

A visualization of gravitational waves from colliding black holes and neutron stars. The image shows two central sources, one on the left and one on the right, each emitting concentric, overlapping wavefronts. The waves are color-coded, with the innermost waves being green and yellow, transitioning through blue and purple to red and magenta as they move outwards. The background is black, making the colorful wave patterns stand out prominently.

Das belauschte Universum

Gravitationswellen von kollidierenden Schwarzen Löchern und Neutronensternen

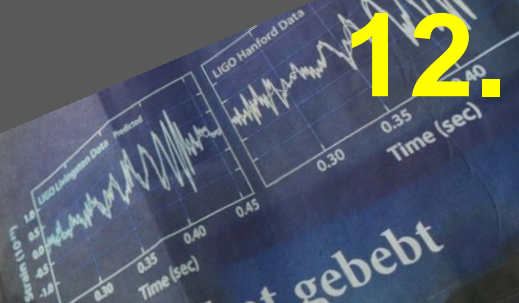
Thomas Bürke

**Schwetzingen
23. Februar 2019**

12. Februar 2016

Die Raumzeit hat gebebt

Mit dem Nachweis der Gravitationswellen öffnet sich ein völlig neues Beobachtungsfenster ins Universum
Thomas Bühke



DIE WELT

B 5 37 FREITAG, 12. FEBRUAR 2016

Beben im Universum

Diese Simulation zeigt, wie zwei Schwarze Löcher miteinander verschmelzen und dabei Gravitationswellen abstrahlen.



Neuer Blick ins Universum

Gravitationswellen – es gibt sie tatsächlich. Der Nachweis gelang Physikern in Hannover, Washington, Moskau und Pisa

Zwei Schwarze Löcher verschmelzen und senden Gravitationswellen aus.

Gravitationswelle vom 14.9.2015

Süddeutsche Zeitung

NEUESTE NACHRICHTEN AUS POLITIK, KULTUR, WIRTSCHAFT UND SPORT
MÜNCHEN, FREITAG, 12. FEBRUAR 2016
72. JAHRGANG / 6. WOCHEN / NR. 35



Der Beweis

Vor einhundert Jahren erdachte Albert Einstein die Allgemeine Relativitätstheorie. Seit Donnerstag wissen Physiker, dass er rund um recht hatte. Zwei mehrere Kilometer lange Messgeräte in den USA haben erstmals Gravitationswellen aus dem All empfangen. Der Nachweis ist für Physiker ein Jahrhundertereignis. foto: wikipedia

Werden nun die Geheimnisse des Universums gelüftet?

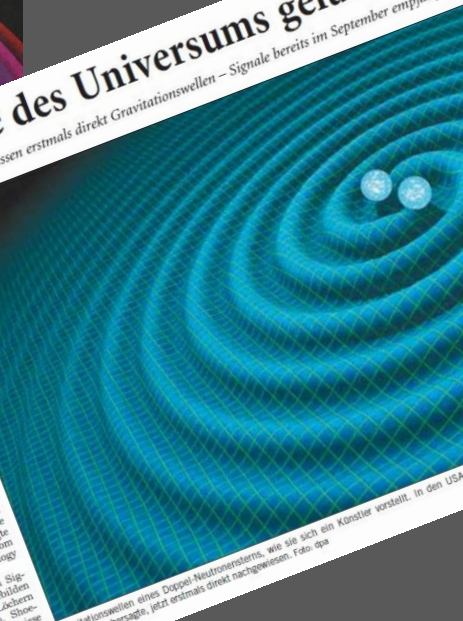
Zentraler Baustein von Albert Einsteins Relativitätstheorie bestätigt: Wissenschaftler messen erstmals direkt Gravitationswellen – Signale bereits im September empfangen

Von Jean-Louis Santini

Ein internationales Team von Wissenschaftlern hat bahnbrechende Forschungsergebnisse zur Relativitätstheorie von Albert Einstein vorgelegt. Die Forscher wissen nun, dass Gravitationswellen existieren und bestätigten damit ein zentrales Element der Einsteinschen Theorie. Die gestrigen Veröffentlichungen, präsentiert am 11. Februar, bestätigen die Existenz der Gravitationswellen, die von zwei kollidierenden Schwarzen Löchern ausgesendet werden. Die Forscher haben die Existenz dieser Wellen erstmals direkt nachgewiesen. Ein Team von Wissenschaftlern hat die Existenz von Gravitationswellen bestätigt. Die Forscher haben die Existenz dieser Wellen erstmals direkt nachgewiesen. Ein Team von Wissenschaftlern hat die Existenz dieser Wellen erstmals direkt nachgewiesen.

Zwei schwarze Löcher verursachen die Wellen

Die Forscher haben die Existenz dieser Wellen erstmals direkt nachgewiesen. Ein Team von Wissenschaftlern hat die Existenz dieser Wellen erstmals direkt nachgewiesen.





