

GW170608: LIGOs zwei leichteste Schwarze Löcher?

Englische Originalversion dieser Zusammenfassung und Versionen in anderen Sprachen:

<https://www.ligo.org/science/Publication-GW170608>

Während des zweiten Beobachtungslaufs (O2) der LIGO-Detektoren ([Advanced Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory](#)) wurden Gravitationswellen am 8. Juni, 2017 02:01:16 UTC (am Abend des 7. Juni 2017 in Nordamerika) nachgewiesen. Dieses Signal, bekannt als [GW170608](#), stammt von zwei sich umkreisenden [Schwarzen Löchern](#) und dem resultierenden Zusammenstoß, der von den LIGO-Detektoren in [Livingston, Louisiana](#) und [Hanford, Washington](#) erfasst wurde. Die Verschmelzung dieser Schwarzen Löcher fand in [340 Megaparsecs](#) oder 1,1 Milliarden [Lichtjahren](#) Entfernung statt. Es wird angenommen, dass dies das leichteste System zweier Schwarzer Löcher ist, deren Verschmelzung bisher bekannt gegeben wurde.

Stellare Schwarze Löcher

Schwarze Löcher sind Bereiche in der Raumzeit, die so gekrümmt sind, dass ihnen nichts, nicht einmal Licht, entweichen kann. Sie entstehen, wenn massive Sterne kollabieren, deren Masse so groß ist, dass nichts ihrer Anziehungskraft entkommen kann. LIGO hat bisher vier weitere bestätigte Doppelsysteme aus je zwei Schwarzen Löchern beobachtet, mit einer Gesamtmasse von etwa 20 bis 25 Sonnenmassen ([GW151226](#)) bis zu etwa 60 bis 65 Sonnenmassen ([GW150914](#)). Die neueste Beobachtung, [GW170814](#), wurde zusammen mit dem [Virgo](#)-Detektor in der Nähe von Pisa (Italien) gemacht.

Binärsysteme (Doppelsysteme) von Schwarzen Löchern sind bisher nur durch Gravitationswellen beobachtet worden. Andere Schwarze Löcher in [Binärsystemen, in denen der sekundäre Begleiter ein Stern ist](#), sind ebenfalls bekannt. Diese Systeme emittieren [Röntgenstrahlen](#), die von Weltraumteleskopen wie [Chandra](#) gemessen werden können, und enthalten Schwarze Löcher mit Massen zwischen etwa 5 bis 20 Sonnenmassen. [GW170608](#) ist nach [GW151226](#) das zweite von LIGO entdeckte Binärsystem Schwarzer Löcher, bei denen die Massen der Schwarzen Löcher vergleichbar sind mit denen in durch Röntgenbeobachtungen identifizierten Systemen.

Die LIGO-Detektoren

Die [LIGO-Detektoren](#) sind Instrumente, die sehr genau die Längenänderungen von zwei etwa 4 km langen Armen messen können, die durch den Durchgang von Gravitationswellen verursacht werden. Ein Laserstrahl wird hierbei in zwei Strahlen aufgeteilt und entlang zweier Arme gesendet, wobei sie jeweils mehrfach an Spiegeln reflektiert werden, bevor die Strahlen der beiden Arme wieder vereint werden. Die Maxima in der Laserlichtintensität eines Strahls und die Minima des anderen überlagern sich, so dass sehr wenig Licht detektiert wird; wenn sich die Armlängen ändern, sind die Maxima und Minima nicht mehr perfekt ausgerichtet und mehr Licht kann beobachtet werden. Dies ermöglicht eine sehr genaue Messung des relativen Längenunterschieds der beiden Arme.

Am 8. Juni 2017 arbeitete der LIGO-Detektor in Livingston mit einer hohen Empfindlichkeit. Der

LIGO-Detektor in Hanford hatte eine geringere Empfindlichkeit und wurde einem Routineprozess unterzogen, bei dem die Position des Laserstrahls auf dem Spiegel gemessen wurde. Es wurde festgestellt, dass dieser Prozess die Empfindlichkeit für Gravitationswellen mit Frequenzen unterhalb von etwa 30 Hertz stark reduzierte, aber die Empfindlichkeit oberhalb dieser Frequenz nicht beeinträchtigte. Die Empfindlichkeit der beiden LIGO-Detektoren ist in Abbildung 1 dargestellt, wobei das übermäßige Rauschen im Hanford-Detektor unter 30 Hertz deutlich sichtbar ist. Im Juni 2017 war der Virgo-Detektor in einem frühen Vorbereitungsstadium, bevor er am 1. August 2017 dem zweiten Beobachtungslauf (O2) beitreten sollte. Zu diesem Zeitpunkt war die Empfindlichkeit noch nicht ausreichend, um [GW170608](#) ebenfalls nachzuweisen.

