

# Stringtheorie: Auf der Suche nach der Weltformel

Jan Louis

Universität Hamburg



Sylt, Juli 2005

## Physik des 20. Jahrhunderts

Quantentheorie (QT) Planck, Bohr, Heisenberg, ...	Allg. Relativitätstheorie (ART) Einstein
Physik von kleinen Skalen (Mikrokosmos)	Physik von großen Skalen (Makrokosmos)

QT: stellt Frage nach Ursprung und Struktur von Materie

ART: stellt Frage nach der Struktur von Raum und Zeit  
und nach der Geschichte unseres Universums

Quantentheorie (QT) Planck, Bohr, Heisenberg, ...	Allg. Relativitätstheorie (ART) Einstein
Physik von kleinen Skalen (Mikrokosmos)	Physik von großen Skalen (Makrokosmos)

- ⇒ beide Theorien sind experimentell bestätigt
- ⇒ beide Theorien haben mit den Vorstellungen und Gesetzen der klassischen Physik (19. Jahrhundert) grundlegend gebrochen
- ⇒ beide Theorien haben die Welt verändert
  - QT: weltanschaulich und praktisch – Mikroelektronik, IT, ...
  - ART: eher weltanschaulich – GPS

aber:

Bisher keine umfassende Theorie gültig an allen Längenskalen

⇒ keine Quantengravitation (keine Weltformel)

Stringtheorie ist vielversprechender Kandidat für Quantengravitation

## Aufbau der Materie

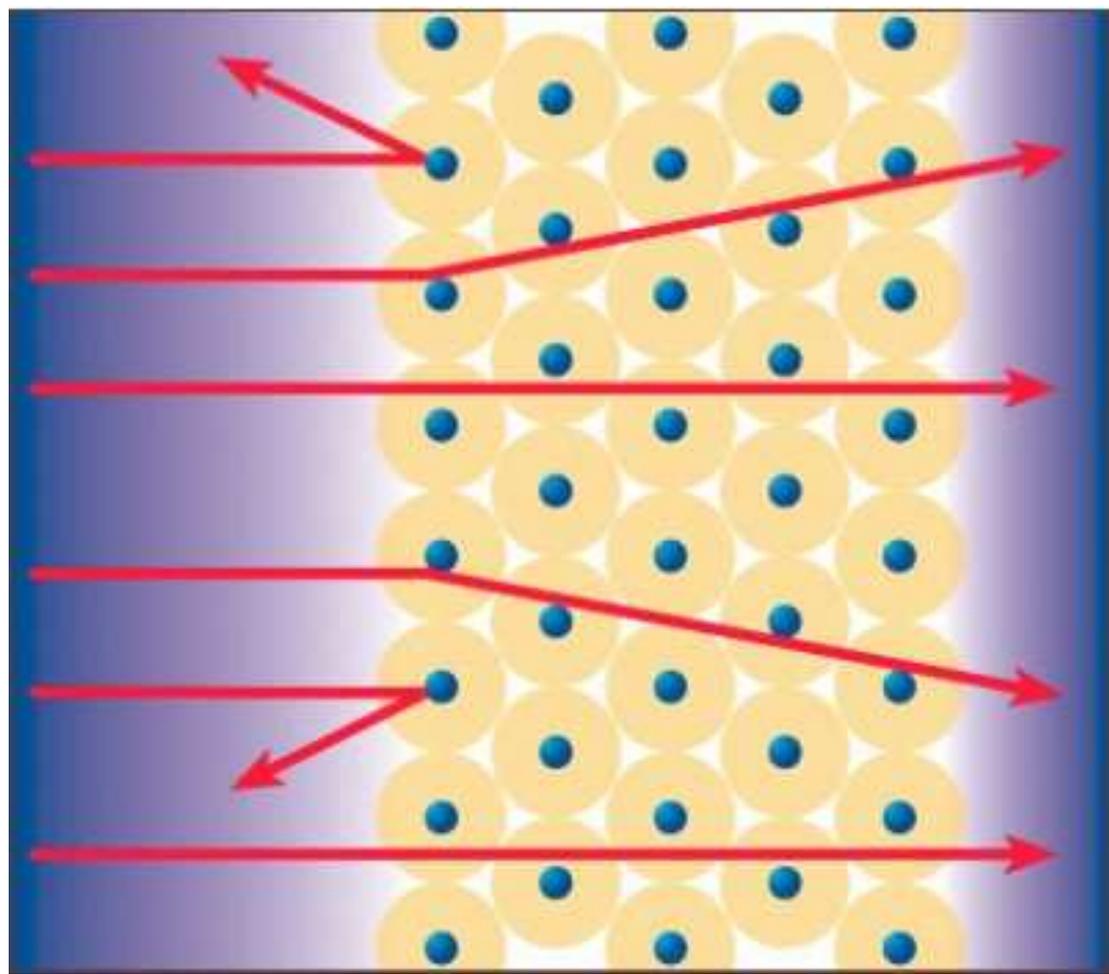
Beginn des 20. Jahrh.: Materie besteht aus Atomen

