GEFÖRDERT VOM Bundesministerium für Bildung und Forschung
GEFÖRDERT DURCH DIE Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung

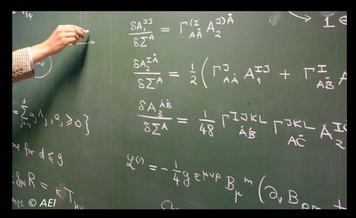
100 Jahre **Allgemeine Relativitätstheorie**

Einstein inside

# Relativitätstheorie + Quantenmechanik = ?

## Die Suche nach einer neuen Physik

Die Allgemeine Relativitätstheorie und die Quantentheorie sind im Rahmen der bekannten physikalischen Gesetze nicht miteinander vereinbar. Um zu verstehen, was im Innern eines Schwarzen Loches oder in den ersten Sekundenbruchteilen nach dem Urknall passiert, brauchen wir eine Theorie, die beides vereint – die also mit sehr großen Massen auf sehr kleinen Abständen umgehen kann. Diese neue Theorie erzwingt wahrscheinlich eine radikale Modifikation herkömmlicher Raum-Zeit-Konzepte bei sehr kleinen Abständen. Am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Potsdam widmet sich die Abteilung Quantengravitation und Vereinheitlichte Theorien der Suche nach einer solchen umfassenden Theorie.




### Der „Heilige Gral der Physik"

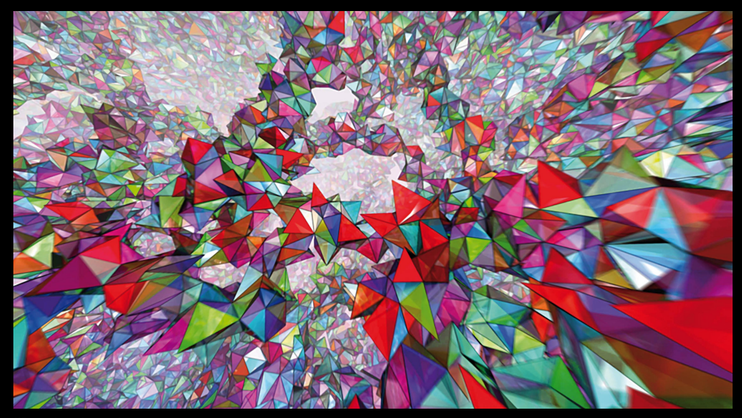
Man kann sich dem Problem entweder ausgehend von der Quantenfeldtheorie oder aufbauend auf der Allgemeinen Relativitätstheorie nähern. Ziel ist es, ein konsistentes Bild aller Wechselwirkungen und Teilchen zu entwickeln, das auch die Gravitation enthält. Während die Stringtheorie eine Weiterentwicklung der Quantentheorie ist, repräsentiert die Schleifen-Quantengravitation einen diametral anderen Ansatz, der ausgehend von einer „Körnigkeit" von Raum und Zeit die Allgemeine Relativitaetstheorie mit der Quantenmechanik „versöhnen" will.

### Quanten von Raum und Zeit

Die Schleifen-Quantengravitation postuliert im Gegensatz zur Relativitätstheorie, dass Raum und Zeit aus kleinsten Teilchen bestehen. Dabei ist die Geometrie wie in Einsteins Theorie keine feste Größe, sondern nimmt am dynamischen Wechselspiel mit der Materie teil. Die Aussagen der Relativitätstheorie werden dabei mit den Methoden der Quantentheorie formuliert, um so zu einer Vereinheitlichung beider Theorien zu gelangen.

### Ein Universum aus schwingenden Fädchen

Die Grundbestandteile der Stringtheorie sind eindimensionale Fäden, englisch „strings". Diese Fäden schwingen wie Saiten einer Geige in einem zehn- oder elfdimensionalen Raum und alle Elementarteilchen lassen sich als Anregungen der Strings erklären. Ein Schwingungszustand der Strings entspricht dabei dem Graviton, dem Trägerteilchen der Gravitation. Damit ist die Stringtheorie ein natürlicher Kandidat für eine Quantentheorie der Gravitation.

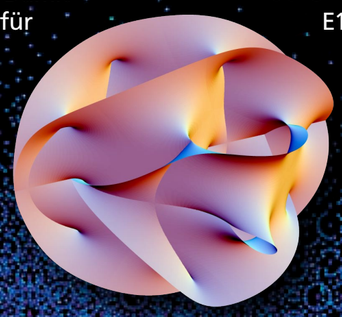


*Künstlerische Impression des gequantelten Raums. (Bild: T. Thiemann/FAU Erlangen, AEI, Milde Marketing Wissenschaftskommunikation)*

### Mit Symmetrie zur Quantengravitation

Sowohl Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie als auch das Standardmodell der Quantenfeldtheorie beruhen auf Symmetrieprinzipien. Aufgrund von Symmetriebetrachtungen wurden aus dem Standardmodell heraus neue Elementarteilchen vorhergesagt.

Ein vielversprechender Ansatz, Gravitation und Elementarteilchenwirkungen zu vereinen, beruht auf einer hochkomplexen mathematischen Struktur, der Symmetrie E10. Das E10-Modell ist zwar noch nicht vollkommen verstanden, fasst aber viele Erkenntnisse zusammen, die Physiker mit der Stringtheorie gewonnen haben. Gleichzeitig öffnet es einen neuen Zugang zum Verständnis von Urknall und Schwarzen Löchern.



***Hoch ästhetisch, aber sehr komplex in der Beschreibung:***
*„Der zweidimensionale Querschnitt einer sechsdimensionalen Calabi-Yau-Mannigfaltigkeit, die auf der Größenskala der Planck-Länge die sechs „versteckten" Dimensionen einer 10-dimensionalen Stringtheorie enthält." (Bild rechts: Prof. Andrew Hanson, University of Indiana/Wikimedia Commons)*

*Großes Motiv: Die unendlichdimensionale E10-Struktur, dargestellt in einer zweidimensionalen Projektion (Bild: T. Nutma/AEI)*

*Was vom Urknall übrig blieb: die Mikrowellenhintergrundstrahlung, beobachtet vom ESA-Satelliten Planck. (Bild: ESA, HFI- und LFI-Konsortien)*

***Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut, AEI) in Potsdam***

*Die Abteilung Quantengravitation und Vereinheitlichte Theorien am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut) in Potsdam verfolgt verschiedene Ansätze zu einer Theorie, die Quantenfeldtheorie und Allgemeine Relativitätstheorie als Grenzfälle enthält, deren mathematischen Widersprüche aber überwindet.*

*Mehr Infos unter: www.aei.mpg.de*
*Dr. Elke Müller (Presse- und Öffentlichkeitsarbeit)*

Design: www.gd90.de