# Ausstellungskapitel: Die Allgemeine Relativitätstheorie

## Die historische Entwicklung

Acht Jahre brauchte Einstein von der Idee zur fertigen Theorie. Was waren die entscheidenden Schritte, mit wem hat Einstein dabei zusammengearbeitet?

Die Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie sind auf der Erde und im gesamten Sonnensystem sehr schwach. Bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts gab es daher nur vier Effekte, die beobachtet werden konnten, um die Theorie zu überprüfen und zu bestätigen.

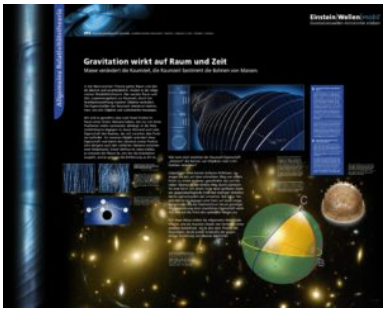
**Poster: „1907–1915: Die schwierige Geburt einer revolutionären Theorie“**
Wie entstand die Allgemeine Relativitätstheorie, die bis heute jeden Test bestanden hat?

**Poster: „Von Newton zu Einstein — Auswirkungen der Gravitation“**
Die vier grundlegenden Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie und ihre Messung

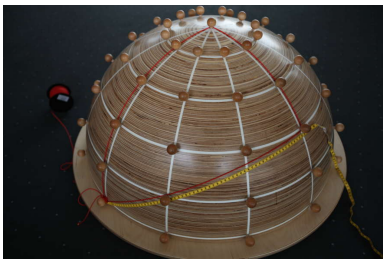
## Darstellung der Theorie

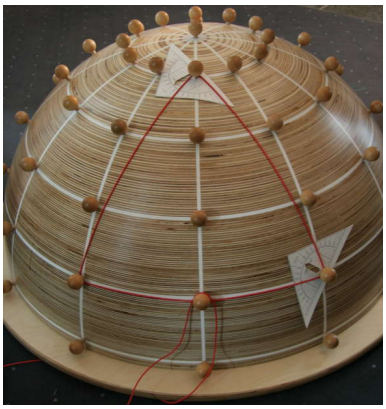
Die Spezielle Relativitätstheorie war eine großartige Leistung — weshalb gab sich Einstein damit nicht zufrieden, weshalb suchte er nach einer umfassenderen, allgemeineren Relativitätstheorie? Was sind die wesentlichen Bestandteile dieser Theorie?

**Poster: „1905: Noch nicht am Ziel“**
Warum ist die Spezielle Relativitätstheorie nicht allgemein und umfassend genug?




**Poster: „Gravitation wirkt auf Raum und Zeit“**
Masse verändert die Raumzeit, die Raumzeit bestimmt die Bahnen von Massen.