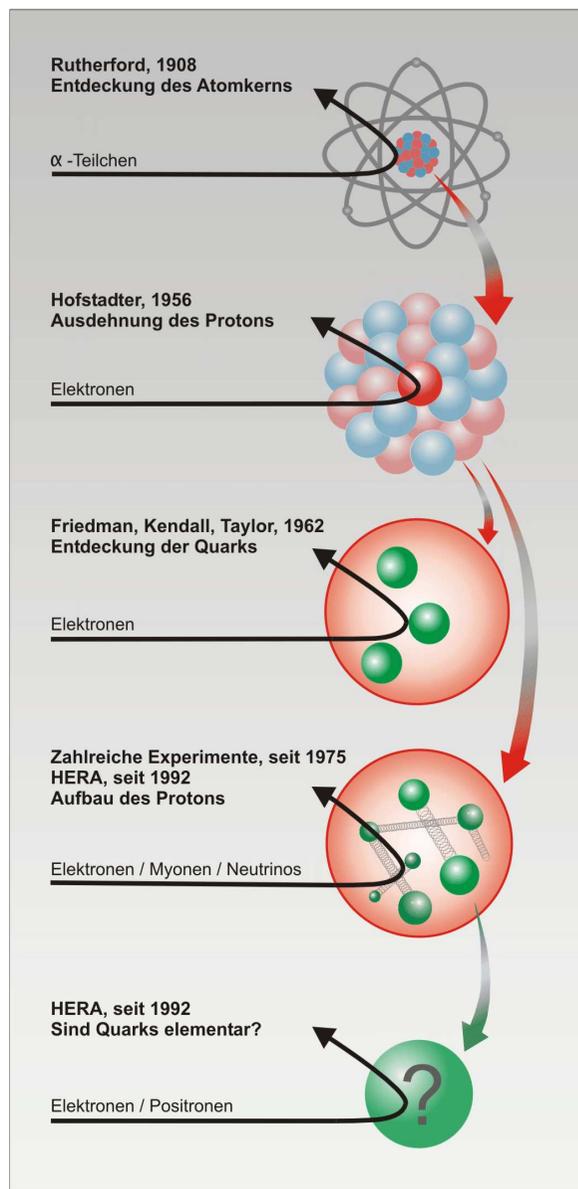
Entwicklung: Untersuchung physikalischer Systeme  
auf immer kleineren Längenskalen

Mikroskop  $\Rightarrow$  Teilchenbeschleuniger

heute: Atome haben komplizierte Substruktur

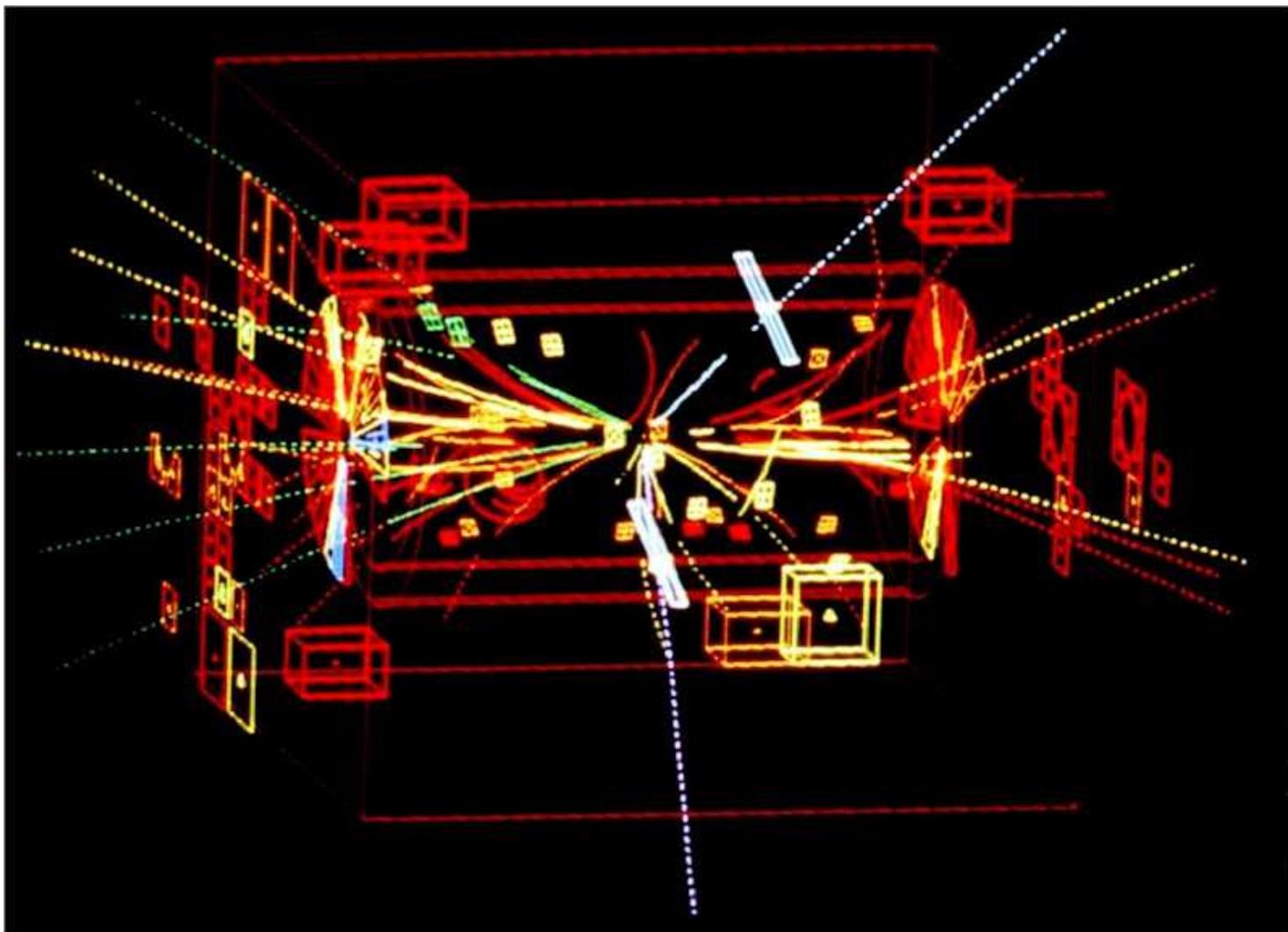
(alle ?) Materie ist aufgebaut aus Quarks & Leptonen