The Nobel Prize in Physics 2017

Rainer Weiss, Barry C. Barish, Kip S. Thorne

Share this: [f](#) [G+](#) [Twitter](#) [+](#) [Email](#) 1.4K

The Nobel Prize in Physics 2017



Photo: Bryce Vickmark

Rainer Weiss

Prize share: 1/2

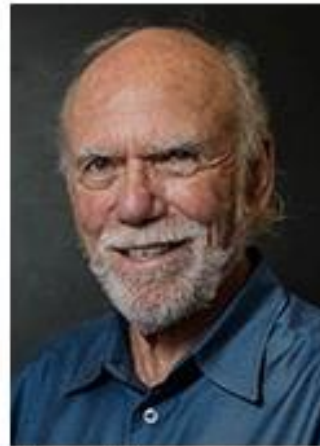


Photo: Caltech

Barry C. Barish

Prize share: 1/4



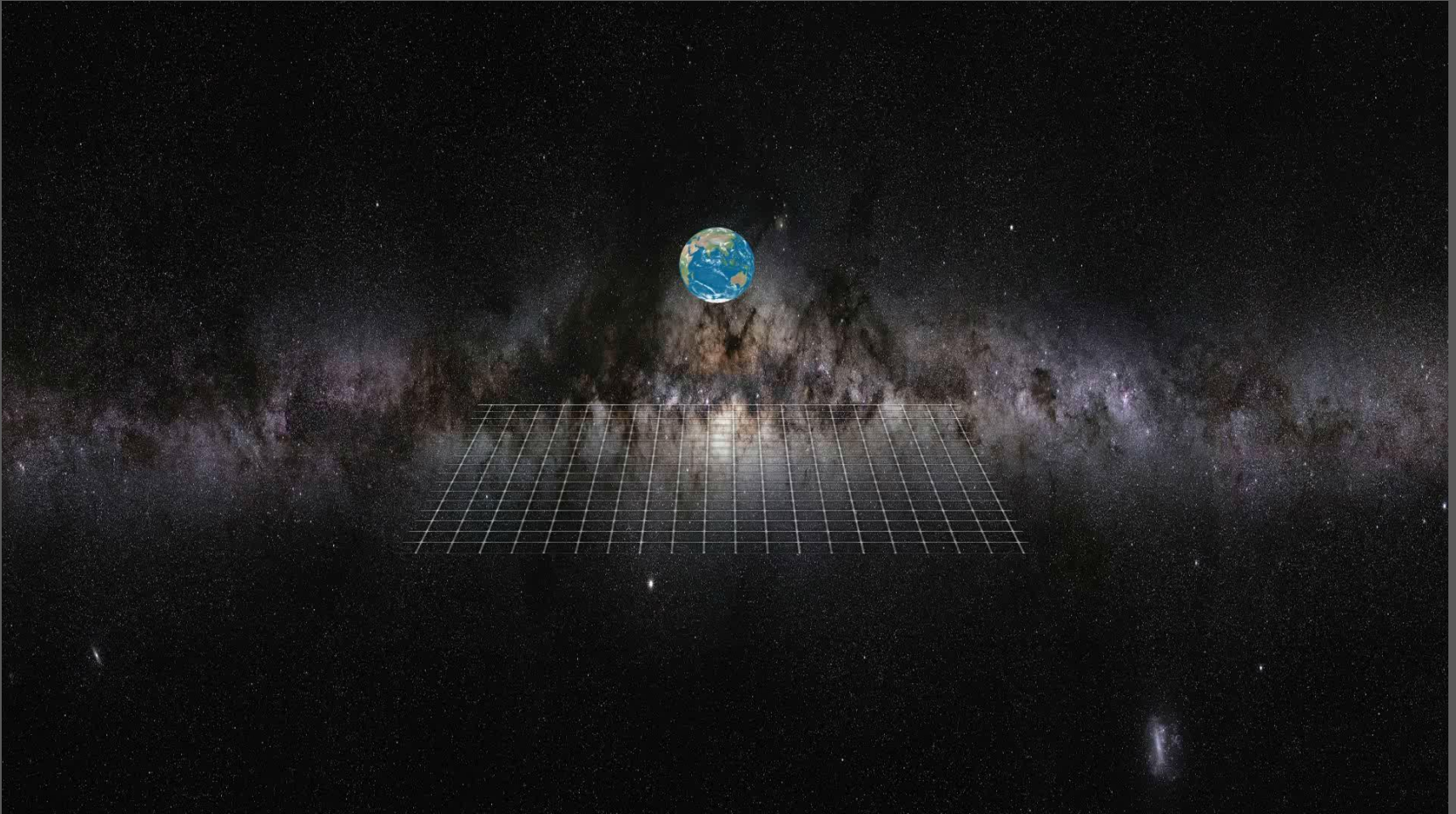
Photo: Caltech Alumni
Association

Kip S. Thorne

Prize share: 1/4

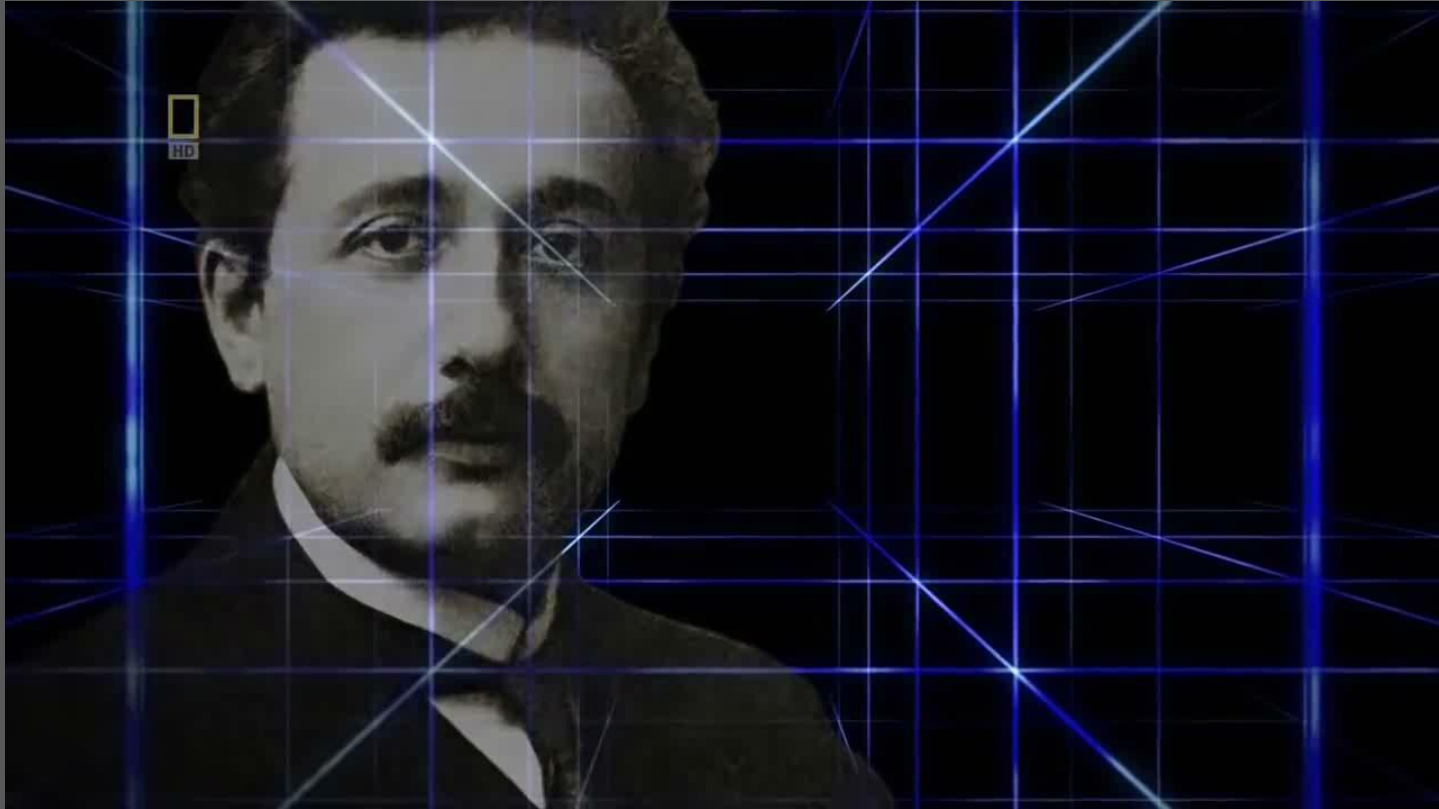
The Nobel Prize in Physics 2017 was divided, one half awarded to Rainer Weiss, the other half jointly to Barry C. Barish and Kip S. Thorne *"for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves"*.

Gekrümmter Raum



Einstein selbst verwendete diese Art der Veranschaulichung als Erster

Kosmisches Billard



Gravitationswellen

- Jeder Himmelskörper, der sich beschleunigt bewegt, strahlt Gravitationswellen ab.
- „Kräuselungen“ der Raumzeit, ähnlich wie Wasserwellen



Gibt es Gravitationswellen?

