

EINSTEINS ERBE

NEDA MESHKSAR ist Doktorandin am Institut für Geophysik. Sie ist an der Entwicklung eines Gravitationswellendetektors im All beteiligt.

Albert Einstein hat Anfang des 20. Jahrhunderts an den Zürcher Hochschulen studiert, promoviert und später gelehrt.

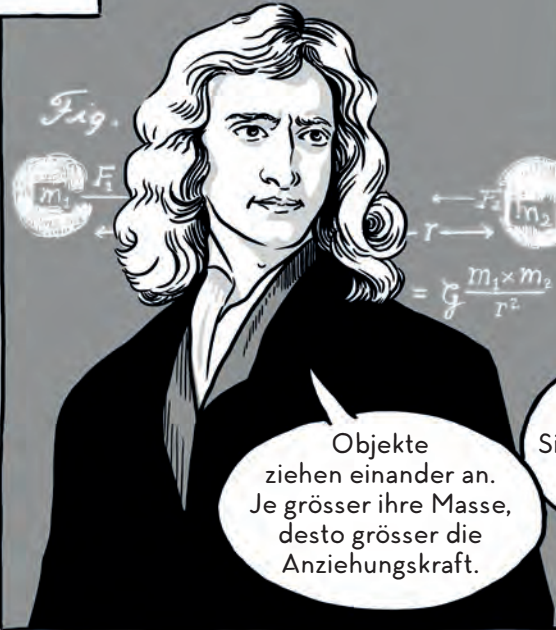


Albert Einstein (3. v. l.) 1913 mit Kolleginnen und Kollegen am **Physik-Labor ETH**.

1915 stellte Einstein in Berlin seine **Allgemeine Relativitätstheorie** vor. Sie revolutionierte die Vorstellung von Gravitation.

Klassische Vorstellung

Sir Isaac Newton (1687)
Gravitation = Anziehungskraft



Objekte ziehen einander an. Je grösser ihre Masse, desto grösser die Anziehungskraft.

Allgemeine Relativitätstheorie

Albert Einstein (1915)
Gravitation = Krümmung der Raumzeit*

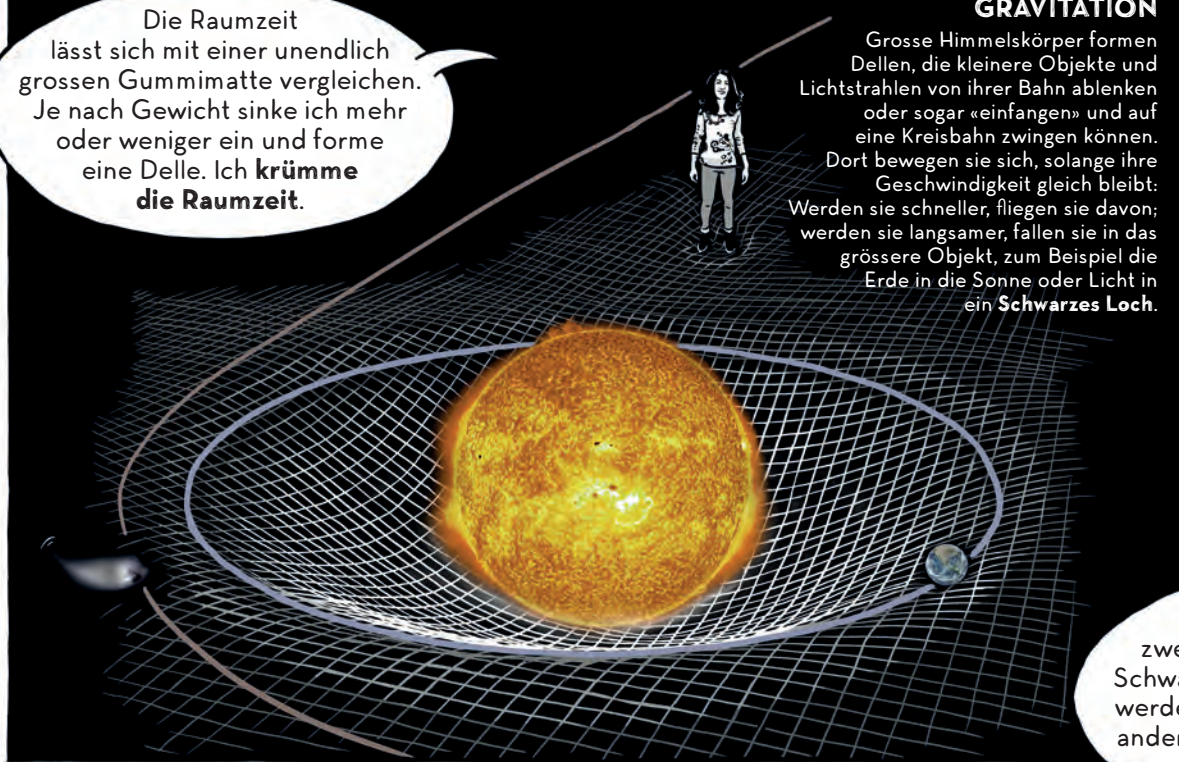
$$G_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

*Raumzeit = Beschreibung des Universums in den vier Dimensionen Höhe, Weite, Länge und Zeit



Gravitation kann auch verstanden werden als Verformung von Raum und Zeit. Sie bestimmt, wie sich Objekte - Planeten, Sterne, Schwarze Löcher, Galaxien - bewegen und gegenseitig beeinflussen.

