



Der Nobelpreis ist ein Ehrenamt. Herausgeber der Nobel-Stiftung.

# Eine Entdeckung, die die Welt bewegte

Am 14. September 2015 wurden erstmals Gravitationswellen aus dem Kosmos beobachtet. Diese von Albert Einstein bereits vor einhundert Jahren vorhergesagten Schwingungen in der Raumzeit waren die Folge einer Kollision von zwei entfernten schwarzen Löchern. Die Gravitationswellen reisten 1,3 Milliarden Jahre durch das Universum, bevor sie von den LIGO-Detektoren in den USA entdeckt wurden.

Das Gravitationswellensignal war extrem schwach, als es die Erde erreichte, seine Entdeckung verspricht aber eine Revolution in der Astrophysik. Gravitationswellen sind ein gänzlich neuer Weg, die gewaltigsten Ereignisse im Universum zu beobachten und damit die Grenzen unseres Wissens auszuloten.

**LIGO, das Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory**, ist ein Gemeinschaftsprojekt mit mehr als 1.000 Wissenschaftlern aus über 20 Ländern. Gemeinsam haben sie eine fast 50 Jahre alte Vision realisiert. Die Nobelpreisträger 2017 haben mit ihrem Enthusiasmus und ihrer Entschlossenheit jeweils maßgeblich zum Erfolg von LIGO beigetragen. Die Pioniere **Rainer Weiss** und **Kip S. Thorne** haben gemeinsam mit **Barry C. Barish**, dem Forscher und Leiter, der das Projekt vollendet hat, sichergestellt, dass nach vielen Jahrzehnten der Anstrengung schließlich Gravitationswellen beobachtet werden konnten.

Bereits zu Beginn der 1970er-Jahre hatte Rainer Weiss mögliche Störquellen für die Messungen gründlich analysiert und einen Detektor, ein Laserinterferometer, zur Überwindung dieser Störungen konstruiert. Schon früh waren Kip Thorne und Rainer Weiss

fest davon überzeugt, dass Gravitationswellen unser Wissen über das Universum revolutionieren könnten.

Gravitationswellen breiten sich in Lichtgeschwindigkeit im Universum aus. Das beschrieb Albert Einstein bereits in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie. Sie entstehen, wenn eine Masse beschleunigt wird, wie wenn ein Eisläufer eine Pirouette dreht oder zwei schwarze Löcher umeinander rotieren. Einstein war überzeugt, dass man sie nie würde messen können. Der Erfolg des LIGO bestand im Bau eines Paares gigantischer Laserinterferometer und der Messung einer Veränderung, die tausende Mal kleiner ist als ein Atomkern, als die Gravitationswelle schließlich die Erde passierte.

Bisher wurden Licht und andere elektromagnetische Strahlung sowie Teilchen, wie etwa kosmische Strahlen oder Neutrinos, zur Erforschung des Universums verwendet. Gravitationswellen sind direktes Zeugnis von Störungen in der Raumzeit selbst. Das ist völlig neu und anders und eröffnet unbekannte Welten. Eine Fülle von neuen Entdeckungen erschließt sich jenen, denen es gelingt, die Wellen zu erfassen und deren Botschaft zu interpretieren.

Während ihrer Rotationsbewegung umeinander haben **die beiden schwarzen Löcher** Milliarden Jahre lang Gravitationswellen ausgesandt. Da diese Wellen Energie abtrugen, bewegten sich die schwarzen Löcher in Form eines immer rascher werdenden Tanzes zunehmend näher aufeinander zu. Als sich die Horizonte der schwarzen Löcher schließlich berührten, schwenkten die Löcher auf die Hälfte der Lichtgeschwindigkeit ein und verschmolzen im Bruchteil einer Sekunde miteinander. Dabei wurde Energie in einer Größenordnung von drei Sonnenmassen freigesetzt und später in 1,3 Milliarden Lichtjahren Entfernung von den LIGO-Detektoren auf der Erde entdeckt. Alle Schwingungen verschwanden nach und nach und ließen EIN großes schwarzes Loch zurück.

## Die erste Gravitationswelle, die jemals entdeckt wurde

LIGO Hanford

Schwarze Löcher

29 Sonnenmassen 36 Sonnenmassen

Zwei schwarze Löcher kollidierten miteinander, nachdem sie Milliarden von Jahren immer enger umeinander rotiert waren.



62 Sonnenmassen

1. Laserlicht wird in das Instrument geschickt.

2. Ein Strahlteiler teilt das Licht und sendet zwei identische Strahlen entlang der 4 km langen Arme.

3. Die Lichtwellen werden reflektiert und kehren zurück.

4. Eine Gravitationswelle wirkt sich unterschiedlich auf die Arme des Interferometers aus. Wenn sie von den Spitzen und Senken der Gravitationswellen gestreift werden, dehnt sich der eine aus, während sich der andere zusammenzieht.