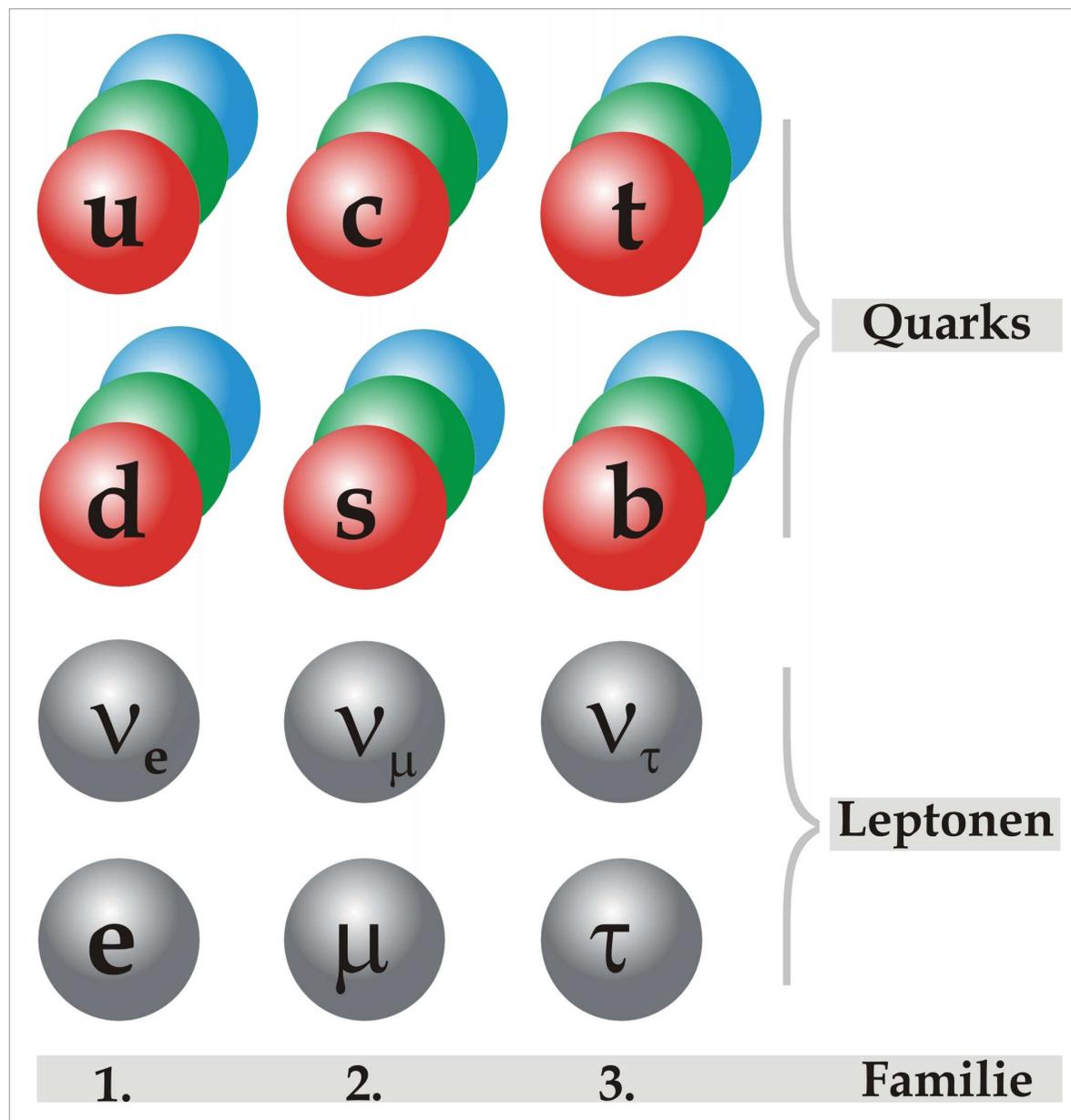












## Quantentheorie

⇒ historischer Ausgangspunkt:

Physikalische Eigenschaften von Atomen können nicht mit klassischer Physik erklärt werden

⇒ Entwicklung der Quantentheorie:

punktförmige Teilchen → lokalisierte Energiequanten

genügen Heisenbergschen Unschärferelation

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$$

$\hbar$ : Plancksche Naturkonstante

⇒ Lokalisierung ( $\Delta x$  klein) benötigt großen Impuls ( $\Delta p$  groß)

## Quantentheorie erklärt:

- Emissionsspektren von Atomen
  - chemische Eigenschaften der verschiedenen Elemente
  - radioaktive Zerfälle
  - Kernphysik
  - Halbleiter
  - ...
- ⇒ moderne Informationstechnologie beruht auf Quantentheorie
- ⇒ Quantentheorie ist theoretische Grundlage der Teilchenphysik

## Problem:

Gravitationswechselwirkung läßt sich nicht widerspruchsfrei berücksichtigen

⇒ keine Quantengravitation

## Gravitationstheorie

### ⇨ Newtonsche Gravitationstheorie:

alle massiven Körper ziehen sich an mit der Kraft

$$F = G_N \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$r$  = Abstand der Massen  $m_1, m_2$

$G_N$  = fundamentale Naturkonstante (Newtons Konstante)

### ⇨ Einsteins Relativitätstheorie

Masse und Energie krümmen den Raum  $\Rightarrow$  Anziehungskraft zwischen Massen

Einstein Gleichungen :

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - \Lambda g_{\mu\nu} = G_N T_{\mu\nu}$$