Das Gravitationswellensignal GW170608

Etwa um 9 Uhr Ortszeit wurde ein charakteristisches [Chirp-Signal](#), eine Oszillation die sich in Frequenz und Amplitude über die Zeit erhöhte, in den Daten von LIGO Livingston automatisch erkannt. Abbildung 2 zeigt wie viel Energie als Funktion von Zeit und Frequenz in den Daten der beiden LIGO-Detektoren enthalten ist. Die Daten von LIGO Hanford wurden aufgrund des Routine-Messprozesses nicht automatisch analysiert, es wurde aber später festgestellt, dass die Hanford-Daten über 30 Hertz das gleiche Signal beinhalten. Ein Chirp-Signal ist charakteristisch für zwei große Objekte, die sich umkreisen und schließlich kollidieren.

Aus der Rate, mit der sich die Frequenz erhöhte, wurden die Massen der beiden Objekte auf etwa die 12- und 7-fache [Masse der Sonne](#) bestimmt. Aufgrund dieser Massen wird angenommen, dass beide Objekte Schwarze Löcher waren. Sie haben vergleichbare Massen zu den Schwarzen Löchern im Gravitationswellensignal [GW151226](#), sowie den Schwarzen Löchern, die mit Röntgenstrahlen beobachtet wurden. Abbildung 3 zeigt den wahrscheinlichen Bereich der beiden Massen und den wahrscheinlichen Bereich der Massen für [GW151226](#). Dies zeigt, dass es wahrscheinlich ist, dass [GW170608](#) die niedrigste Gesamtmasse aller binären Schwarzen Löcher besitzt, die [durch LIGO detektiert](#) wurden. Das kleinere dieser beiden Schwarzen Löcher, mit einer Masse von sieben Sonnenmassen, ist eines der leichtesten Schwarzen Löcher, die je von Gravitationswellen detektiert wurden.

Die einzelnen Massen der Schwarzen Löcher von [GW170608](#) geben Wissenschaftlern Hinweise auf die Umgebung, in der diese Schwarzen Löcher gebildet wurden. Wenn massereiche Sterne das Ende ihrer Lebensdauer erreichen, verlieren sie einen großen Teil ihre Masse durch [Sternwinde](#) – Gasströme, die durch den Eigendruck eines Sterns entstehen. Je mehr „schwere“ Elemente (wie Kohlenstoff und Stickstoff) ein Stern enthält, desto mehr Masse wird er verlieren, bevor er zu einem Schwarzen Loch kollabiert. Die Sterne, die die Schwarzen Löcher von [GW170608](#) produzierten, könnten relativ große Mengen dieser Elemente enthalten haben; im Gegensatz zu den Sternen, die größere Schwarzen Löcher bildeten, wie sie im Fall von [GW150914](#) beobachtet wurden.

Der Unterschied in den Ankunftszeiten (ca. 7 Millisekunden) der Signale zwischen Hanford und Livingston erlaubt uns, die Herkunft von [GW170608](#) am Himmel auf mehrere hundert Quadratgrad einzugrenzen. Diese Information wurde an andere Astronomen weitergeleitet, damit diese ihre Teleskope auf ein mögliches elektromagnetisches Signal (Licht) an diesem Ort auszurichten konnten.

