**Quantengravitation**

**Die Quantengravitation ist eine vereinheitlichte Theorie der** [**Quantenphysik**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/quantenmechanik/) **mit der** [**allgemeinen Relativitätstheorie**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/relativit%C3%A4tstheorie/allgemeine-relativit%C3%A4tstheorie/). Allgemein ist die allgemeine Relativitätstheorie bei größeren Strukturen, Massen und Beschleunigungen praktikabel. Indessen beschreibt die Quantenmechanik generell die Natur im Kleinen. In gewissem Sinne **fasst die Quantengravitation damit den Mikro- und den Makrokosmos in einem einheitlichen Theoriengebäude zusammen**. **Drei der vier** [**Grundkräfte**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/grundkr%C3%A4fte/)**konnten bereits theoretisch auf quantenmechanischer Ebene**[**erfolgreich vereinheitlicht werden**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/gut-theorie/). **Für die Gravitation haben wir bislang aber nur die allgemeine Relativitätstheorie, eine makroskopische Beschreibung**. **Und da die Quantentheorie in der Physik als die grundlegende, allgemeingültige Naturbeschreibung angesehen wird, versucht man mit der Formulierung einer Quantengravitationstheorie auch noch die letzte Grundkraft quantenphysikalisch zu beschreiben**.

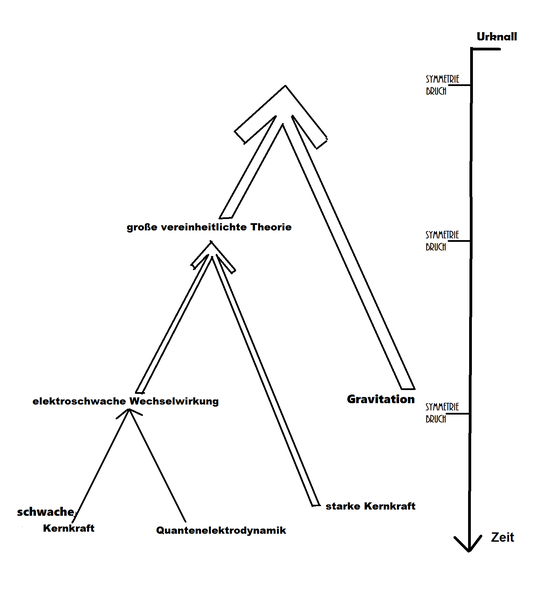
# **Quantenmechanik + Gravitationstheorie =** **Quantengravitation**.

**Ungefähr bis zu 10-43 Sekunden nach dem**[**Urknall**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/astronomie/urknall/)**waren noch alle**[**vier Grundkräfte**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/grundkr%C3%A4fte/)**identisch**. Doch infolge der unheimlich schnellen Expansion der [Raumzeit](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/relativit%C3%A4tstheorie/raumzeit/" \t ") während der kosmischen Evolution nahmen daraufhin Dichte und Temperatur des [Universums](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/astronomie/universum/) rasant ab. **Deshalb spaltete sich die**[**Gravitation**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/relativit%C3%A4tstheorie/allgemeine-relativit%C3%A4tstheorie/)**als eigenständige Kraft von den anderen drei ab, denn unter einer enorm hohen Temperatur folgt diese anderen Kraftgesetzen. Man spricht hier wieder von einem Symmetriebruch**.

**1. Aussichten**

Albert Einstein forschte dreißig Jahre lang an einer einheitlichen Theorie von Elektromagnetismus und allgemeiner Relativitätstheorie. Deshalb schreibt man ihm das Verdienst zu die Suche nach einer vereinheitlichten Theorie begründet zu haben. Seitdem haben sich viele weitere Physiker dieser Thematik gewidmet und es wurden große Fortschritte auf diesem Gebiet erzielt. **Doch auch heute gibt es keine finale Quantengravitationstheorie, jedoch aber vielversprechende Lösungsansätze**. **Kandidaten für eine Quantenversion der Gravitation gibt es mittlerweile mehrere: Asymptotische Sicherheit, deformierte spezielle Relativitätstheorie, dynamische Triangulation, modifizierte Newtonsche Dynanik, Quantengeometrodynamik, Twister-Theorie und viele mehr. Als die beiden vielversprechendsten Anwärter auf eine richtige Quantengravitationstheorie gelten jedoch die [Stringtheorie](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/stringtheorie/" \t ") und die**[**Quantenschleifengravitation**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/loop-quantengravitation/). Beide Konzepte werden im Anschluss an diesem, in den folgenden Aufsätzen dieser Reihe näher vorgestellt.