Die Raumzeit lässt sich mit einer unendlich grossen Gummimatte vergleichen. Je nach Gewicht sinke ich mehr oder weniger ein und forme eine Delle. Ich **krümme die Raumzeit**.



GRAVITATION

Grosse Himmelskörper formen Dellen, die kleinere Objekte und Lichtstrahlen von ihrer Bahn ablenken oder sogar «einfangen» und auf eine Kreisbahn zwingen können. Dort bewegen sie sich, solange ihre Geschwindigkeit gleich bleibt: Werden sie schneller, fliegen sie davon; werden sie langsamer, fallen sie in das grössere Objekt, zum Beispiel die Erde in die Sonne oder Licht in ein **Schwarzes Loch**.

GRAVITATIONSWELLEN

Gravitationswellen dehnen und stauchen das All. Dadurch verändern sie kurzfristig die Form der Objekte, an denen sie vorbeikommen, sowie deren Abstand zueinander. Die auf der Erde gemessenen Änderungen sind jedoch winzig klein - eine Million Mal kleiner als ein Atomkern. Ein **Interferometer** kann diese Änderungen messen.



Bewegen sich zwei sehr schwere Objekte wie Schwarze Löcher mit immer grösser werdender Geschwindigkeit aufeinander zu und kollidieren, entstehen **Gravitationswellen**.

KOSMISCHES BEBEN



100 Jahre nachdem Einstein sie vorhergesagt hatte, wurden sie nun nachgewiesen! **LIGO** gelang es, die Gravitationswellen einer 1.3 Milliarden Jahre alten Kollision aufzuzeichnen und zu hören.

LIGO Livingston
14. September 2015

Gravitationswellensignal zweier kollidierender Schwarzer Löcher

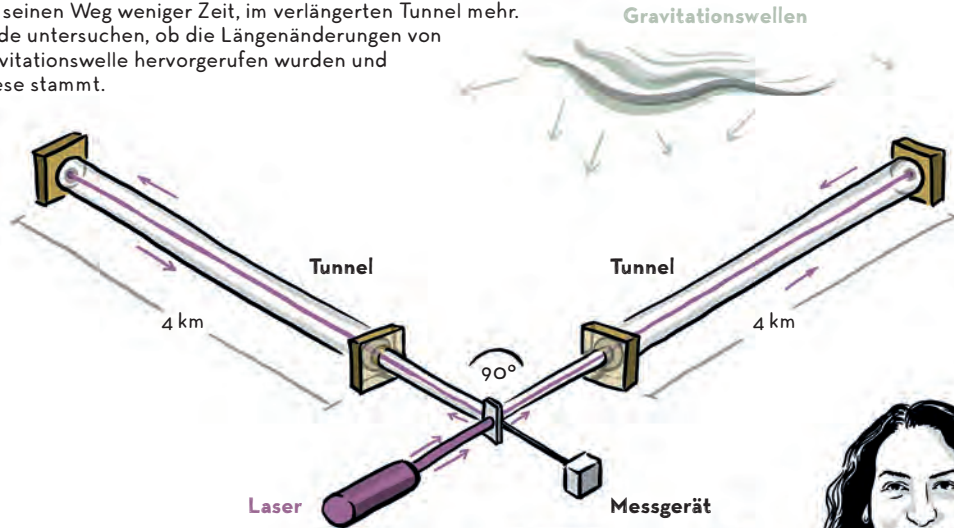
Stauchung & Dehnung ($\times 10^{-21}$)



