

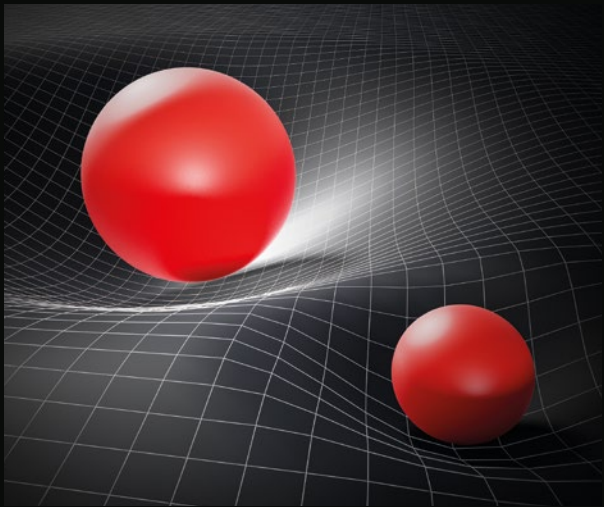
# GRAVITATIONS- WELLEN

DAS UNIVERSUM DEHNT SICH NICHT NUR AUS,  
DER RAUM SELBST SCHWINGT DABEI.

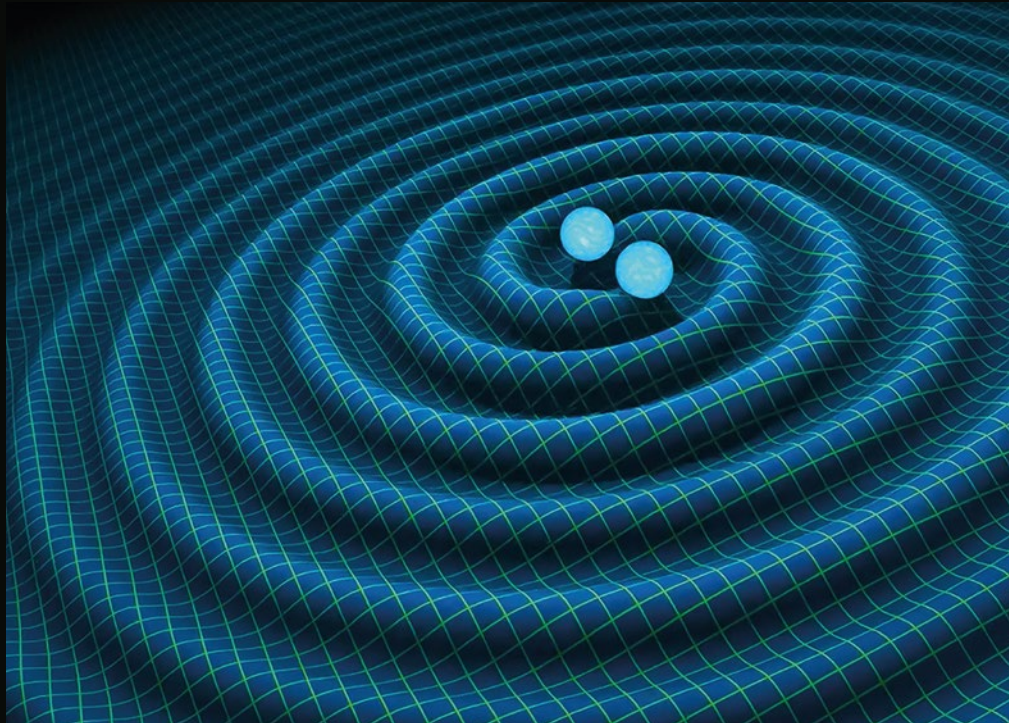
## SIGNALE AUS DER VERGANGENHEIT DES UNIVERSUMS

Vor 100 Jahren sagte Albert Einstein vorher, daß beschleunigte Massen Wellen auslösen. Er nannte dieses Phänomen Gravitationswellen. Diese Wellen bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit durch das Universum und stauchen und strecken den Raum. Im Jahr 2016 gelang es nach über 50 Jahren Forschung Gravitationswellen mit Detektoren direkt nachzuweisen. Die aufgezeichneten Wellen stammten aus der Kollision zweier Schwarzer Löcher, die eine Milliarde Jahre zurückliegt. Beobachtet wurde die Verzerrung des Raumes mithilfe des ultrapräzisen LIGO-Experiments.