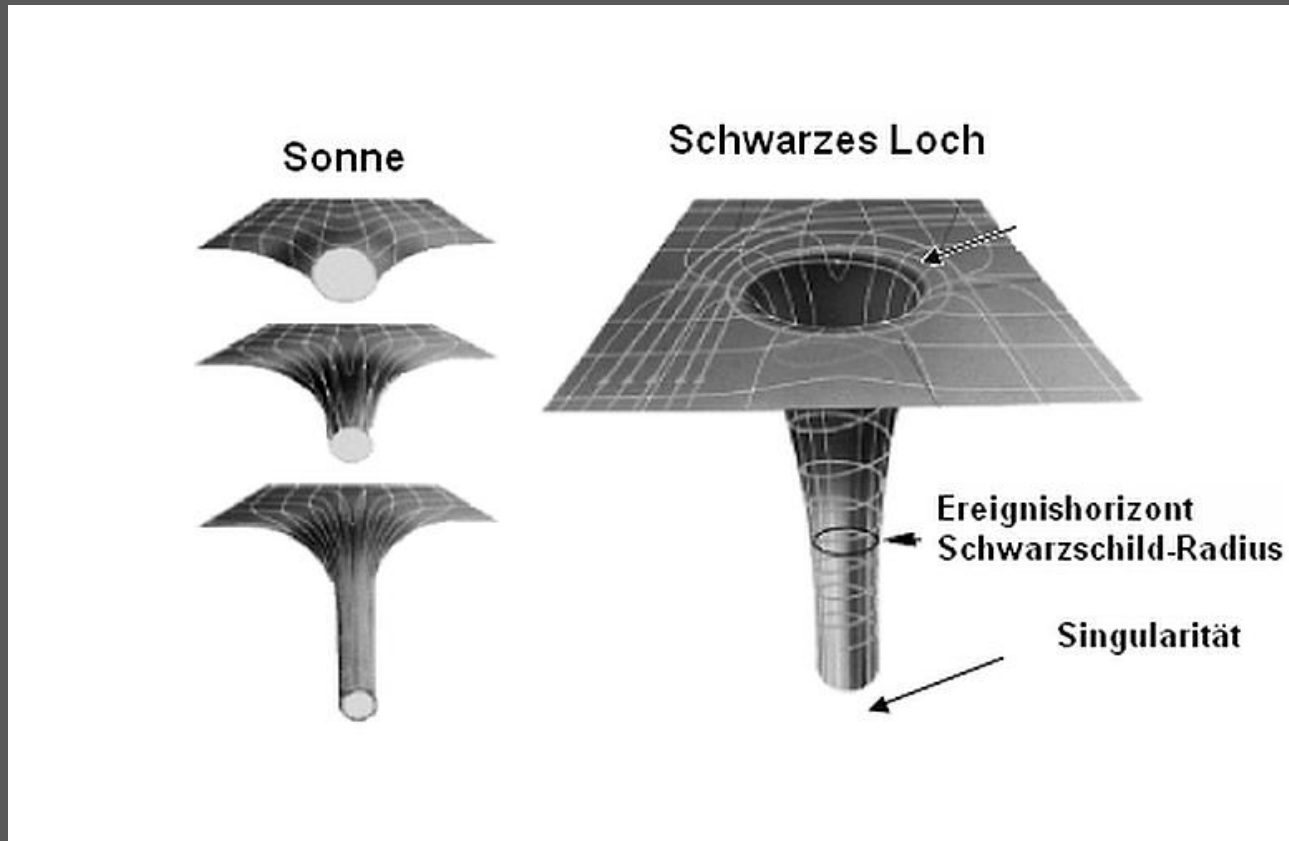
- **Februar 1916: Brief an Schwarzschild: „Es gibt also keine Gravitationswellen, welche Lichtwellen analog wären.“**
- **Juni 1916: an die Preußischen Akademie der Wissenschaften in Berlin: Es gibt sie doch!**
- **Anschließend wieder Zweifel, bis**
- **1918: Es muss Gravitationswellen geben. Eventuell drei verschiedene Arten? Nein, nur eine.**
- **1937: Letzte Arbeit dazu in Princeton.**
- **Einstein: Direkte Messung unmöglich.**

Abgestrahlte Leistung

Einstein: „Gravitationswellen nicht messbar“

Labor: Rotierende Hantel	10^{-26} W
→ nicht messbar	
Erde um Sonne	200 W
Jupiter um Sonne	5300 W
→ nicht messbar	
Doppelsternsystem	10^{15} ... 10^{30} W
Neutronensternsystem	10^{45} W
2 Schwarze Löcher verschmelzen	10^{56} W
Frühes Universum → GWellen Big Bang	
Vgl. Abstrahlung der Sonne	10^{26} W

Schwarze Löcher: unendlich starke Raumkrümmung



Schwarze Löcher....

Verzerren den Raum um sich herum und können
extrem starke Gravitationswellen erzeugen

Gravitationswelle von verschmelzenden Schwarzen Löchern messen

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO)

Zwei Anlagen in Livingston (Louisiana)
Hanford (Washington)