NACHWEIS VON GRAVITATIONSWELLEN AUF DER ERDE

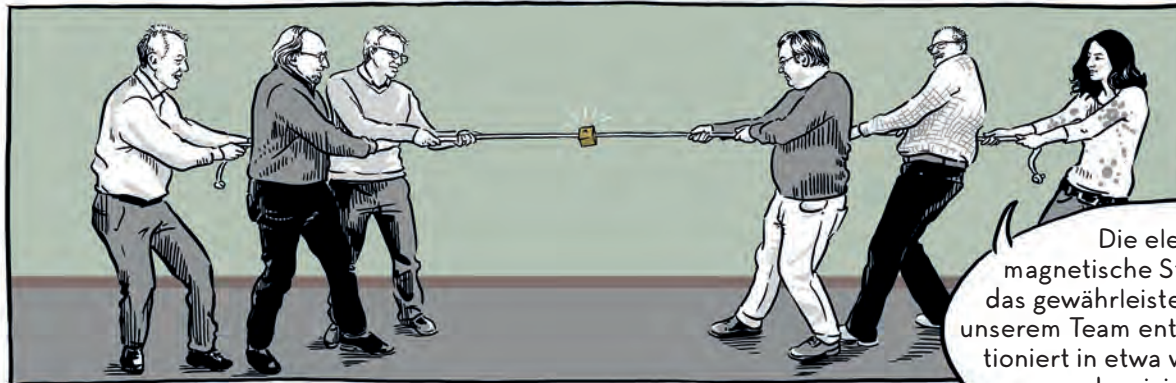
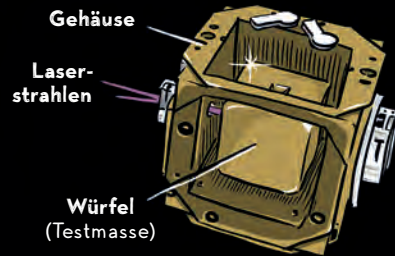
LIGO - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory

In zwei Tunneln laufen Laserstrahlen zwischen zwei Spiegeln hin und her. Werden die Tunnel von einer Gravitationswelle getroffen, werden sie abwechselnd gedehnt und gestaucht. Im verkürzten Tunnel benötigt der Strahl für seinen Weg weniger Zeit, im verlängerten Tunnel mehr. Forschende untersuchen, ob die Längenänderungen von einer Gravitationswelle hervorgerufen wurden und woher diese stammt.



Ändert sich der Abstand zwischen den Würfeln aufgrund einer Gravitationswelle, können wir das messen.

Für die Messungen müssen die Würfel in der Schwerelosigkeit des Alls frei schweben. Darum befinden sie sich jeweils in einem Gehäuse, ohne mit ihm in Kontakt zu sein.



Die elektromagnetische Steuerung, die das gewährleistet, haben wir in unserem Team entwickelt. Sie funktioniert in etwa wie Tauziehen - man korrigiert ständig die Position.

NACHWEIS IM ALL

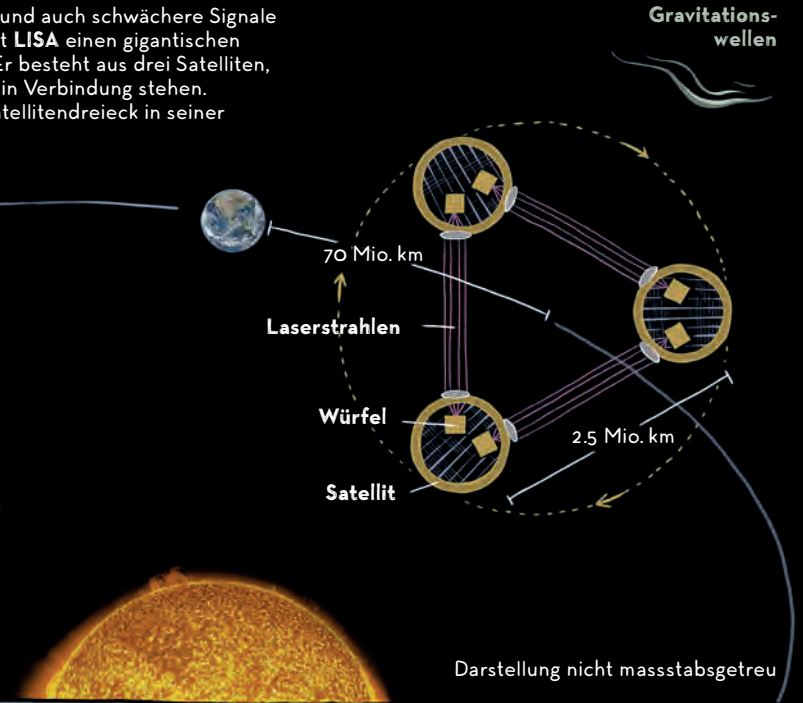
LISA - Laser Interferometer Space Antenna (geplant für 2034)

Um Ereignisse früher zu entdecken und auch schwächere Signale aufzuzeichnen, realisiert die ESA mit LISA einen gigantischen Gravitationswellendetektor im All. Er besteht aus drei Satelliten, die über Laserstrahlen miteinander in Verbindung stehen. Wie ein Riesenrad dreht sich das Satellitendreieck in seiner Bahn um die Sonne.

In den Satelliten befinden sich kleine **Gold-Platin-Würfel**. Sie dienen als Spiegel, zwischen denen die Laserstrahlen hin und her laufen.



Flugbahn von LISA in der Umlaufbahn der Erde



Darstellung nicht massstabsgetreu

In der Testmission **LISA Pathfinder** hat das im Kleinen schon super geklappt.

Mit LISA schaffen wir es vielleicht sogar, den Urknall zu hören. Dessen 14 Milliarden Jahre alte Wellen erreichen uns noch heute!