Gravitationswellen haben anderen Eigenschaften, wie etwa Schallwellen. Sie breiten sich auch im Vakuum aus, gehen durch Sterne hindurch und verzerren die Geometrie des Raumes.



Zur Verdeutlichung als Grafik eine zweidimensionale reduzierte Gitterstruktur: Unterschiedlich schwere Bälle verursachen unterschiedlich tiefe Vertiefungen im Gitter.



Gravitationswellen, die von zwei sich umkreisenden Schwarzen Löchern ausgelöst wurden, werden in dieser Computersimulation dargestellt.

## DIE REVOLUTIONÄRE IDEE VON EINSTEIN

Nach Einstein ist die Gravitation nicht eine Kraft wie in der klassischen Physik beschrieben (Newton'sches Gravitationsgesetz), die auf Körper einwirkt, sondern eine Konsequenz der Krümmung des Raumes. Daraus ergibt sich, wie in der allgemeinen Relativitätstheorie beschrieben, dass jede Masse den Raum krümmt und damit den Bahnverlauf anderer Körper verändert.



## DER GRAVITATIONS- WELLENDETEKTOR

Ein Gravitationswellendetektor (auch Gravitationswellen-Observatorium) ist ein experimenteller Aufbau, mit dem geringe Störungen der Raumzeit (Gravitationswellen) gemessen werden, welche von Albert Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie vorhergesagt wurden.

Der erste Nachweis eines Gravitationswelleneignisses registrierte das derzeit größte Gravitationswellen-Observatorium LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) in Louisiana und Washington, USA. Kurze Zeit darauf registrierte auch der europäische VIRGO-Detektor in Italien ein durch das Verschmelzen zweier schwarzer Löcher ausgelöstes Ereignis.

Ein weiteres Experiment für die Detektion von Gravitationswellen ist KAGRA (Kamioka Gravitationswellendetektor) in Japan. Dieses Experiment ist einzigartig, da es unterirdisch liegt, um den durch seismischen Aktivitäten verursachten Lärm zu reduzieren und es verwendet kryogenisch gekühlte Spiegel, um die Empfindlichkeit zu erhöhen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Österreich prüfen eine mögliche Beteiligung an Gravitationswellendetektoren.

## PHYSIK-NOBELPREIS

Die drei US-Amerikaner Rainer Weiss, Barry Barish und Kip Thorne wurden für ihre entscheidenden Beiträge zum LIGO-Detektor und der Beobachtung von Gravitationswellen 2017 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Die drei Wissenschaftler waren maßgeblich an dem Aufbau des LIGO-Experiments beteiligt. Der direkte Nachweis von Gravitationswellen öffnet einen neuen Blick ins Universum – möglicherweise bis zum Urknall.



### STECKBRIEFE

#### LIGO

- > über 1300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler
- > aus 108 Institutionen von 18 Nationen

#### VIRGO

- > etwa 350 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler
- > aus 27 Europäischen Institutionen von 8 Nationen

#### KAGRA

- > etwa 400 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler
- > aus 110 Institutionen von 15 Nationen



1

- 1 Luftaufnahme des LIGO-Geländes in Livingston, Louisiana, USA
- 2 Luftaufnahme des Geländes des Europäischen Gravitationswellen-Observatoriums (EGO) in Santo Stefano a Marcerata, Italien
- 3 Blick in den KAGRAs Armtunnel (X-Arm). Das Vakuumrohr hat einen Durchmesser von 80 cm und eine Länge von 3 km.