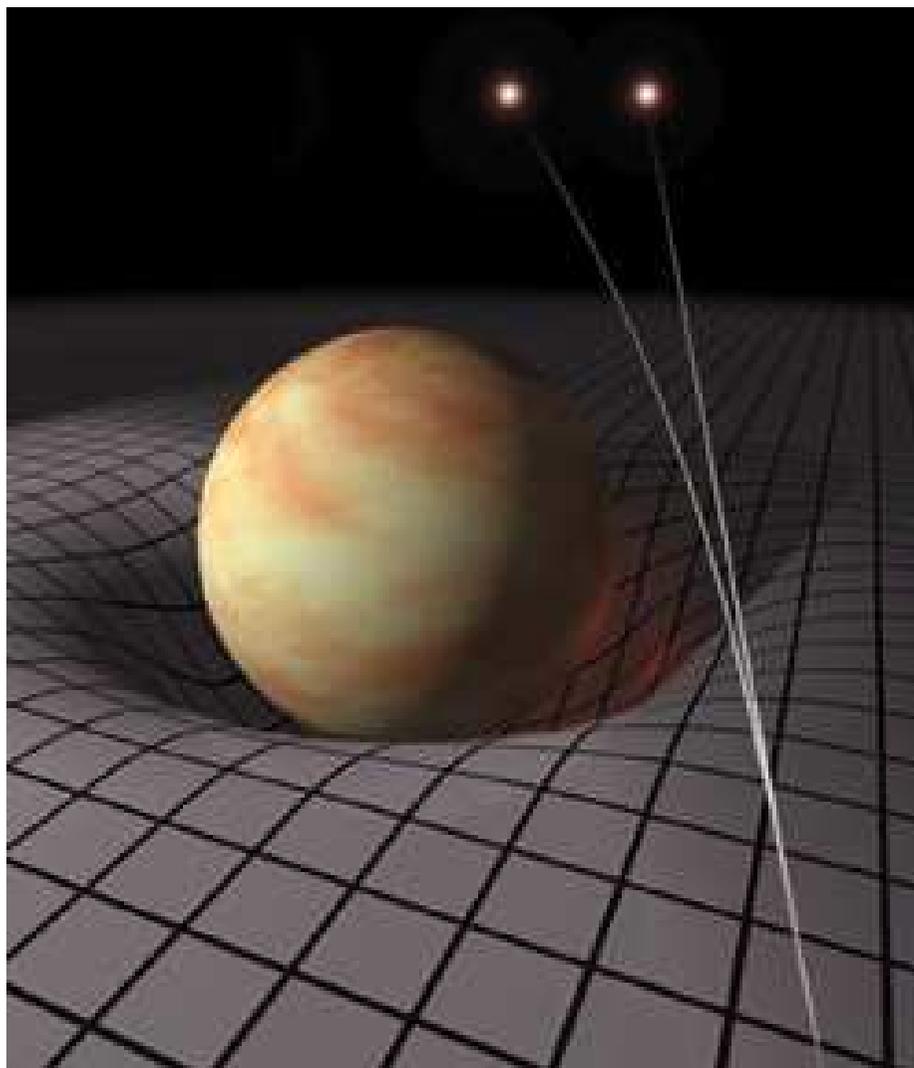
$g_{\mu\nu}$  = metrischer Tensor einer 4-dim. Raum-Zeit = Gravitationsfeld

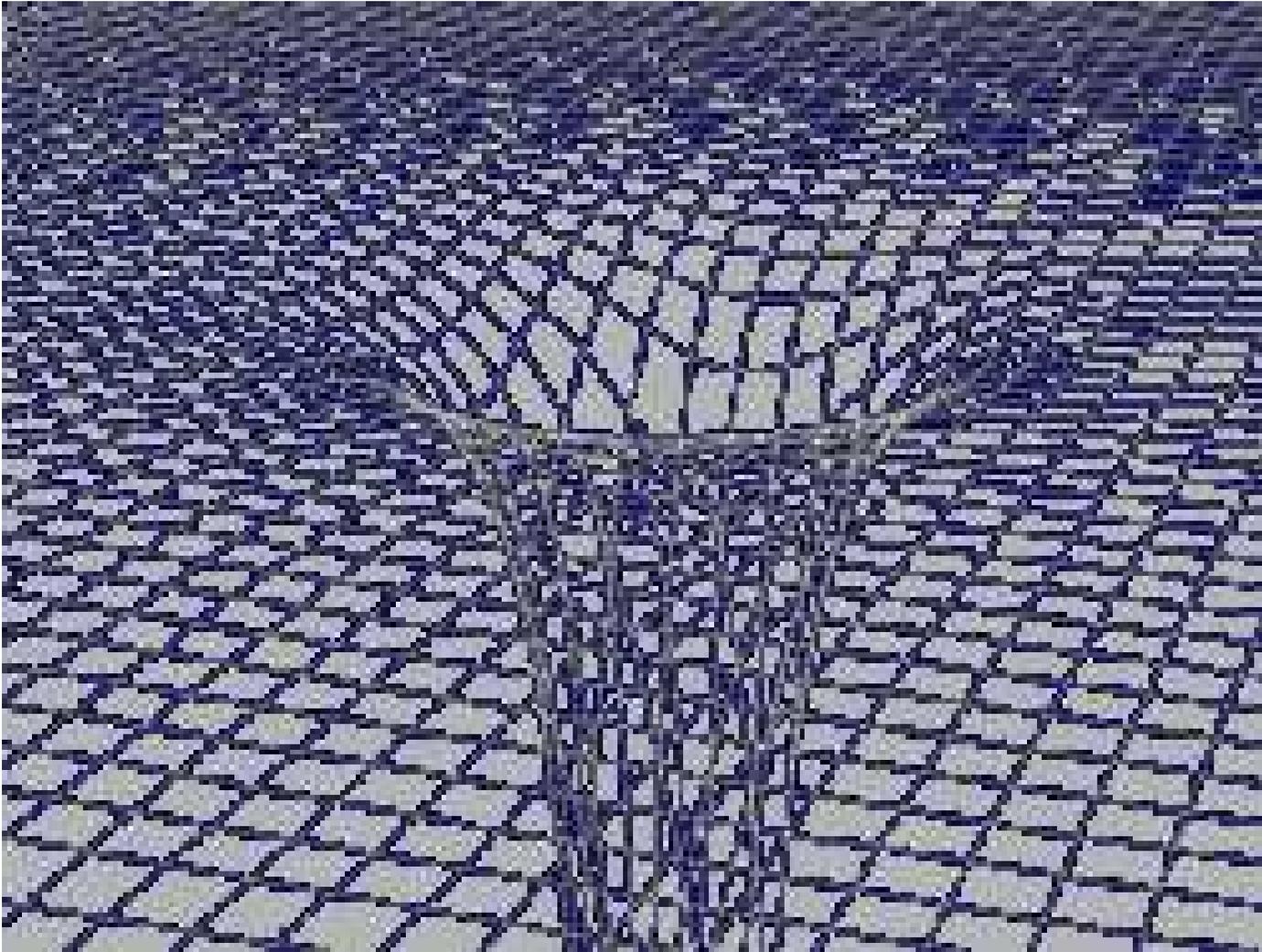
$R_{\mu\nu}$  = Krümmungstensor der Raum-Zeit