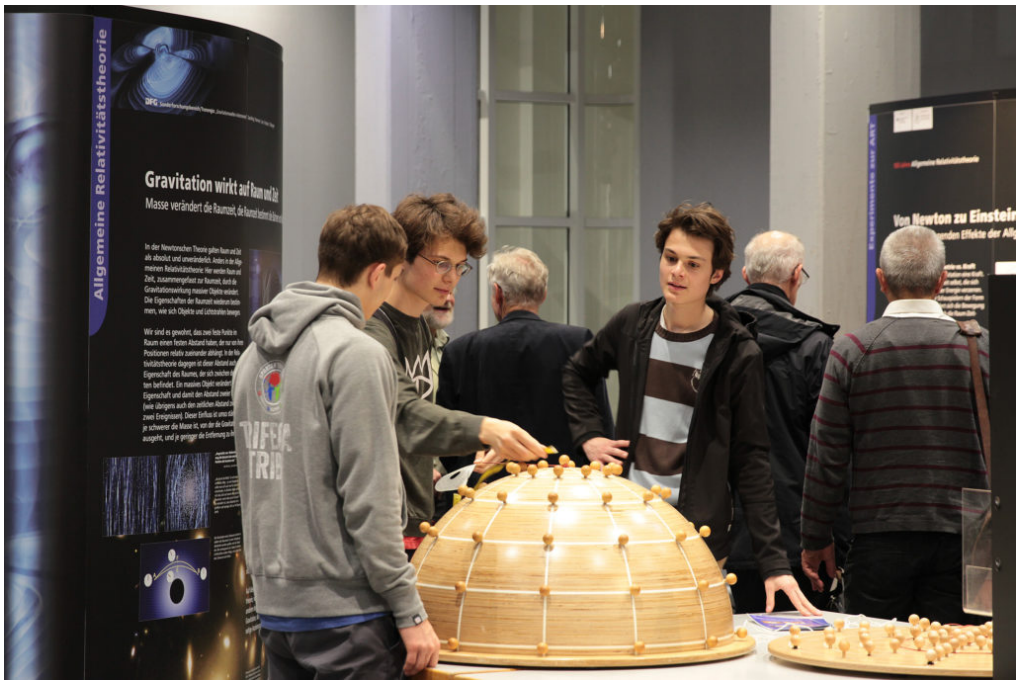


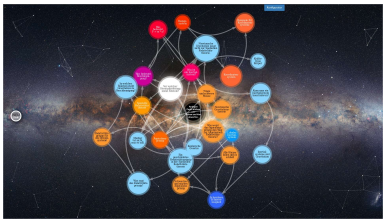


**Experiment: „Sphärische Geometrie“**
Eine ebene Fläche und die gekrümmte Oberfläche einer großen Holzkugel bilden Modelle für einen ebenen bzw. für einen gekrümmten Raum. Mit Hilfe von Holzstiften als „Ankerpunkten“ kann man Schnüre spannen und vermessen und so die Geometrie der beiden Flächen erforschen. Konstruieren Sie geometrische Objekte, messen Sie Längen und Winkel, und vergleichen Sie die Ergebnisse für beide Situationen. Die Ergebnisse solcher Messungen verraten, ob Sie sich in einem flachen oder einem gekrümmten Raum befinden. (Siehe auch: Anhang: Anleitung zum Experiment „Sphärische Geometrie“)

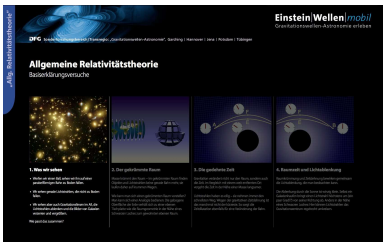
- Stellt ein Breitenkreis die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten dar?
- Gilt die bekannte Beziehung zwischen Radius und Umfang eines Kreises?
- Beträgt die Winkelsumme im Dreieck 180 Grad?
- Gilt der Satz des Pythagoras?

Alle Messungen können durchgeführt werden, ohne die Kugeloberfläche zu verlassen. Sie sind also unabhängig vom drei-dimensionalen Raum, der die Kugel umgibt. Damit wird der gedankliche Übergang von der Außen- zur Innenperspektive begreifbar gemacht.





**Touch Table: Allgemeine Relativitätstheorie**
Relativitätsprinzip, Äquivalenzprinzip, Inertialsystem, Beschleunigung — diese und viele andere Begriffe und Konzepte sind eng miteinander verbunden. Sie bilden seit Newton das Netzwerk der Theoretischen Physik, und damit auch die Grundlage für die Entwicklung der Allgemeinen Relativitätstheorie. Auf einem Touchtable können Sie die Knoten und Verbindungen dieses Netzwerks erforschen und sich einen Eindruck davon verschaffen, welche Herausforderungen Einstein bei der Entwicklung der Theorie zu bewältigen hatte.




**Filmstation: Allgemeine Relativitätstheorie**
Vier kurze Filme ermöglichen eine individuelle, interaktive Beschäftigung mit Fragen, wie folgenden:

- Wie sähe die Welt aus, wenn die relativistischen Effekte erheblich stärker wären, als sie es in unserer Welt sind?
- Oder wenn wir uns in der Nähe von Objekten mit sehr starker Gravitation, wie beispielsweise schwarzen Löchern, aufhalten könnten?
- Wie kann man sich einen gekrümmten Raum vorstellen?
- Oder gar eine gedehnte Zeit?
- Wie bewirken Raumkrümmung und Zeitdehnung zusammen den Effekt, den wir als Lichtablenkung wahrnehmen?

**Film-Loop: Science Face Interviews**
Schwarze Löcher - befremdliches Phänomen, schwer greifbare Wirklichkeit. Einstein zweifelte an iher Existenz, Astronomen haben lange nach danach gesucht. Heute sind Schwarze Löcher unverzichtbar für unser Verständnis des Universums.

Interviews mit bekannten Astrophysikern und Astronomen wie Kip Thorne, Clifford Will und vielen anderen verraten, was Schwarze Löcher sind, wie Astronomen sie beobachten. wie Physiker sie mit den schnellsten Supercomputern der Welt untersuchen und wie sie mit Hilfe von Gravitationswellendetektoren belauscht werden.

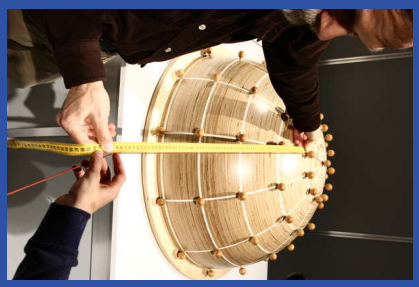
Alle Bilder, soweit nicht anders angegeben: © GD90/Universität Tübingen

Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

## Längenmessung



Nehmen Sie die gesuchte Länge (etwa den Umfang eines Kreises) mit der Schnur ab, messen Sie sie mit Hilfe des Maßbandes.