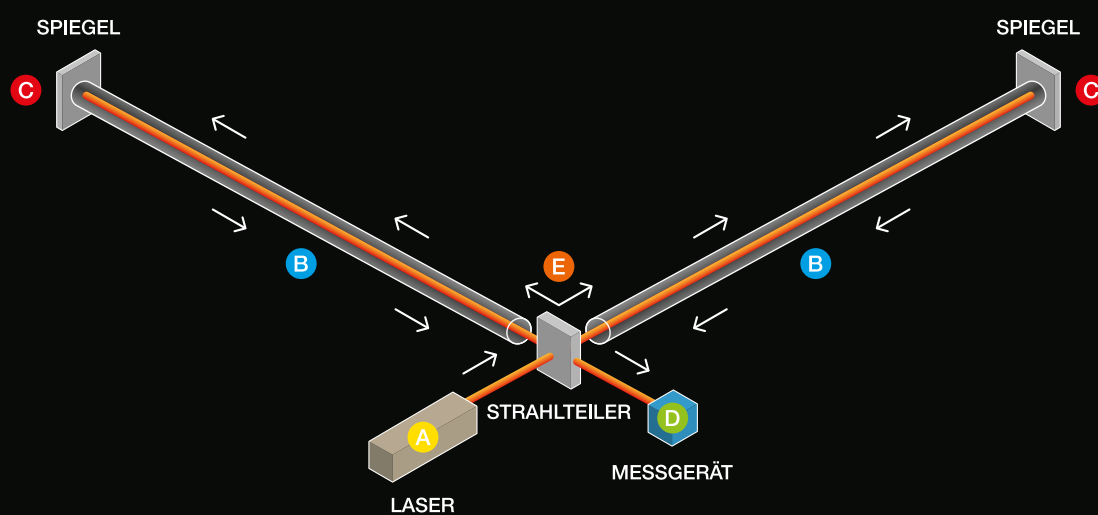
2



3

## DAS MESSPRINZIP

- Der Laserstrahl wird an einem Strahlteiler in jeweils zwei Strahlen aufgeteilt.
- Die zwei geteilten Strahlen laufen in zwei Tunnel, die im rechten Winkel zueinanderstehen.
- Am Ende des Tunnels werden die Strahlen reflektiert und zurückgeschickt.
- Am Strahlteiler überlagern sich die zurückgeschickten Strahlen und treffen als Signal auf einen Lichtsensor.
- Das Spiegelsystem wirft den Strahl hin und her. Wenn sich die Wegstrecke kurzzeitig auch nur um den Bruchteil eines Wasserstoffatoms ändert, lässt sich das im Überlagerungsmuster erkennen.