$\Lambda$  = Kosmologische Konstante

$T_{\mu\nu}$  = Energie-Impuls-Tensor

$\Rightarrow$  Geometrisierung der Gravitationswechselwirkung





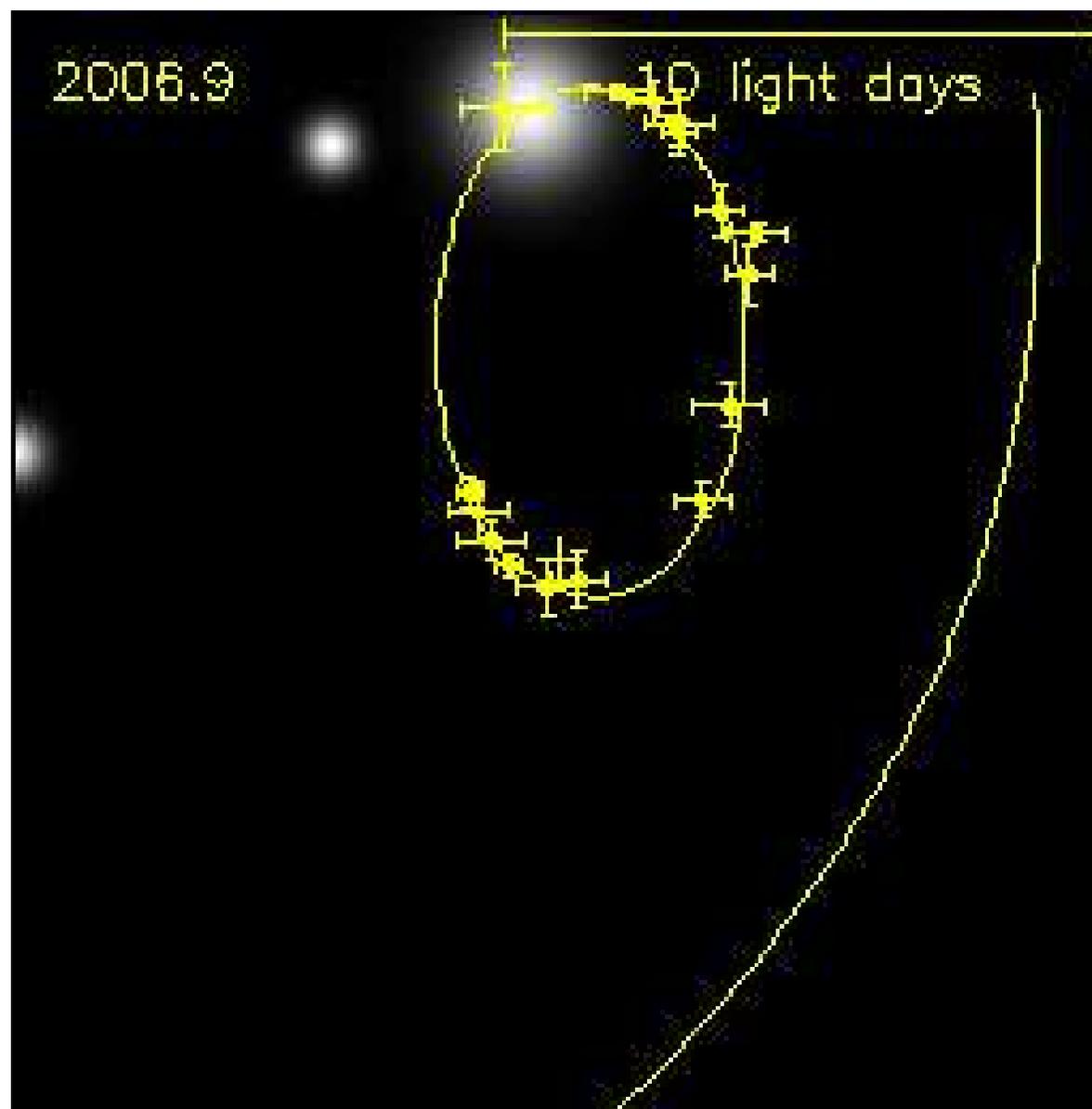
⇨ Einsteins Gravitationstheorie ist vielfach bestätigt

- Korrektur zum Newtonschen Kraftgesetz  $\Rightarrow$  Periheldrehung des Merkur
- Lichtablenkung im Gravitationsfeld
- expandierendes Universum
- Existenz von schwarzen Löcher