Armlänge: 4000 m

3000 km voneinander entfernt



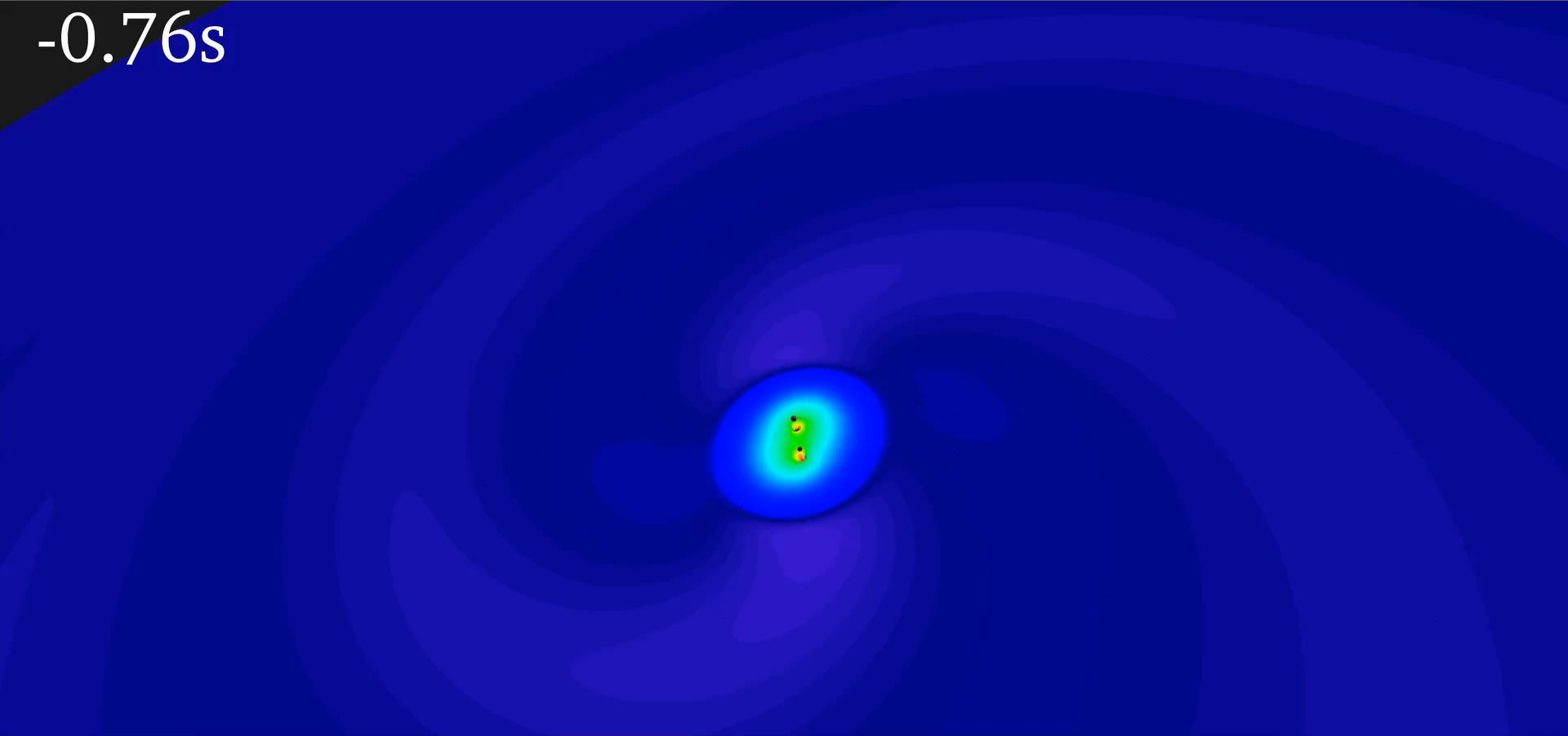
GEO600



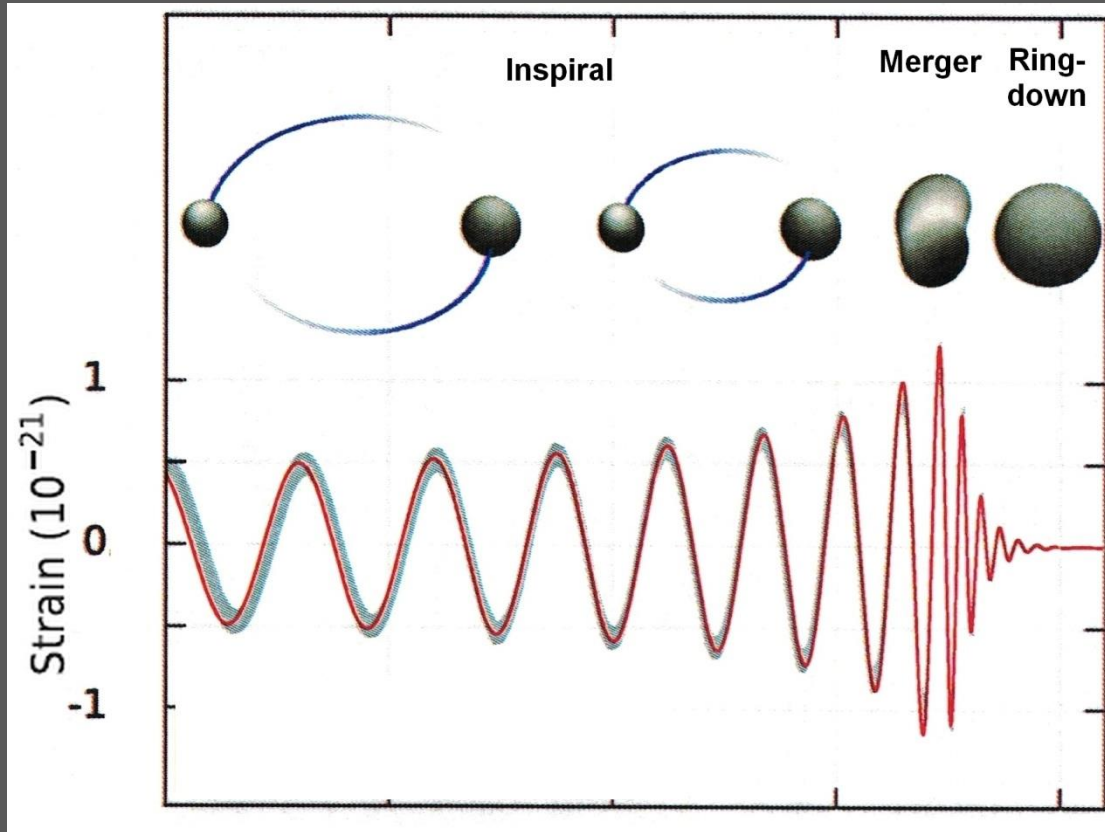
Armlänge: 600 m

Das Ereignis vom 14.9.2015

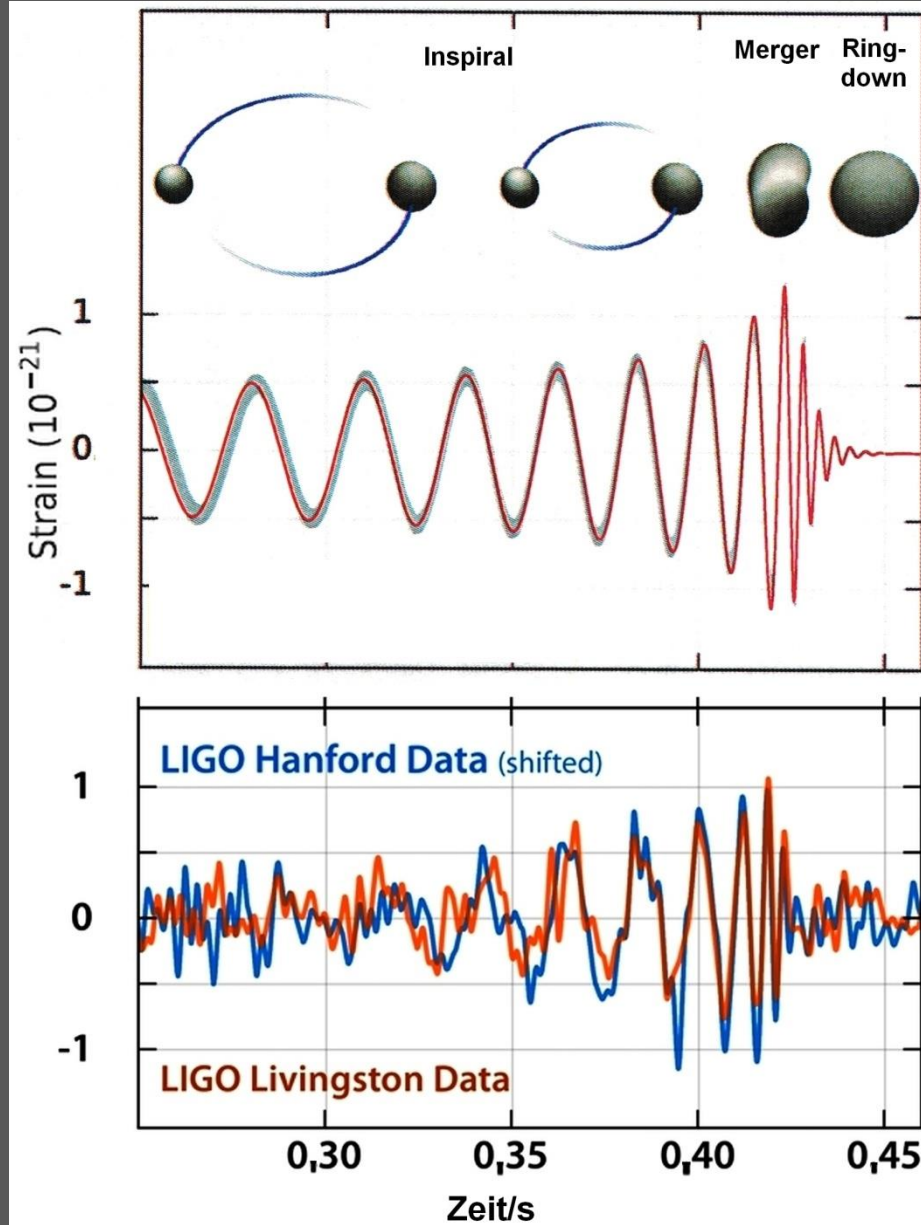
-0.76s



Erwartetes Signal



Erwartetes und gemessenes Signal



Messgrößen

Längenänderung im LIGO-Interferometer:

Ein Tausendstel des Protondurchmessers

Oder

**Änderung der Entfernung zum nächsten Stern Alpha Centauri um
eine Haaresbreite**

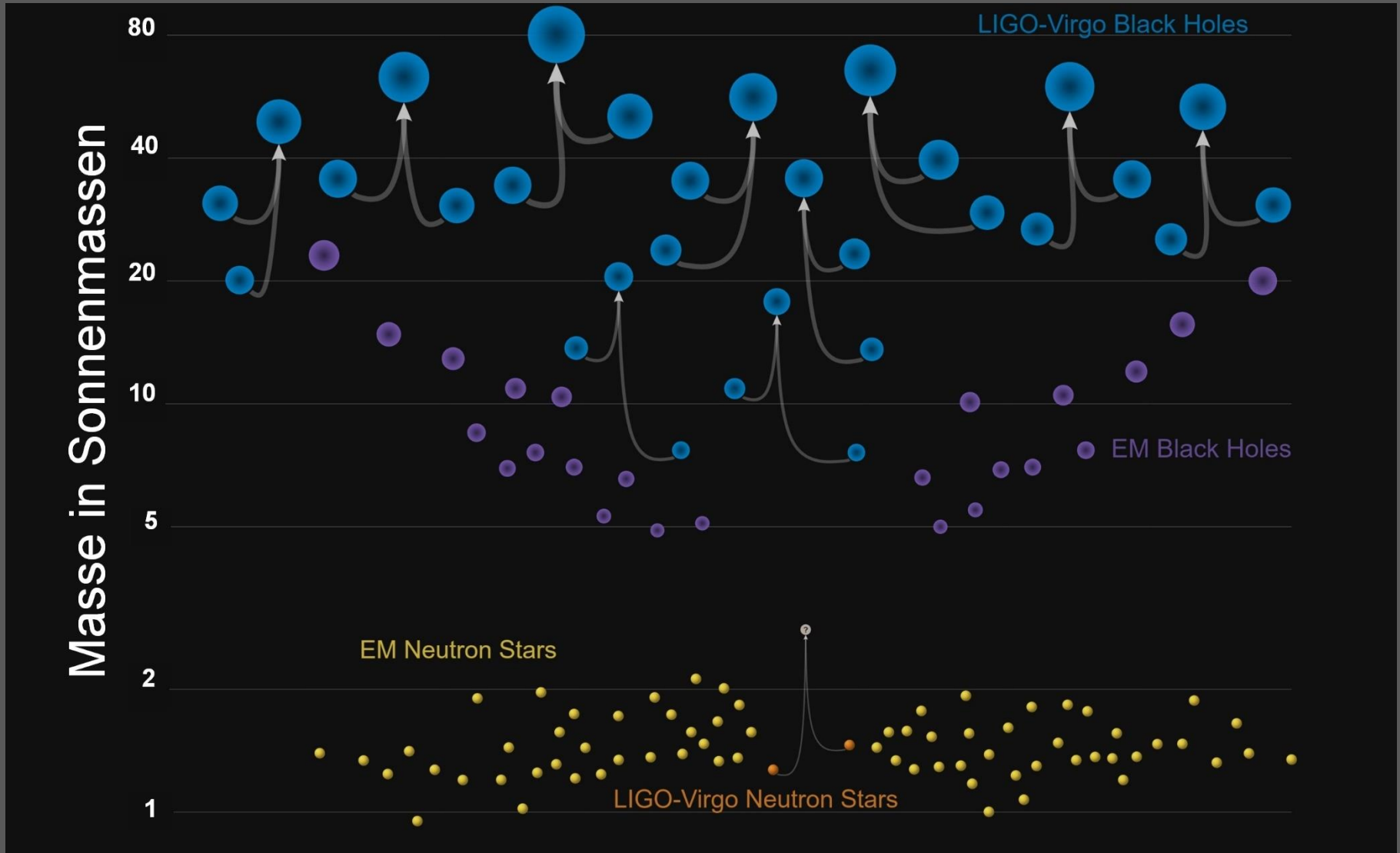
Keinerlei Strahlung

Astrophysikalische Größen

Entfernung:	1,3 Mrd. Lichtjahre