Die Gesamtamplitude des Signals ermöglicht, die Entfernung zu den Schwarzen Löchern auf 340 [Megaparsecs](#) oder 1,1 Milliarden [Lichtjahre](#) zu schätzen. Dieses Gravitationswellensignal wurde mit numerischen Simulationen, basierend auf [Einsteins Gleichungen der Schwerkraft](#), verglichen: Kein Unterschied, bis auf das erlaubte Rauschen der Detektoren, wurden gefunden. Dieses Signal gibt also keinen Grund daran zu zweifeln, dass [Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie](#) die Schwerkraft in unserem Universum richtig beschreibt.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN:

- Der [vollständige Fachartikel](#) wurde in „The Astrophysical Journal“ veröffentlicht.
- Das [LIGO Open Science Center](#) bietet direkten Zugang zu den Daten von GW170608: <https://losc.ligo.org/about/>
- Homepage der LIGO Scientific Collaboration: <https://www.ligo.org/>
- Homepage von Advanced Virgo: <http://public.virgo-gw.eu/language/en/>

Mehr über unsere Arbeiten zu Schwarzen Löchern und Gravitationswellen:

- [GW150914: Der erste direkte Nachweis von Gravitationswellen](#) (deutsch)
- [GW150914: First Results from the Search for Binary Black Hole Coalescence with Advanced LIGO](#) (englisch)
- [Properties of the Binary Black Hole Merger GW150914](#) (englisch)
- [Astrophysical Implications of the Binary Black Hole Merger GW150914](#) (englisch)
- [Tests of General Relativity with GW150914](#) (englisch)
- [GW151226: Gravitationswellenbeobachtung zweier verschmelzender Schwarzer Löcher mit insgesamt 22 Sonnenmassen](#) (deutsch)
- [GW170104: Beobachtung des Verschmelzens von zwei Schwarzen Löchern mit insgesamt 50 Sonnenmassen und einer Rotverschiebung von 0,2](#) (deutsch)
- [GW170814: Beobachtung der Gravitationswellen zweier verschmelzender Schwarzer Löcher durch drei Detektoren](#) (deutsch)

Abbildungen aus dem Fachartikel

Weitere Informationen darüber, wie diese Abbildungen erzeugt wurden, und deren Bedeutung finden sich im vollständigen [Fachartikel](#).

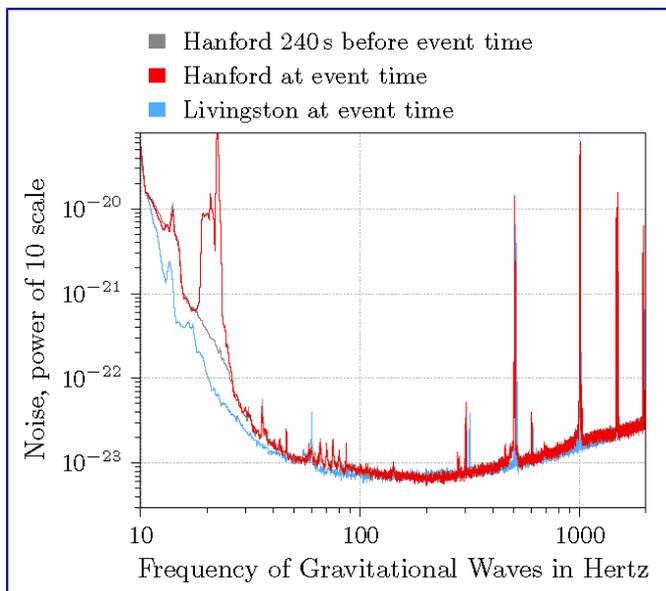


Abbildung 1 . Empfindlichkeit der LIGO-Detektoren in Hanford und Livingston, dargestellt als Stärke des Rauschens auf der Y-Achse und Gravitationswellenfrequenz auf der X-Achse. Die Hanford-Kurve zeigt Rauschen 4 Minuten vor dem Ereignis (grau), welches vor der Inbetriebnahme-Aktivität begonnen hat, und Rauschen während des Ereignisses (rot). Zu beachten ist das viel stärkere Rauschen zwischen etwa 20 Hertz und 30 Hertz im Hanford-Detektor während des Ereignisses. Das Rauschen im Livingston-Detektor ist in blau dargestellt. (Angepasste Version von Abbildung 4 [aus dem Fachartikel](#).)

