] Maudlin, T. (2011). *Quantum Non-Localilty and Relativity: Metaphysical Intimations of Modern Physics*. John Wiley & Sons.
- [13] Milonni, P. W. (1994). *The Quantum Vacuum: An Introduction to Quantum Electrodynamics*. Academic Press.
- [14] Pascher, J. (2024). *Zeit-Masse-Dualität: Ein neuer Ansatz zur Vereinheitlichung fundamentaler Kräfte*.
- [15] Pascher, J. (2024). *Mathematische Formulierung des Higgs-Mechanismus in der Zeit-Masse-Dualität*.

- [16] Pascher, J. (2024). *Die Notwendigkeit einer Erweiterung der Standard-Quantenmechanik und Quantenfeldtheorie.*
- [17] Pascher, J. (2024). *Zeit-Masse-Dualität: Ein neuer Ansatz zur Vereinheitlichung fundamentaler Kräfte.* In diesem Aufsatz wird die grundlegende Beziehung zwischen intrinsischer Zeit und Masse hergeleitet.
- [18] Schlosshauer, M. (2013). *Elegance and Enigma: The Quantum Interviews.* Springer.
- [19] Shimony, A. (2017). Bell's theorem. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2017 Edition), Edward N. Zalta (ed.).
- [20] Wallace, D. (2012). *The Emergent Multiverse: Quantum Theory according to the Everett Interpretation.* Oxford University Press.
- [21] Weinberg, S. (1995). *The Quantum Theory of Fields, Volume 1: Foundations.* Cambridge University Press.
- [22] Wilczek, F. (2008). *The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces.* Basic Books.
- [23] Yin, J., Cao, Y., Li, Y. H., Liao, S. K., Zhang, L., Ren, J. G., ... & Pan, J. W. (2017). Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers. *Science*, 356(6343), 1140-1144.
- [24] Zeilinger, A. (2010). *Dance of the Photons: From Einstein to Quantum Teleportation.* Farrar, Straus and Giroux.