Prim. Schwarzes Loch:	36 Sonnenmassen 110 Kilometer Radius
Sek. Schwarzes Loch:	29 Sonnenmassen 90 Kilometer Radius
Neues Schwarzes Loch:	62 Sonnenmassen 190 Kilometer Radius
Gravitationswelle:	3 Sonnenmassen $5 \cdot 10^{48}$ W, 10^{22} Sonnenleuchtkräfte 500 Milliarden „Milchstraßen“

Die beiden Schwarzen Löcher strahlten in dieser Zehntelsekunde in Form der Gravitationswelle **50-mal mehr Energie ab als alle Sterne im Universum zusammen** in Form von elektromagnetischen Wellen!

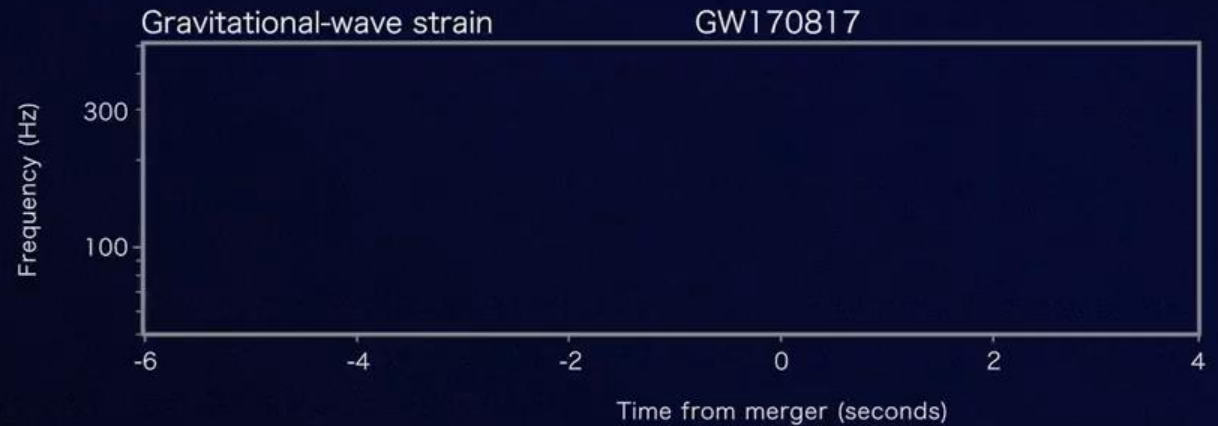
Weitere Entdeckung von verschmelzenden Schwarzen Löchern



