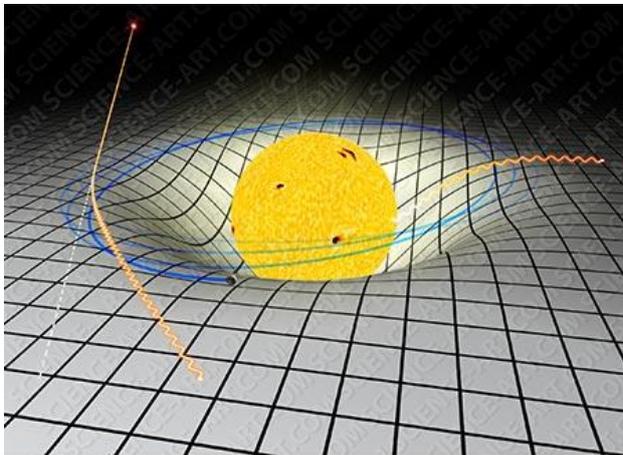


Gravitationswellen

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).



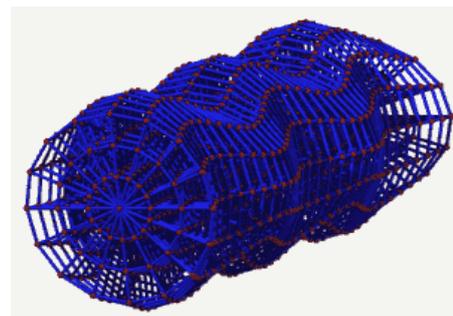
© 2005 NASA/ Goddard

Abbildung 1:
Potenzialmulde eines
Gravitationsfeldes

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 (vergl. Abb. 2).

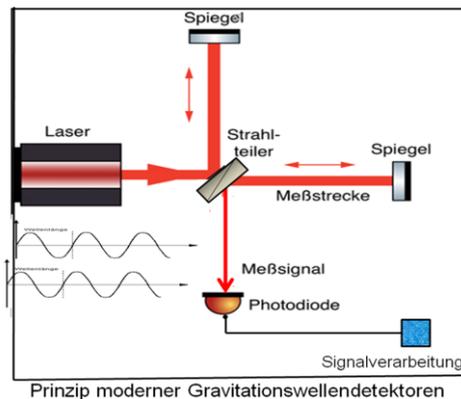
Abb. 2:
Dynamische Verformung eines Raum-
segments durch eine Gravitationswelle

Quelle: Max Planck Institut für
Gravitationsphysik / Markus Pössel



Gravitationswellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Sie haben ein Frequenzspektrum von $\approx 10^{-13}$ Hertz – ≈ 10 kHz mit Wellenlängen von etwa 300 Mio Lichtjahren (!) bis 30 km. Allerdings beträgt ihre relative Stärke (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, LIGO 1 und 2 in den USA und andere. Allen gemeinsam ist das Interferometer-Prinzip wie in Abbildung 3 gezeigt. Da die Empfindlichkeit eines Interferometers von dessen Messstreckenlängen abhängt, plant die ESO für die nächsten Jahre einen weltraumgestützten Gravitationswellen-Detektor namens LISA (Laser Interferometer Space Antenna) mit Messstrecken von 5 Mio. km Länge.

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



Ein direkter Nachweis von Gravitationswellen ist bisher noch nicht gelungen, 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), Verschmelzung von Schwarzen Löchern oder Ähnliches.

Peter Stefen

PS. Wie am 11. 2. 2016 bekanntgegeben wurde, ist der direkte Nachweis von Gravitationswellen in den beiden LIGO-Observatorien gelungen.