**Tip:** Dies gelingt am besten zu zweit.

## Winkelmessung

Legen Sie den Winkelmesser an und lesen Sie den Wert des Winkels ab.

**Tip:** Bei spitzen Winkeln treffen sich die Linien erst hinter dem Mittelpunkt der Kugel. Legen Sie den Winkelmesser passend an.

Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

Führen Sie alle Messungen auf der ebenen Fläche und auf der Oberfläche der Kugel aus, und vergleichen Sie die Ergebnisse.

## Kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten

Stellt ein Breitenkreis die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf dem gleichen Breitengrad dar? Legen Sie die Schnur an einem Breitenkreis entlang, dann spannen Sie die Schnur, um die Antwort zu finden.

2

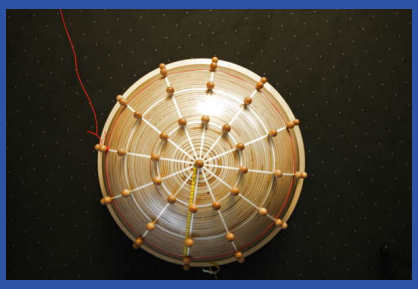
Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

Führen Sie alle Messungen auf der ebenen Fläche und auf der Oberfläche der Kugel aus, und vergleichen Sie die Ergebnisse.

## Umfang eines Kreises



Konstruieren Sie verschieden große Kreise. Messen Sie Radius und Umfang. Was fällt Ihnen auf?

3

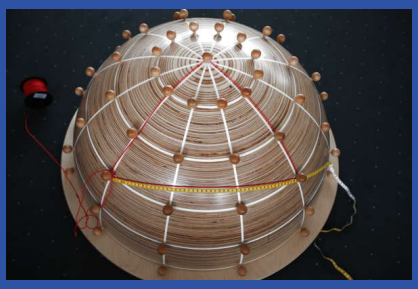
Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

Führen Sie alle Messungen auf der ebenen Fläche und auf der Oberfläche der Kugel aus, und vergleichen Sie die Ergebnisse.

## Satz des Pythagoras



Konstruieren Sie ein rechtwinkliges Dreieck, und messen Sie die Längen der Seiten. Gilt hier der Satz des Pythagoras, dass $a^2 + b^2 = c^2$ ?
Vergleichen Sie Ihre Ergebnisse für ein kleines und ein großes Dreieck. Bemerken Sie einen Unterschied?

**Tip:** Konstruieren Sie gleichschenklige Dreiecke. Sie brauchen dann nur zwei verschiedene Seiten zu messen.

4

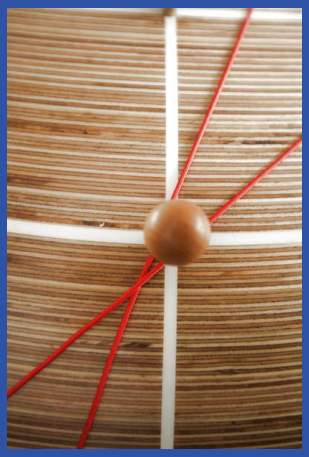
Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

Führen Sie alle Messungen auf der ebenen Fläche und auf der Oberfläche der Kugel aus, und vergleichen Sie die Ergebnisse.

## Winkelsumme im Dreieck



Messen Sie die Winkelsumme im Dreieck. Konstruieren Sie ein kleines und ein großes Dreieck. Was fällt Ihnen auf?

**Tip:** Konstruieren Sie gleichschenklige Dreiecke. Sie brauchen dann nur zwei verschiedene Winkel zu messen.

5

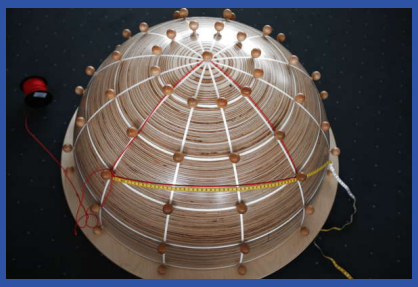
Einstein|Wellen|*mobil*
Gravitationswellen-Astronomie erleben

121

# Vermessen Sie die innere Geometrie zweier Flächen

Führen Sie alle Messungen auf der ebenen Fläche und auf der Oberfläche der Kugel aus, und vergleichen Sie die Ergebnisse.

## Flächeninhalt



Wie können Sie den Flächeninhalt einer Figur auf einer gekrümmten Fläche messen? Was bedeutet eine Flächenmessung überhaupt?

Versuchen Sie, den Flächeninhalt eines kleinen und eines großen Dreiecks zu messen. Gilt die Formel
„Fläche = (Grundseite × Höhe) / 2“ ?

6