GW170817: Verschmelzende Neutronensterne



LIGO



GW170817: Verschmelzende Neutronensterne

Nachbeobachtungen mit 40 Teleskopen

GW170817
DECam observation
(0.5–1.5 days post merger)



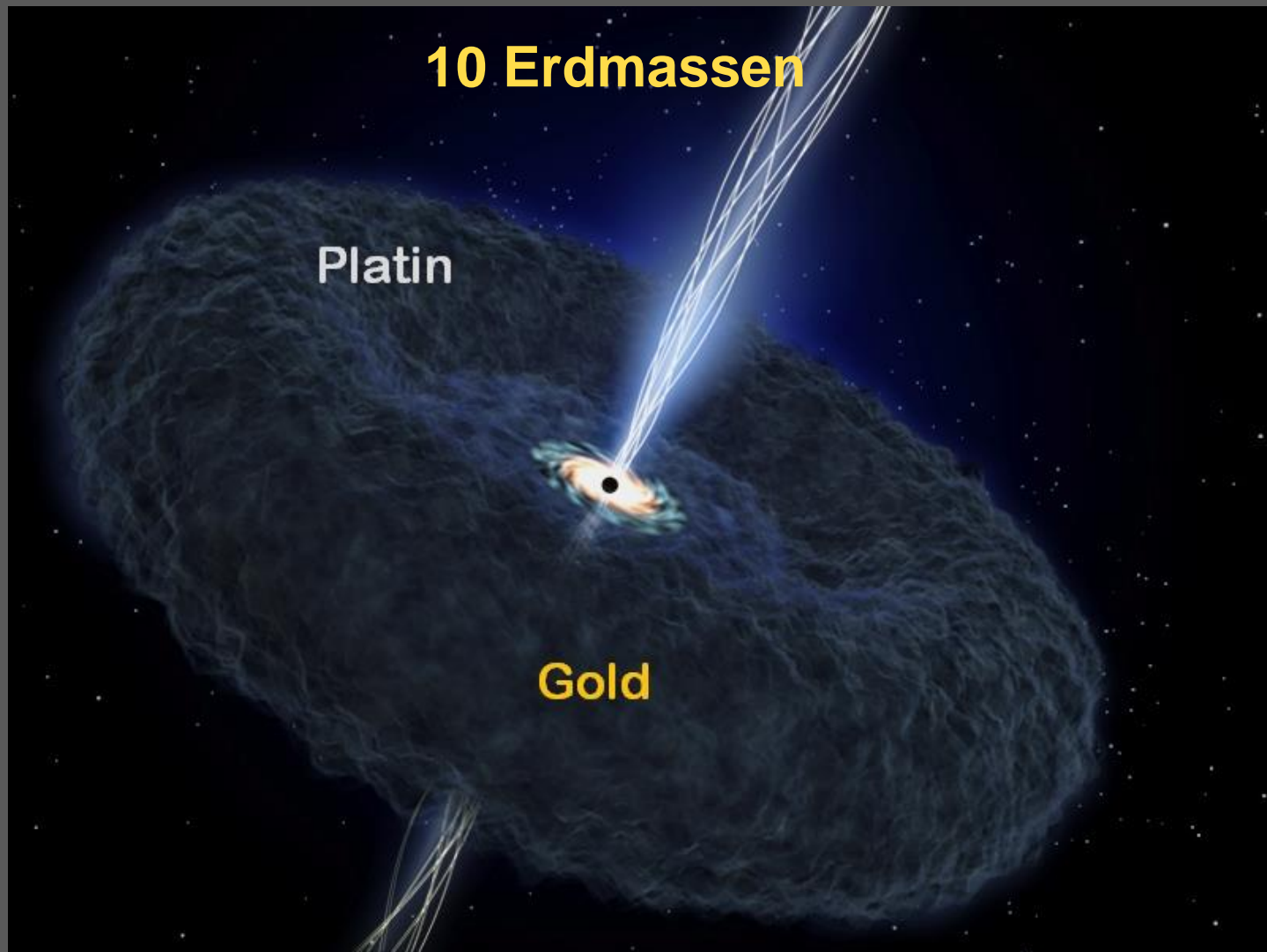
GW170817
DECam observation
(>14 days post merger)