⇨ neue experimentelle Ergebnisse

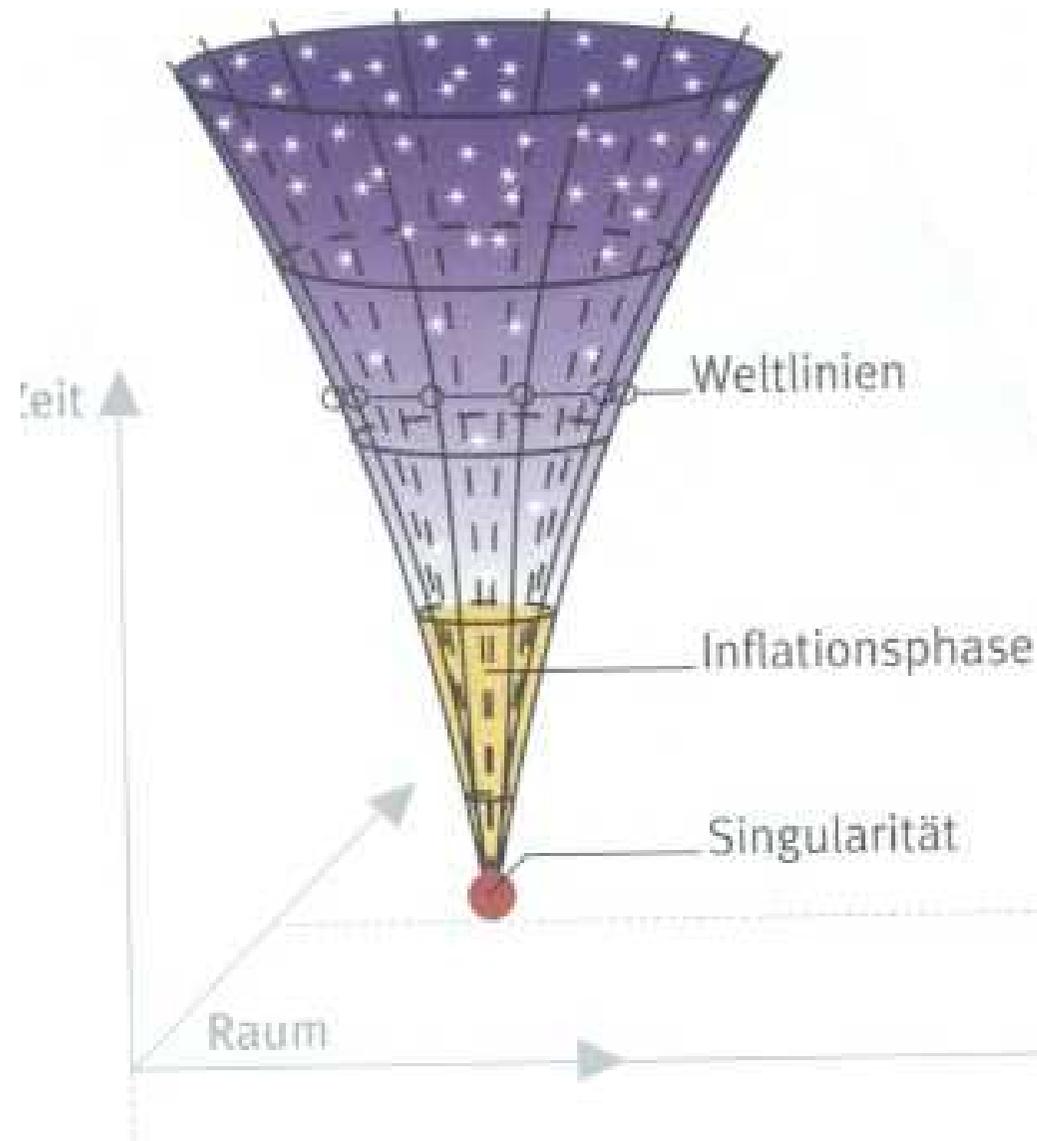
- neue Form von Materie (dunkle Materie)
- neue Form von Energie (dunkle Energie)

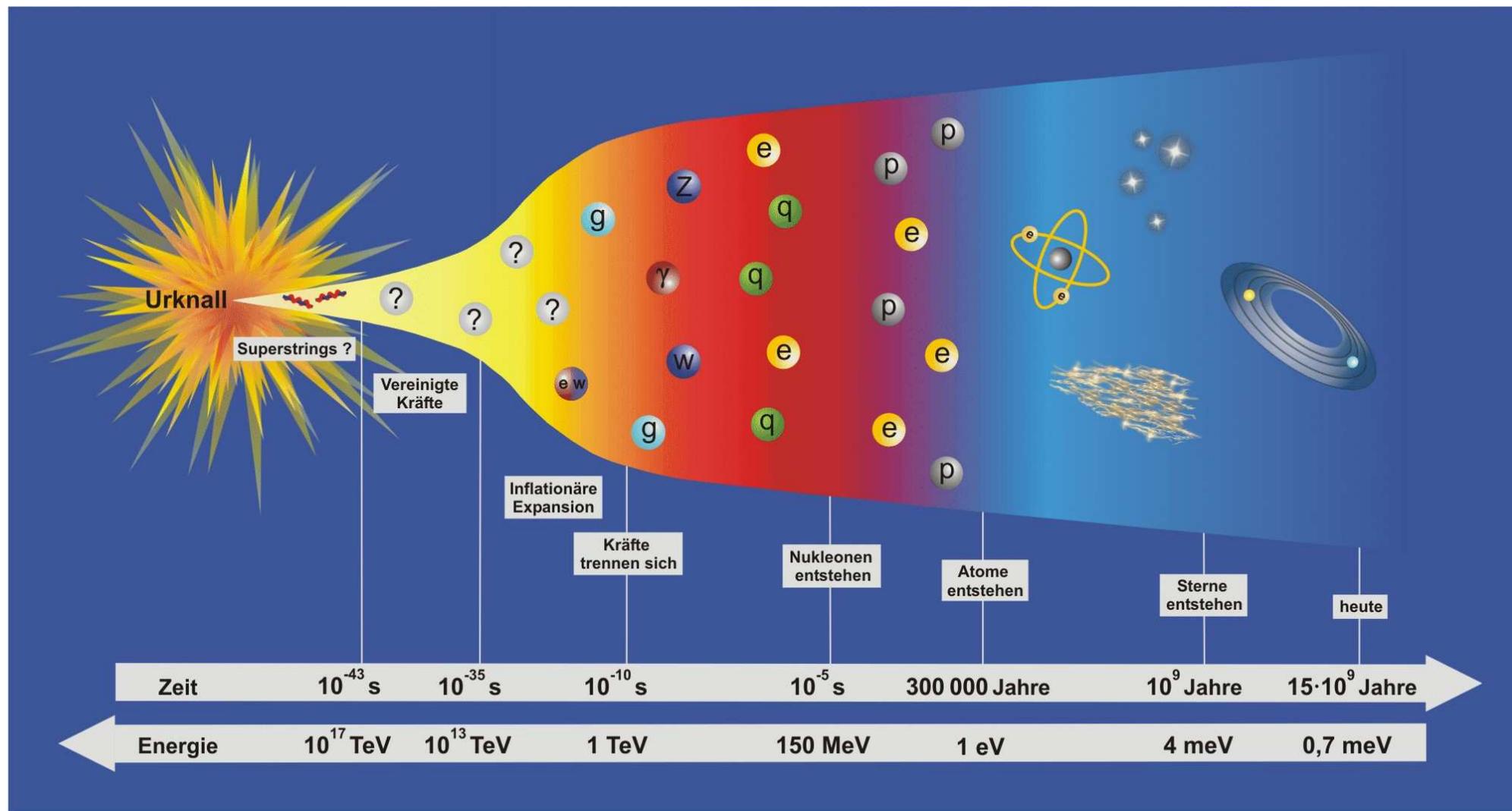
⇨ **Problem:** bisher keine Quantentheorie der Gravitation (Quantengravitation)  
notwendig in singulären Situationen: schwarze Löcher, Urknall