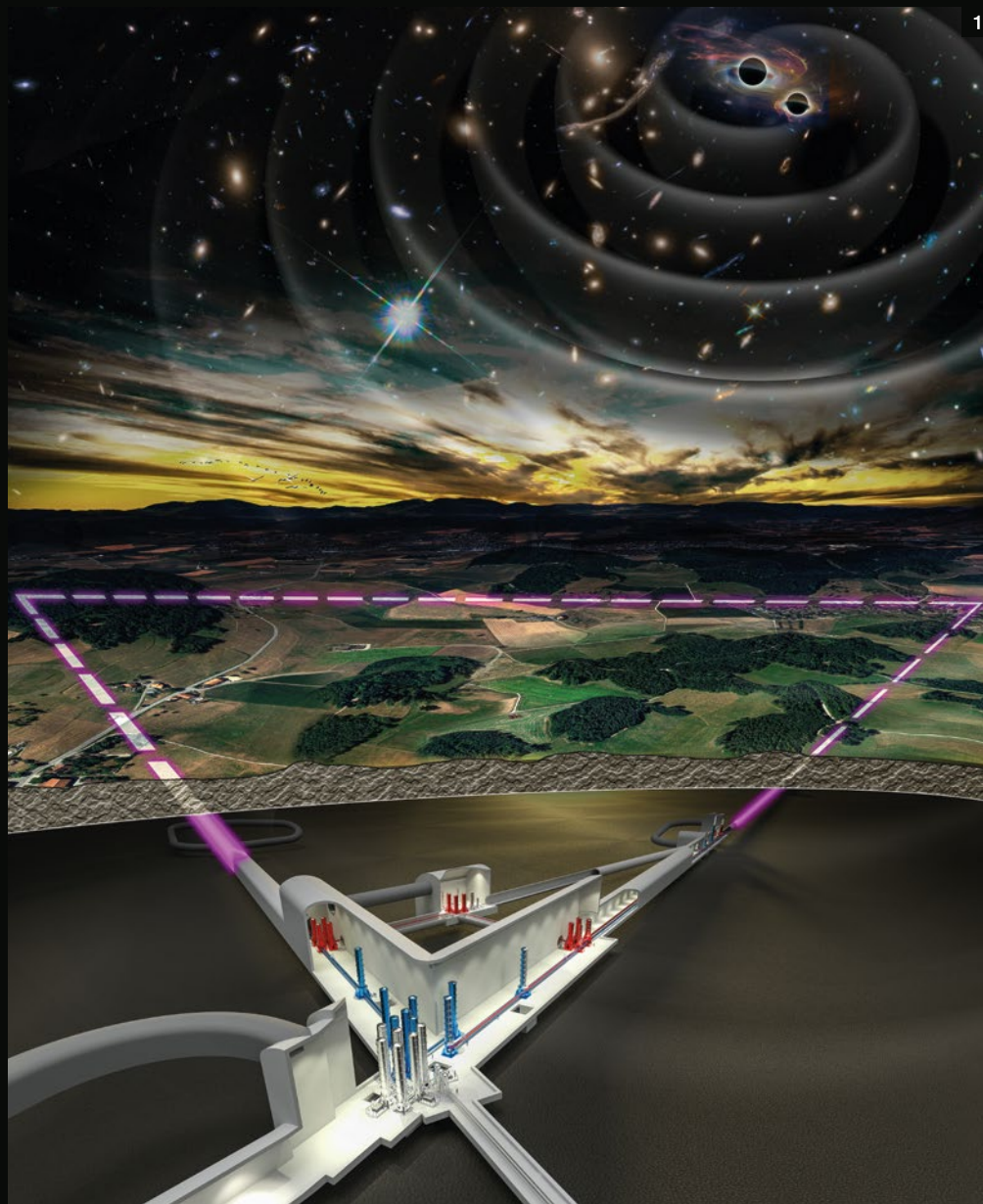


## DAS EINSTEIN-TELESKOP

Das Einstein-Teleskop soll einen bedeutenden Fortschritt im Bereich der Astrophysik und der Gravitationswellendetektion darstellen. Es repräsentiert einen Gravitationswellendetektor der dritten Generation und soll im nächsten Jahrzehnt in Betrieb genommen werden. Die Wahl seines Standorts ist noch im Auswahlprozess, wobei zwei Hauptkandidaten zur Auswahl stehen: die Sos Enattos-Mine in Sardinien, Italien, und die Euregio Maas-Rhein-Zone, die sich an der Grenze zwischen den Niederlanden, Belgien und Deutschland befindet.

Eine der bemerkenswertesten Verbesserungen ist seine Empfindlichkeit, die voraussichtlich um mehr als eine Größenordnung besser sein wird als die seiner Vorgänger. Diese erhöhte Empfindlichkeit wird entscheidend sein, um sowohl niedrige als auch hohe Frequenzbereiche zu erforschen.

Das Hauptziel des Einstein-Teleskops ist es, die Detektion und Untersuchung von Gravitationswellen aus einer Vielzahl von kosmischen Ereignissen zu ermöglichen. Mit seinem fortschrittlichen Design wird es in der Lage sein, tiefer in das Universum vorzudringen und Forscherinnen und Forschern erlauben, "massive" Ereignisse in viel größeren Entfernungen zu beobachten und zu analysieren. Dies könnte neue Wege für das Verständnis des Kosmos eröffnen und Einblicke in Phänomene wie Kollisionen Schwarzer Löcher, Verschmelzungen von Neutronensternen und möglicherweise sogar die Entdeckung neuer, unbekannter Arten von astrophysikalischen Ereignissen bieten.



1 Künstlerische Visualisierung des unterirdisch angelegten Einstein-Teleskops, ein geplanter Gravitationswellendetektor der dritten Generation  
2 Blick in das Innere des zukünftigen Einstein-Teleskops