Kollidierende Neutronensterne

Kurze Gammablitzer

Produktionsstätte schwerer Elemente

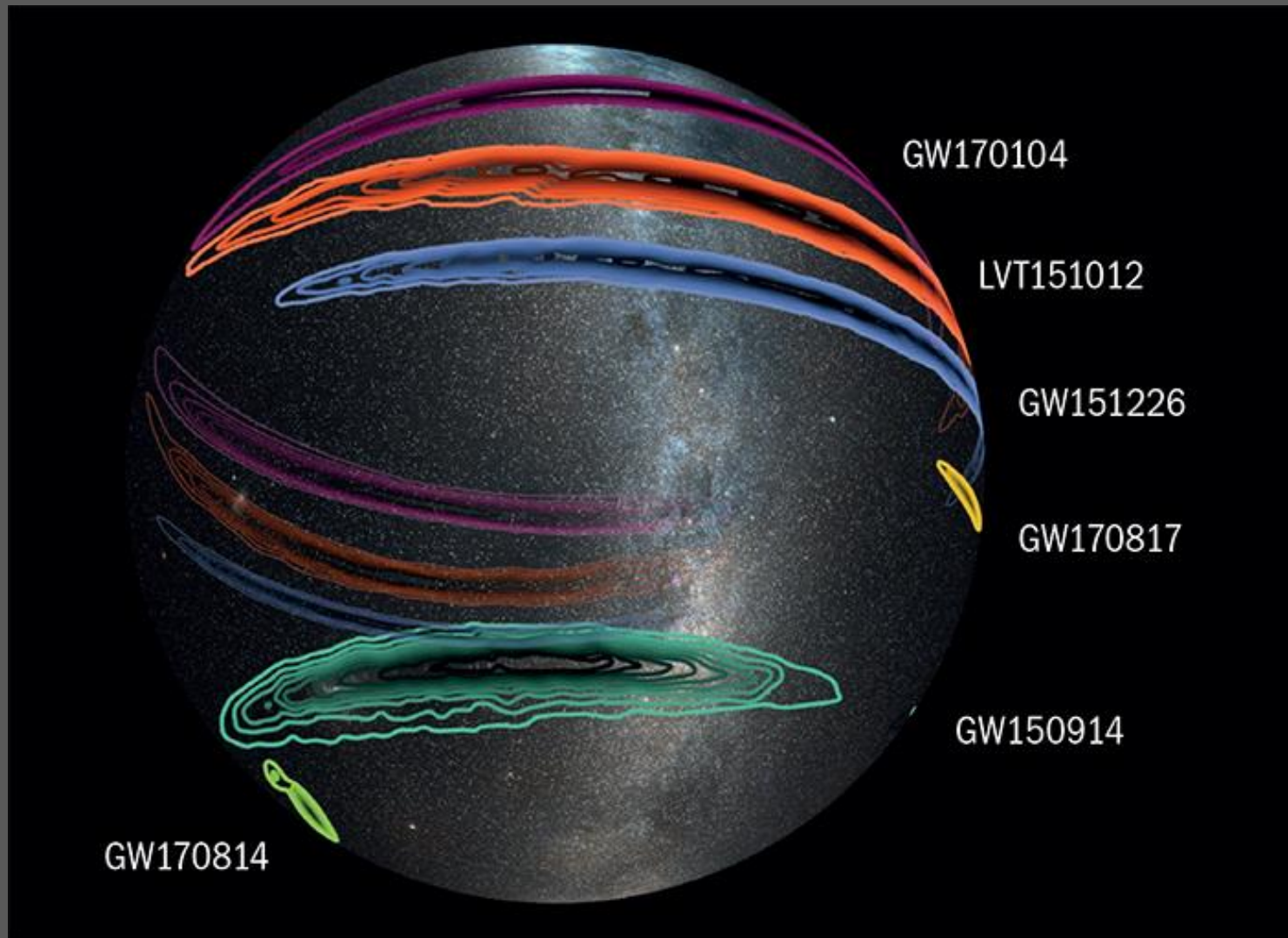


Astrophysikalische Größen

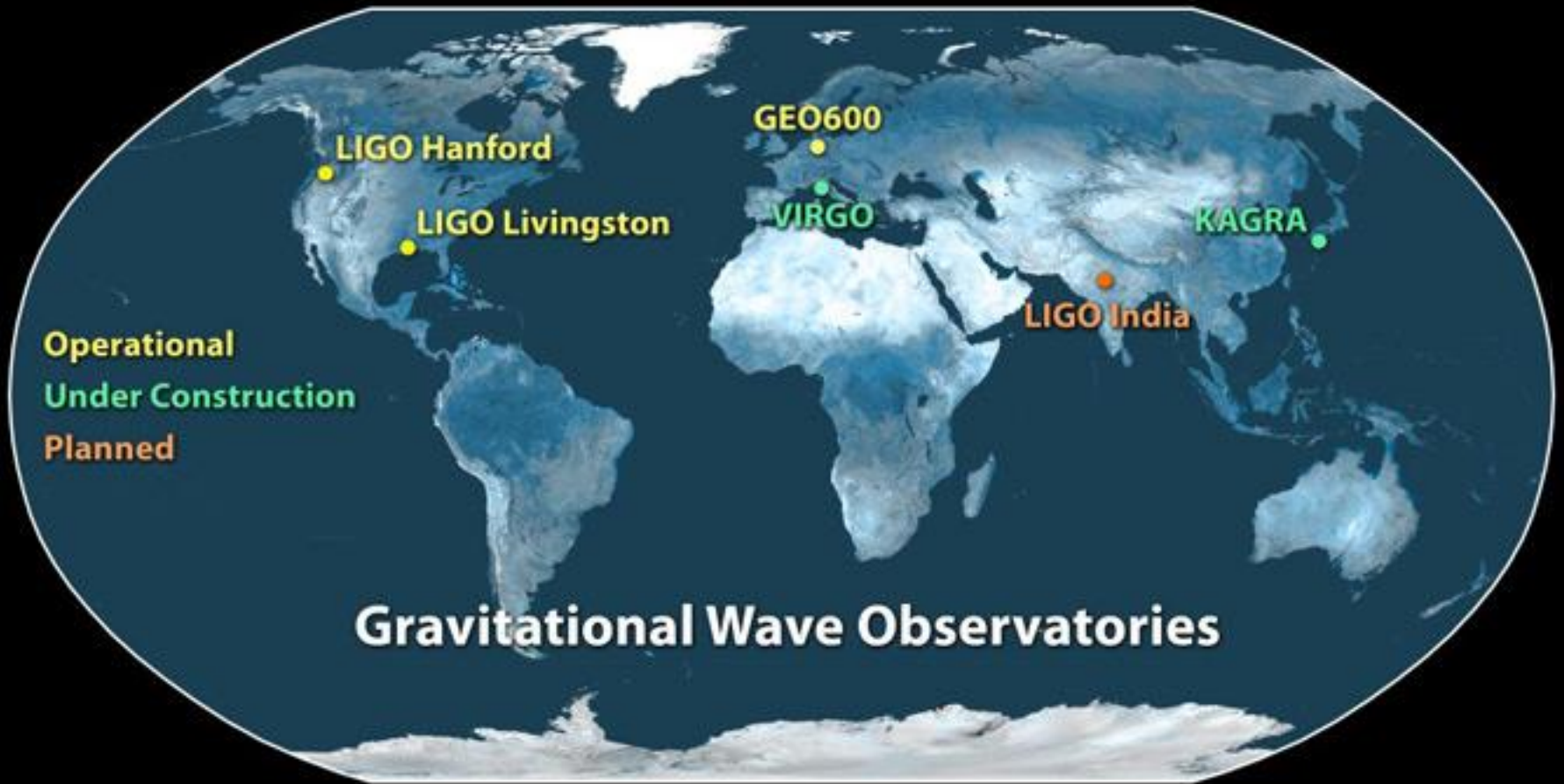
Entfernung:	130 Mio. Lichtjahre (ell. Galaxie NGC4993)
Prim. Neutronenstern:	1,4 – 2,3 Sonnenmassen
Sek. Neutronenstern:	0,9 – 1,4 Sonnenmassen
Neuer Körper:	2,7 – 3,4 Sonnenmassen
Gravitationswelle:	> 0,025 Sonnenmassen