Trotz erheblichen Fortschrittes in den letzten Jahren wissen wir bis heute nicht einmal, welche Grundmerkmale die konsistente Quantengravitationstheorie aufweisen wird. Deshalb ist es ratsam auch interdisziplinäre Theorien mindestens anhand der Kriterien Erklärungs- und Prognosepotential zu bewerten und zu verfolgen. Es könnte natürlich auch sein, dass sich die Gesetze der Sternenhaufen nie mit denen der Elektronen in Einklang bringen lassen. Dies ist jedoch für Physiker eine recht unbefriedigende Antwort und es gibt auch keinen diskreten Grund für eine derartige Sonderstellung der Gravitation. Außerdem gibt es Ereignisse im Universum, für deren Beschreibung eine Quantengravitationstheorie unabdingbar ist:



**2. Notwendigkeit**

Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Gravitation mithilfe geometrischer Methoden, sie ist dynamisch. Raumzeit und Gravitation hängen also nach ihr untrennbar miteinander zusammen, weswegen eine Quantentheorie der Gravitation auch gleichzeitig die Raumzeit mit einbeziehen muss. **Bei bisherigen Quantenfeldtheorien betrachteten die Physiker die Raumzeit noch als eine Art starren Hintergrund. Eine Quantengravitationstheorie aber muss logischerweise hintergrundunabhängig sein. Wohlmöglich auch eine Quantelung von Raum und Zeit selbst, was die Forscher gegenwärtig vor großen Herausforderungen stellt**.

Abgesehen von den unterschiedlichen theoretisch-philosophischen Konsequenzen **ist die Frage nach der richtigen Deskription der Quantengravitation auch von praktischem Belang**. Richard Feynman machte dies 1967 auf der Chapel-Hill-Konferenz mit einem Gedankenexperiment in Anlehnung an den berühmten Stern-Gerlach-Versuch deutlich. Kurz zusammengefasst brachte er eine Variante von [Schrödingers Katze](javascript:void(0);" \t ") vor, in Anwendung auf die Gravitation. Doch man muss sich nicht einmal Katzen oder rotierende Elektronen vorstellen, es genügt ein Blick in den Sternenhimmel, um sich der Notwendigkeit einer Quantengravitationstheorie zur einheitlichen Naturbeschreibung zu vergewissern. Zwei Überschneidungen von Quantenmechanik und Gravitation sind die folgenden.

2.1. [Urknall](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/astronomie/urknall/)

Wie gesagt verlangt der Urknall selbst und eine sehr kurze Zeit danach einer Quantengravitationsbeschreibung. In diesen unmittelbaren Augenblicken hatte das Universum eine Größe von ungefähr einer Planck-Länge, etwa 1,6 \* 10-35m, was die Anwendung der Quantenmechanik verlangt. Und eine enorm hohe Dichte, etwa 1071 t/cm3, was den Einbezug der allgemeinen Relativitätstheorie unabdingbar macht. **Der Urknall an sich beansprucht gar eine formal unendliche Raumzeitkrümmung, eine sogenannte Singularität**. Wobei der Urknall nur dem sehr frühen Zustand des Universums entspricht, was damals genau passierte, wissen wir nicht. **Die unendlichen Zahlen alarmieren uns aber, dass die ihr zugrunde liegenden Theorien unvollständig sein müssen bzw. hier ihre Gültigkeitsgrenzen überschritten werden**. Und um dieser unglaublich wichtigen Frage für die Physik überhaupt näher auf den Pelz rücken zu können und unsere kosmologischen Modelle hinzu noch früheren Zeitpunkten zu extrapolieren, brauchen wir folglich eine Quantengravitationstheorie.