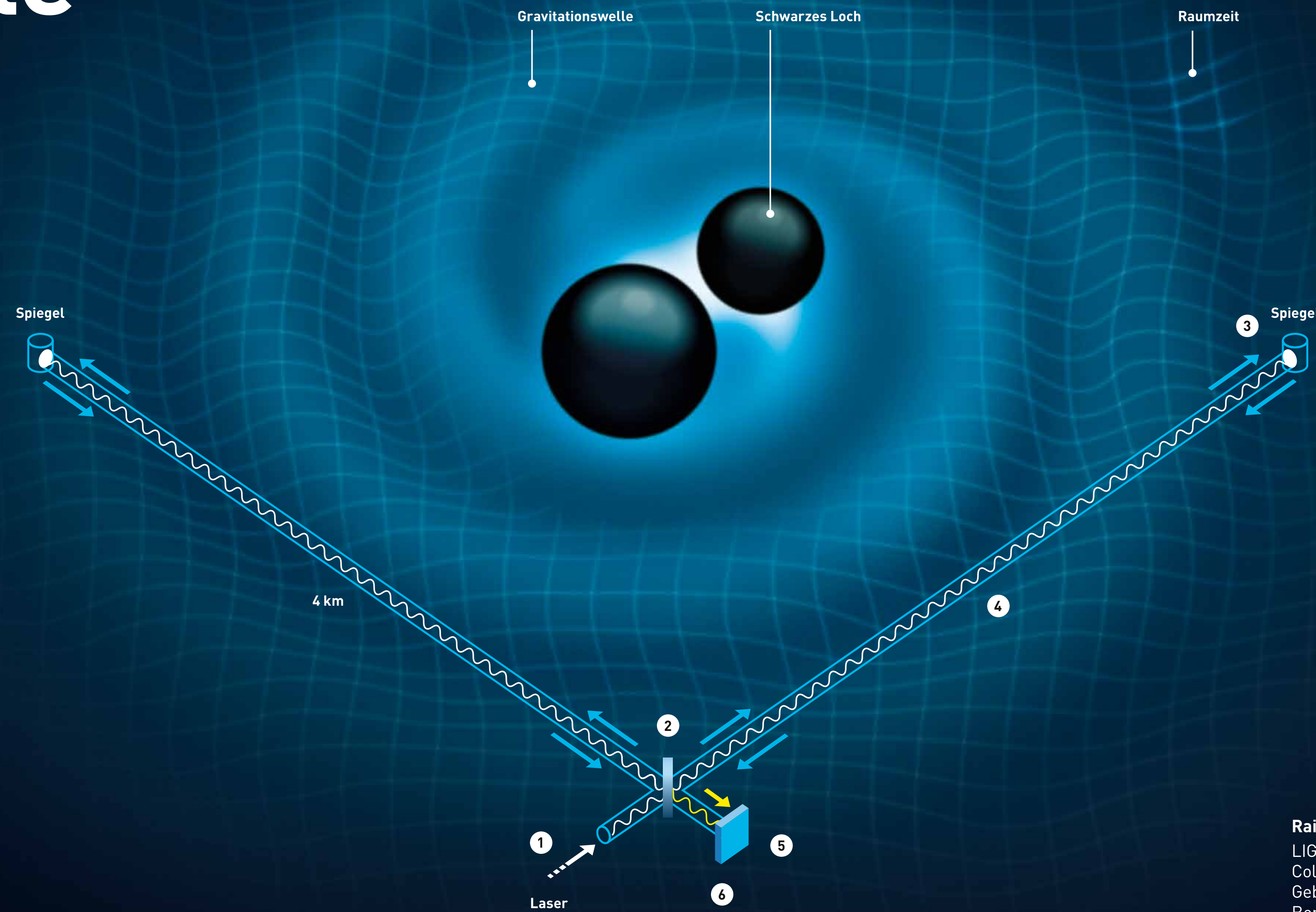
5. Normalerweise kehrt das Licht von den beiden Armen unverändert zum Strahlteiler zurück, und die Lichtwellen heben sich gegenseitig auf.

Lichtwellen heben sich gegenseitig auf. Strahlteiler Lichtdetektor



6. Wenn die Arme durch eine Gravitationswelle gestört werden, legen die Lichtwellen unterschiedliche Entfernungen zurück. Dann tritt Licht durch den Strahlteiler aus und trifft auf den Detektor.

Lichtwellen treffen auf den Lichtdetektor. Strahlteiler Lichtdetektor



**Die beiden gigantischen LIGO-Interferometer** LIGO besteht aus zwei identischen Interferometern. Die Gravitationswelle traf zuerst das Interferometer in Livingston und passierte dann sieben Millisekunden später dessen Zwillings im mehr als 3.000 km entfernten Hanford. Die Signale waren fast identisch und wiesen eine gute Übereinstimmung mit dem vorhergesagten Signal einer Gravitationswelle auf. Mit Hilfe der Signale konnte eine Region in der südlichen Hemisphäre als Gebiet ausgemacht werden, aus dem die Wellen stammten.

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

Wieder einmal sollte **Albert Einstein** Recht behalten. Es hat einhundert Jahre gedauert, bis die in seinen Gleichungen in der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagten Gravitationswellen entdeckt wurden. Die Theorie beschreibt die Gravitation als Krümmung der vierdimensionalen Raumzeit.

**Rainer Weiss**  
LIGO/Virgo  
Collaboration  
Geboren 1932 in  
Berlin, Deutschland.  
Professor für Physik,  
MIT, Cambridge,  
MA, USA.

**Barry C. Barish**  
LIGO/Virgo  
Collaboration  
Geboren 1936 in  
Omaha, NE, USA.  
Linde-Professor  
für Physik,  
California Institute  
of Technology,  
Pasadena, CA, USA.

**Kip S. Thorne**  
LIGO/Virgo  
Collaboration  
Geboren 1940  
in Logan, UT,  
USA. Feynman-  
Professor für  
Theoretische Physik,  
California Institute  
of Technology,  
Pasadena, CA, USA.



Foto: Porträt von Rainer Weiss: Bryce Vickmark; Porträt von Barry C. Barish: © Caltech; Porträt von Kip S. Thorne: Jon Buz-Kanis; Getty.com