**Der neu entstandene Körper ist entweder ein massereicher Neutronenstern
oder ein Schwarzes Loch**

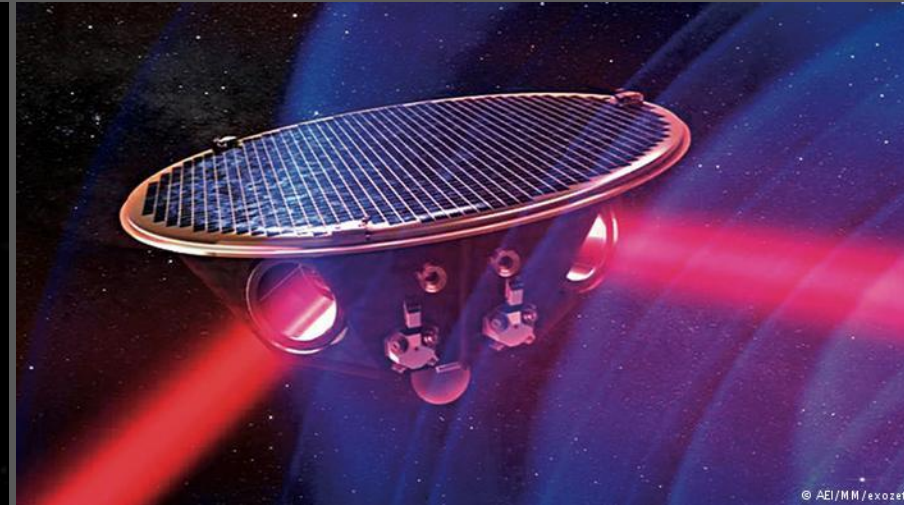
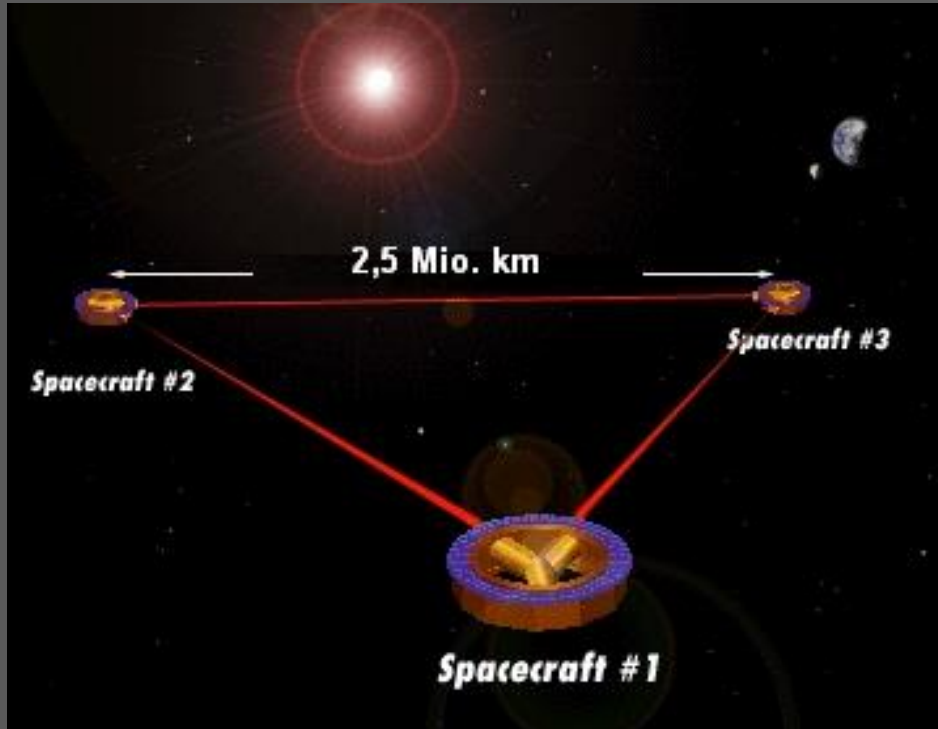
Lokalisierung am Himmel



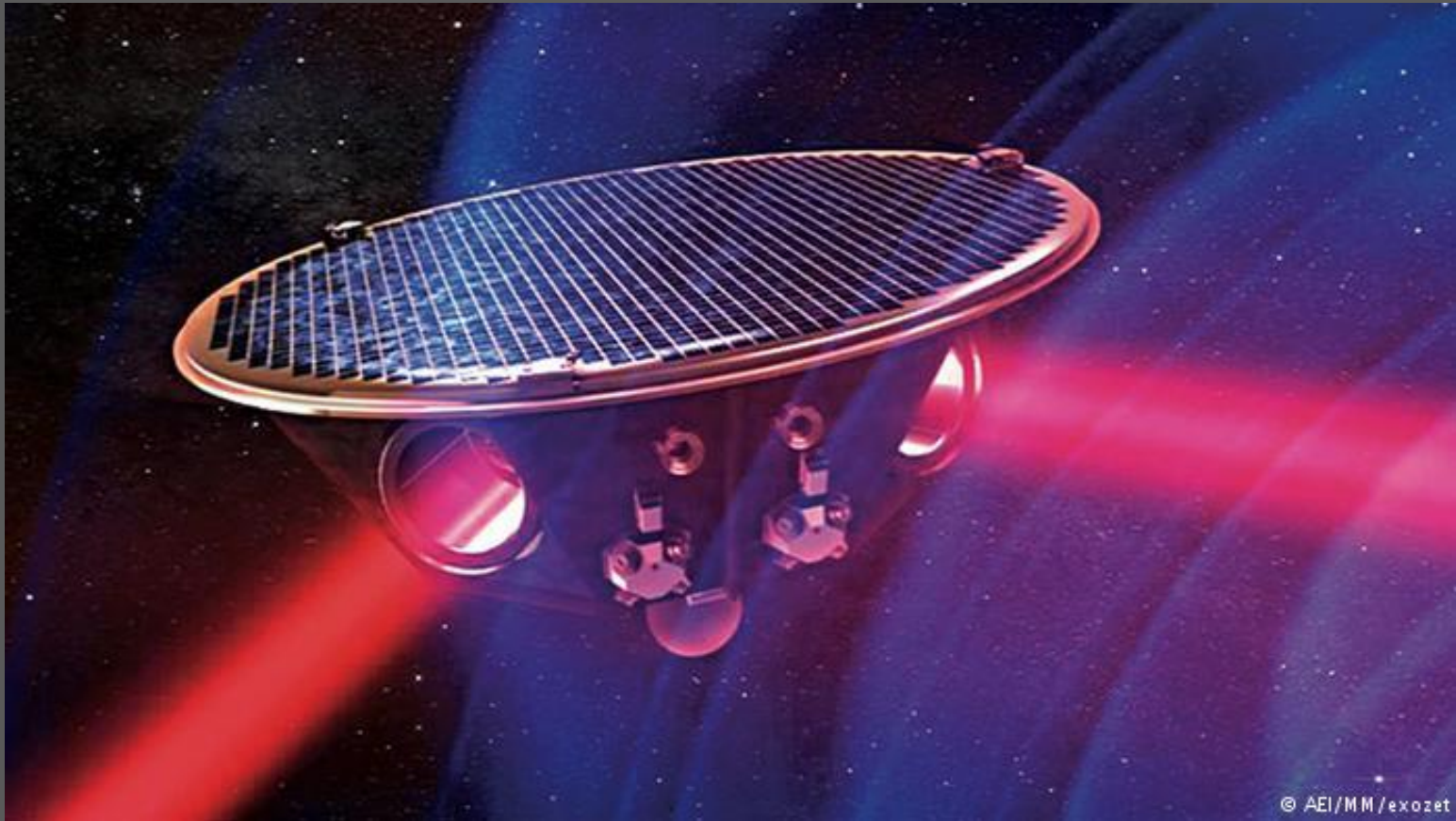
Observatorien weltweit



Gravitationswellen-Astronomie Im All



Gravitationswellen vom Urknall?



Gravitationswellen vom Urknall?

Start wohl nicht vor 2034



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr. Thomas Bührke

www.buehrke.com

thomas@buehrke.com