Spiral Galaxy NGC 1232 - VLT UT 1 + FORS1





NATIONAL POST, WEDNESDAY, JANUARY 23, 2002

A13

# DISCOVERY

SCIENCE'S NEXT FRONTIERS



*Some experts believe they are on track to achieve the great quest of modern physics: the theory of everything*

## Pulling the right strings

By DAN FALK

Physicists have always been driven by an urge to simplify. Confronted with myriad observations from the natural world, they try to explain what they see with the fewest possible laws and equations. Now, some are hunting for one single theory to explain all of physics — the long-sought theory of everything. So far, that achievement remains elusive — but a field known as string theory seems to offer at least a glimpse of this Holy Grail.

If the string theorists are right, we are on the way to realizing the dream of a final theory. For some areas, such as cosmology and particle physics, the impact would be



fundamental particles — one massive "superparticle" corresponding to each of the known particles. No such superparticles have ever been observed, but the next generation of giant particle accelerators could settle the matter. The Large Hadron Collider (LHC), now under construction at the CERN facility near Geneva, should be powerful enough to detect superparticles — if they in fact exist. "If they turn on the LHC and discover the supersymmetric partner of the electron, that would be terribly exciting," Peet says. If that happens, "a lot of people would think that string theory was likely to be the right theory of the world."

The ultimate hurdle for any new theory is experimental testing. But even before that — when a theory is still on the drawing

## Vorschlag: Stringtheorie

**Grundidee:** punktförmige Teilchen  $\rightarrow$  ausgedehnte Objekte (Strings)



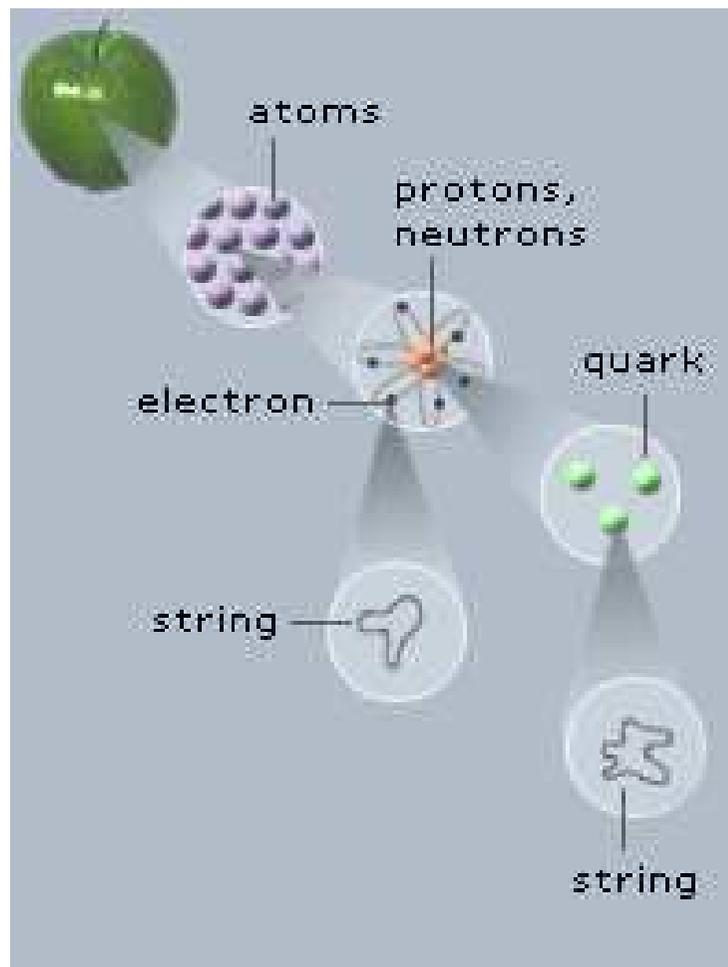
- $\Leftrightarrow$  **Stringtheorie:** Quantentheorie von Strings
- $\Leftrightarrow$  **Teilchen** = Schwingungsanregungen des Strings
- $\Leftrightarrow$  **Ausdehnung der Strings:**  $l_s \approx 10^{-35}m$

### Eigenschaften:

- Quarks & Leptonen im Anregungsspektrum
- Quantenkorrekturen zur ART können sinnvoll berechnet werden
  - $\Rightarrow$  Stringtheorie vereint Teilchenphysik (Quantentheorie) und Gravitationstheorie

**Vorschlag:**

fundamentalen Baustein von Materie und Raum-Zeit sind Strings



Strings bewegen sich in einer **10-dimensionalen** Raum-Zeit

Zusammenhang mit unserer Welt: **Kompaktifizierung von 6 Raum Dimensionen**

$$\mathcal{M}_{10} = R_{1,3} \times Y_6$$

$R_{1,3}$ : 4 dimensionale Raum-Zeit

$Y_6$ : kompakte Riemannsche Mannigfaltigkeit

⇨ Geometrie und Topologie von  $Y_6$  hängen mit Eigenschaften und Wechselwirkungen der Elementarteilchen zusammen