2.2. [Schwarzes Loch](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/astronomie/schwarzes-loch/)

**Innerhalb Schwarzer Löcher herrschen ähnliche Bedingen wie beim Urknall. Auch hier findet sich ein relativ kleiner Punkt mit außerordentlich viel Masse**. Kein Wunder, ist dieses Gebilde von Schwarzem Loch ja einst unter seiner eigenen Masse kollabiert. Seither wissen wir nichts über sie, bis auf Masse, elektrische Ladung und Eigendrehimpuls. Man sagt in diesem Zusammenhang auch *„Schwarze Löcher haben keine Haare.“* Deshalb braucht man auch hier eine Quanteninterpretation des beträchtlichen Gravitationsfeldes. Und auch wieder brechen die Gleichungen der beiden Theorien, dergestalt kombiniert in unendliche Höhen, entstehen Singularitäten, was sie als unbrauchbar erweist. Schlussendlich trifft man somit wieder auf eine der, wenn nicht die größte Frage der Physik im 21. Jahrhundert. Deren Antwort, eine harmonische Vereinigung der Quantentheorie mit der Gravitation, würde uns erst erklären, was innerhalb eines Schwarzen Loches vor sich geht. Damit die Schwarzen Löcher Haare bekommen.

# **Quantenkosmologie**.

**3. Schwierigkeiten**

Der Einbezug der ART im Umgang mit Objekten von der Größenordnungen der Planckskala führt in der modernen Physik zu den hartnäckigsten Komplikationen seit Jahrzehnten. Da wären zum einen Mal die **Renormierungen**, die man, um sinnvoll mit den Zahlen operieren zu können, zwar braucht, sich aber nirgendher zwingend ergeben. **Es sind vorerst nur mathematische Tricks ohne praktischen oder logischen Bezug, die zugegeben äußerst erfolgreich sind**. Wenn sie hinhauen, nennt man eine Theorie renormierbar. Eine elegante Lösung für dieses Problem wäre die Supersymmetrie, nach der aber auch schon lange vergebens gesucht wird. Die vielleicht gravierendsten aller Probleme bringt die **[Heisenbergsche Unschärferelation](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/quantenmechanik/heisenbergsche-unsch%C3%A4rferelation/" \t ")** mit sich. Beispielsweise hätten ultramikroskopisch kleine Objekte nach ihr so viel Masse und Energie, dass diese zu einem Mini-Schwarzen-Loch kollabieren müssten. Tun sie jedoch augenscheinlich nicht. Ein eher praktisches Problem sind die **Postulate der führenden Quantengravitationstheorien. Für gewöhnlich sind diese so klein, dass sie sich gänzlich zeitlich absehbaren,** **direkt-empirischen Falsifikationsmöglichkeiten** entziehen.

**4. Verweise**

* [**Stringtheorie**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/stringtheorie/): Eine in mancher Hinsicht sehr erfolgreiche Quantengravitationstheorie. Alle Elementarteilchen würden durch eindimensionale Strings repräsentiert werden. Neben den uns vertrauten bedarf es zu ihrer Formulierung zehn, elf oder sechsundzwanzig Extradimensionen.

* [**Schleifenquantengravitation**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/loop-quantengravitation/): Eine weitere, vieldiskutierte Quantengravitationstheorie. Laut ihr sind Raum und Zeit selbst gequantelt.  Neben dieser und der Stringtheorie arbeiten bedeutete Vertreter der Physik wie etwa Roger Penrose an Theorien, in denen beispielsweise die [Wellenfunktion](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/quantenmechanik/wellenfunktion/) kollabiert.

* [**Weltformel**](https://www.philoclopedia.de/einzeldisziplinen/weltformel/weltformel/): Einige Physiker verbinden mit der noch ausstehenden, kompletten Formulierung einer Quantengravitationstheorie die Chance auf eine Theory of Everything. Ich persönliche teile diese Hoffnung nicht.

* [**Warum ist etwas?**](https://www.philoclopedia.de/sonstiges/entwicklung-allen-seins/warum-ist-%C3%BCberhaupt-etwas-und-nicht-vielmehr-nichts/): Wenn die Quantenmechanik den Mikrokosmos richtig erklärt, so brauchen wir eine Quantengravitationstheorie zur Beschreibung der ersten Sekundenbruchteile kurz nach dem Urknall. Einen Anbeginn von allem wird die Physik nach Ansicht des Autors jedoch grundsätzlich nie hinbekommen können. Es sind wissenschaftstheoretische/praktische Gründe, die hierfür sprechen: Die Naturwissenschaften verwenden zur Erklärung von etwas (etwa: Materie, Strahlung, Energie) einen Rahmen an Umständen (etwa: Raum, Naturgesetz, Energieerhaltungssatz). Wenn man nun die Entstehung von etwas aus Umständen formell beschreiben kann, so lässt sich immer noch fragen, woher die Umstände stammen. Die Frage, warum überhaupt etwas ist, wird nur eine Station nach hinten verschoben – man stößt auf das Problem der Letztbegründung.