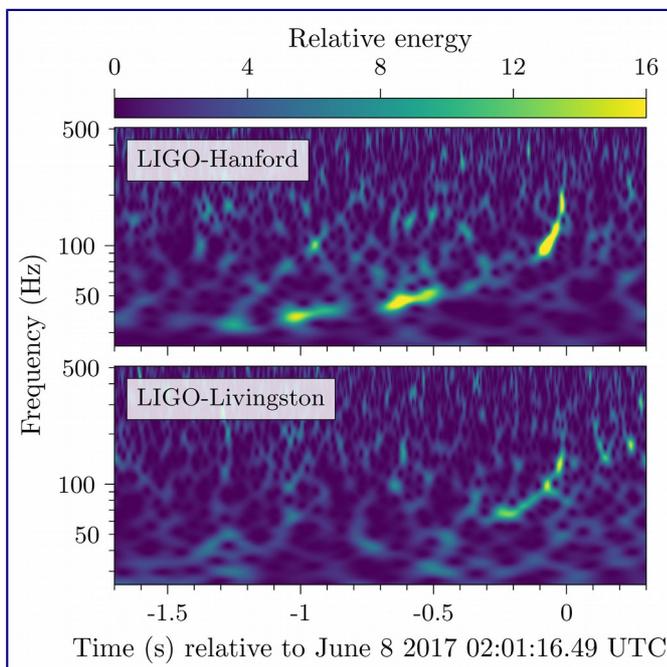


Abbildung 2 . Energie in den LIGO-Daten als Funktion der Zeit in Sekunden entlang der X-Achse und der Frequenz in Hertz entlang der Y-Achse. Die Farben zeigen die Energiemenge zu jeder gegebenen Zeit/Frequenz an und reichen von blau (niedrig) zu gelb (hoch). Die Kurve von links unten nach rechts oben, deutlich sichtbar in den Hanford-Daten und angedeutet in den Livingston-Daten, ist das Gravitationswellensignal von sich umkreisenden Schwarzen Löchern. (Angepasste Version von Abbildung 1 [aus dem Fachartikel](#).)

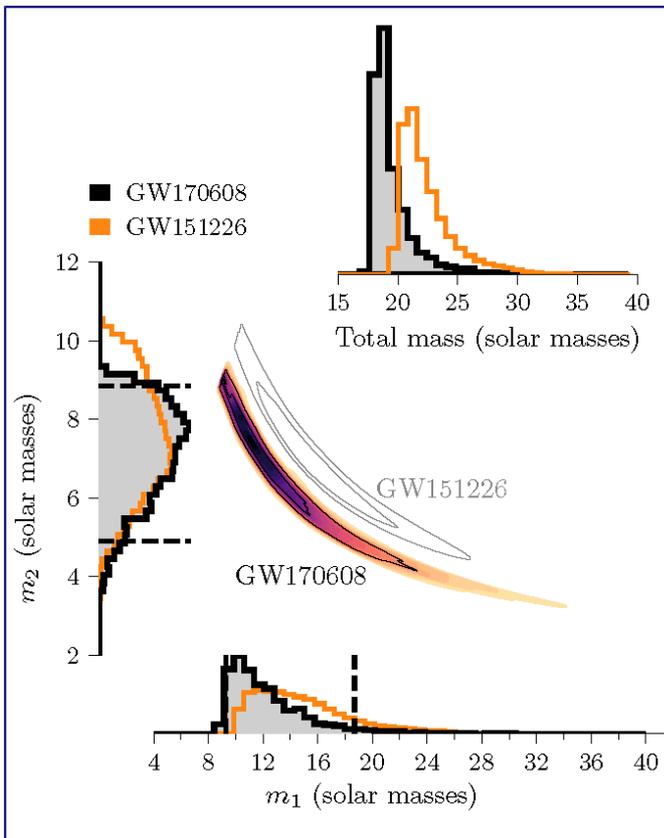


Abbildung 3 . Zentrale Abbildung: Wahrscheinlichkeitsverteilung der Massen m_1 und m_2 des binären Schwarzen Loches in Einheiten der Masse unserer Sonne. Die Verteilung für die Masse des schwereren Schwarzen Loches (m_1) ist auf der horizontalen Achse dargestellt, während die Verteilung für die Masse des leichteren Schwarzen Loches (m_2) auf der vertikalen Achse dargestellt ist. Außerdem ist die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Massen des zuvor detektierten Masse-armen binären Schwarzen Loches, GW151226, dargestellt. Einfügung oben rechts: Die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Gesamtmasse des binären Schwarzen Loches ($m_1 + m_2$) vergleicht GW170608 mit GW151226. (Angepasste Version von Abbildung 2 aus dem [Fachartikel](#).)