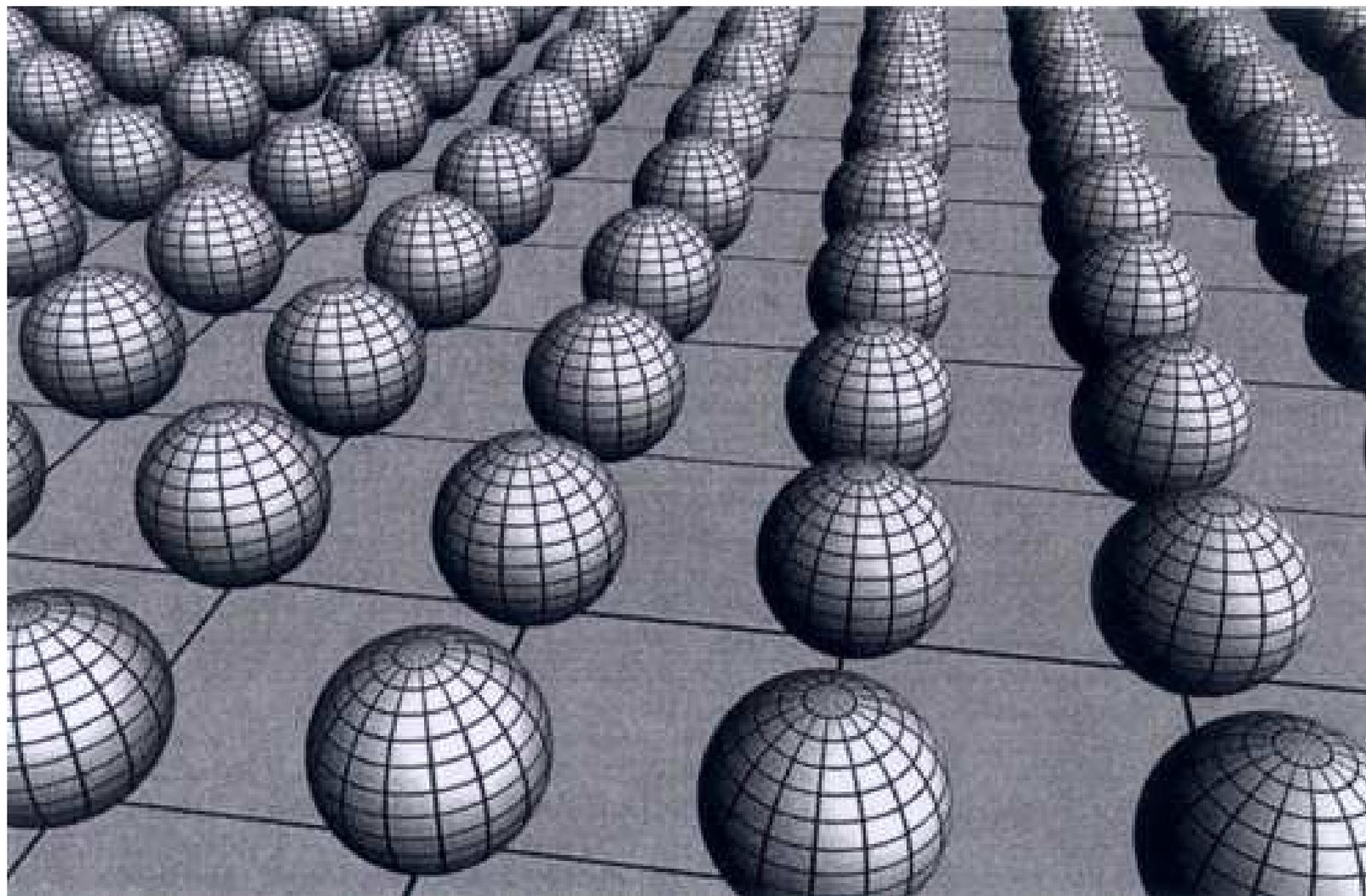
Calabi-Yau Mannigfaltigkeiten spielen zentrale Rolle

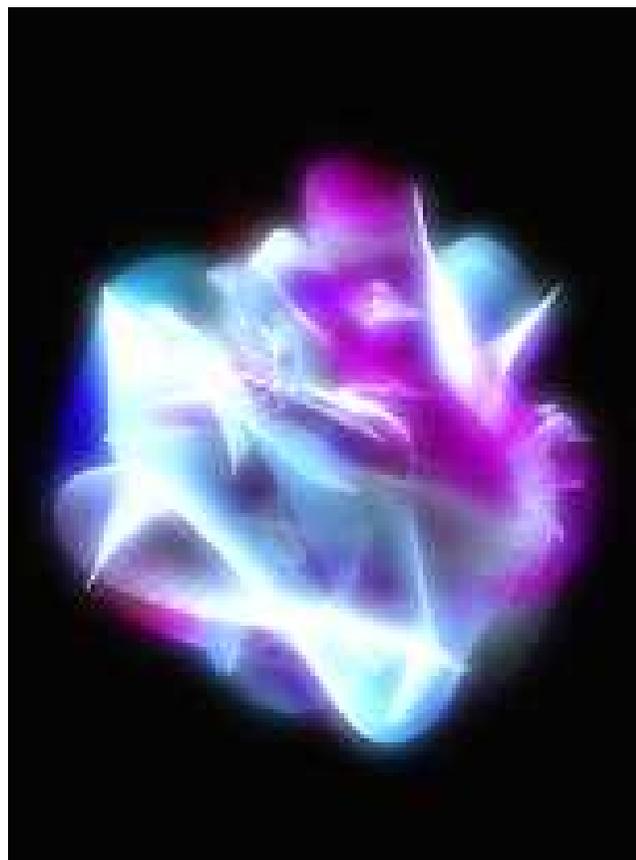
⇒ **Geometrisierung der Teilchenphysik**

⇨ **String als Sonde**: sieht größere Struktur als Punktteilchen

- falls  $Y_6$  groß: klassische Geometrie

- falls  $Y_6 \approx l_s^6$ : neue Geometrie: **Quantengeometrie**





## Zusammenfassung

- ART und QT bilden Grundlage heutiger Physik
- ART/Kosmologie beschreibt erfolgreich das Universum (Makrokosmos)
- QFT/Teilchenphysik beschreibt erfolgreich den Mikrokosmos
- Stringtheorie vereint QT, Teilchenphysik, ART und Kosmologie und ist bislang bester Kandidat für eine Quantengravitation