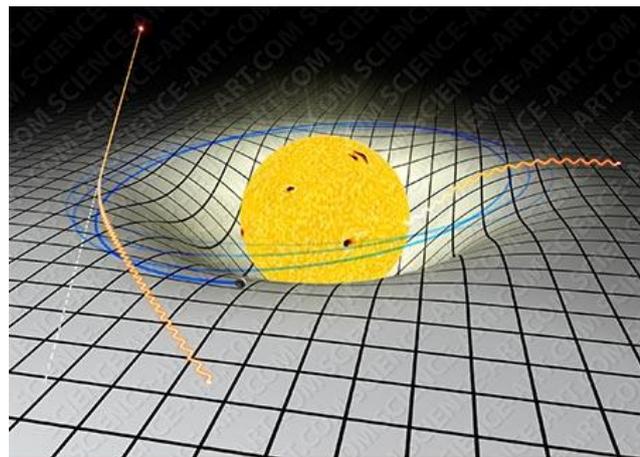


# Gravitationswellen

Die Einsteinsche *Allgemeine Relativitätstheorie* betrachtet die Gravitation als eine Krümmung des Raumes (und Verzerrung der Zeit), die sowohl durch Masse als auch durch Energie (entsprechend der Formel  $E=mc^2$ ) verursacht wird. Je größer die Massenkonzentration ist, umso stärker ist die Krümmung des Raumes. Da wir uns einen *gekrümmten* dreidimensionalen Raum nicht veranschaulichen, sondern nur mathematisch beschreiben können, müssen wir auf Oberflächenkrümmungen als 2-dimensionale Analogie zurückgreifen. Zur Veranschaulichung einer lokalen Raumkrümmung kann uns dementsprechend das Bild eines Trampolins dienen, in dem eine schwere Kugel liegt, die eine mehr oder weniger tiefe Mulde in dem Gummituch verursacht (siehe Abb. 1).

Abbildung 1:  
Potentialmulde eines Gravitationsfeldes

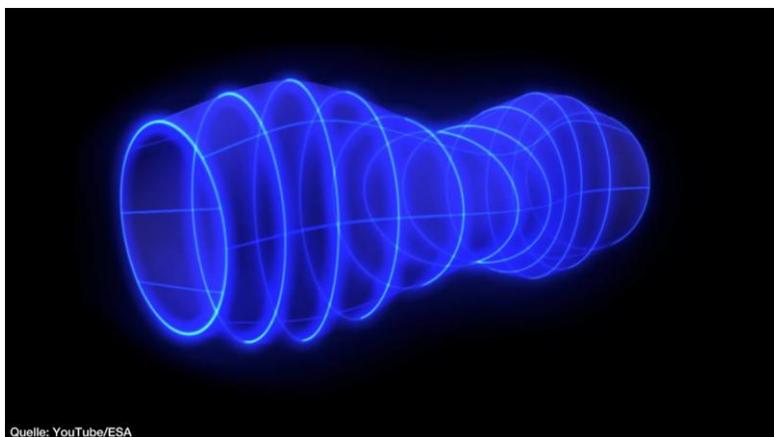
Quelle: NASA /Goddard, 2005



© 2005 NASA/ Goddard

Wenn wir bei dieser Analogie bleiben, können wir uns auch vorstellen, was passiert, wenn wir die Kugel nicht einfach still in das Trampolin eingesunken liegend sehen, sondern wenn die Kugel auf die ebene Fläche fällt. Dann werden sich nämlich, vom Aufschlagzentrum ausgehend, konzentrische Oberflächenwellen ausbreiten, etwa so, als ob man einen Stein in einen spiegelglatten Teich geworfen hätte.

**Gravitationswellen** sind Gezeitenkräfte, die sich in Form von transversalen Wellen ausbreiten. Sie werden durch Schwingungen **des Raumes als solchem** angeregt und verzerren dadurch den Raum (und auch die Zeit), sowie auch alle Objekte im Raum, die von den Wellen getroffen werden (siehe Abb. 2).



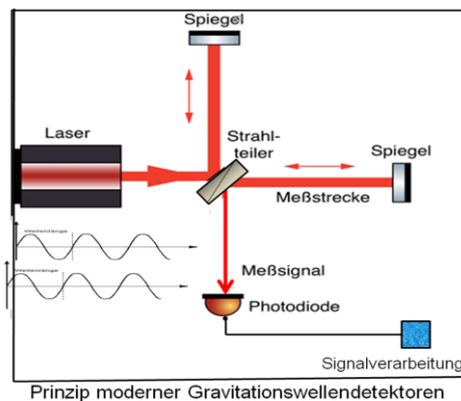
Quelle: YouTube/ESA

Abb. 2:  
Dynamische Verformung eines  
Raumsegments durch eine  
Gravitationswelle

Quelle: ESA Science & Technology

Gravitationswellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Sie haben ein Frequenzspektrum von  $\approx 10^{-13}$  Hertz bis  $\approx 10$  kHz mit Wellenlängen von etwa 300 Mio Lichtjahren (!) bis 30 km. Allerdings beträgt ihre relative Stärke (relative Amplitude) lediglich  $dL/L \approx 10^{-20}$ . Dadurch wird ihre Nachweisbarkeit nahezu unmöglich, aber durch moderne Technik eben nur nahezu. Inzwischen gibt es mehrere Gravitationswellen-Observatorien wie das GEO 600 bei Hannover mit Messstrecken von 600 Metern Länge und LIGO 1 und 2 in den USA mit je 4 km langen Messstrecken und andere. Allen gemeinsam ist das Interferometer-Prinzip wie in Abbildung 3 gezeigt. Da die Empfindlichkeit eines Interferometers wesentlich von dessen Messstreckenlängen und Störungsfreiheit abhängt, ist es erforderlich, möglichst lange Messstrecken zu realisieren. Um sich von terrestrischen Größenbegrenzungen und Störungen unabhängig zu machen, ist geplant, einen interferometrischen Gravitationswellendetektor, genannt **LISA (Laser Interferometer Space Antenna)** im Weltraum zu platzieren. Drei Satelliten, über Laserstrahlen miteinander verbunden, sollen ein Dreieck mit je 2,5 Millionen Kilometern Seitenlänge als Messstrecken bilden, um nach Gravitationswellen zu suchen. Die messtechnischen Voraussetzungen für dieses ESA- Projekt wurden schon erfolgreich im All erprobt. Die Fertigstellung des Vorhabens ist für 2025 geplant.

Abb. 3:  
Prinzip moderner  
Gravitationswellen-Detektoren  
Quelle: Max Planck Institut



Lange Zeit konnte ein direkter Nachweis von Gravitationswellen nicht erbracht werden, wohl aber ein indirekter Beleg. Dieser besteht in der Beobachtung von zwei umeinander rotierenden Neutronensternen PSR 1913 +16 (Hulse-Taylor-Pulsar), deren Umlaufdauer sich stetig verringert, entsprechend einem Energieverlust durch Gravitationswellen-Abstrahlung. Gravitationswellen entstehen nach der Theorie durch Störungen der Raumzeit-Struktur, das heißt, immer dann, wenn sich große Massen auf engstem Raum bewegen oder kollidieren, wie z. B. eng umeinander rotierende Neutronensterne, Sternexplosionen (Supernovae) oder Ähnliches.

Dann wurde jedoch endlich am 11. 2. 2016 bekanntgegeben, dass der direkte Nachweis von Gravitationswellen in den beiden LIGO-Observatorien gelungen ist. Mittlerweile konnten weitere Gravitationswellen-Ereignisse registriert werden.

*P. S.*