

Suche nach dem Überrest von GW170817: Neutronenstern oder Schwarzes Loch?

Englische Originalversion dieser Zusammenfassung und Versionen in anderen Sprachen:
<https://www.ligo.org/science/Publication-GW170817PostMerger/index.php>

Nach der [Entdeckung verschmelzender Neutronensterne](#) durch Advanced [LIGO](#) (das Laser-Interferometer-Gravitationswellen-Observatorium) und [Virgo](#) ist es nur natürlich, die Frage zu stellen: Was passierte mit dem dabei entstandenen Objekt? Das Verschmelzen von zwei Neutronensternen kann im Wesentlichen zu vier Ergebnissen führen: (1) die direkte Bildung eines [Schwarzen Loches](#), (2) die Bildung eines „hypermassiven“ [Neutronensterns](#), der in weniger als einer Sekunde zu einem Schwarzen Loch kollabiert, (3) die Bildung eines „supramassiven“ Neutronensterns, der erst nach einem viel längeren Zeitraum zu einem Schwarzen Loch kollabiert, (4) die Bildung eines dauerhaft stabilen Neutronensterns. Welche dieser vier Möglichkeiten eintritt, hängt davon ab, wie viel Masse im resultierenden Objekt verbleibt, sowie von der Zusammensetzung und den Eigenschaften der Materie im Inneren des Neutronensterns. Wenn man die Massen der ursprünglichen zwei Neutronensterne vor ihrer Verschmelzung kennt, die aus dem gemessenen Gravitationswellensignal ermittelt werden können, und unter einigen Annahmen über die Kompaktheit von Neutronensternen, scheint es am wahrscheinlichsten, dass das resultierende Objekt ein hypermassiver Neutronenstern war, obwohl die anderen Optionen nicht sicher ausgeschlossen werden können. In dieser Analyse suchten wir nach Gravitationswellen aus dem Objekt nach der Verschmelzung; obwohl wir nichts gefunden haben, legen wir damit die Grundlage für zukünftige Suchen, wenn wir die Empfindlichkeit unserer Detektoren weiter verbessert haben und vielleicht auch eine Verschmelzung beobachten können, die noch näher an der Erde stattfindet als GW170817.

Was könnten wir erwarten zu beobachten?

Simulationen sagen voraus, dass das Rest-Objekt, das aus der Verschmelzung zweier Neutronensterne entsteht, auch Gravitationswellen aussendet. Kurzzeitig, weniger als 1 Sekunde nach der Fusion, gibt es ein zu erwartendes Gravitationswellensignal im Frequenzbereich von etwa 1000-4000 Hertz. Die Amplitude und die Frequenz hängen von der Masse ab, die nach der Verschmelzung übrig bleibt, sowie davon, wie kompakt das Restobjekt ist. Aus diesem Grunde könnte der Nachweis eines Signales, das nach dem Verschmelzen entstand, Einblick in die Eigenschaften des ursprünglichen Systems geben, die auf andere Weise schwer zu erforschen wären! Darüber hinaus gibt es Prognosen für langlebige Mechanismen, die anschließend 100-100.000 Sekunden lang Gravitationswellen emittieren können. Die Modelle, die diese Signale vorhersagen, sind weniger sicher als die Modelle für Signale kürzerer Dauer, was bedeutet, dass Schätzungen für ihre Nachweisbarkeit durch Gravitationswellendetektoren um viele Größenordnungen variieren. Da wir nicht wissen, welche Emissionsmechanismen zu erwarten sind, entweder kurz- oder langfristig, verwenden wir mehrere unterschiedliche Strategien, die auf unterschiedliche Signallängen ausgelegt sind.

Wie haben wir nach diesem Objekt gesucht?

Für die Suche war es ein wesentlicher Vorteil, dass das Verschmelzen der beiden Neutronensterne ein [Multi-Messenger-Ereignis](#) war; mit der genauen Kenntnis, wo am Himmel es stattfand! Da Teleskope Licht aus der Zeit nach der Kollision aufspüren, bedeutet dies, dass wir die Richtungen, in denen wir nach Gravitationswellen aus dem Überrest nach dem Verschmelzen suchen mussten, erheblich einschränken konnten. Anstatt an vielen möglichen Positionen am Himmel zu suchen, konnten wir die Suche auf ein einzelnes Gebiet einschränken. Dies reduzierte die Rechenzeit sowie die Gefahr, dass unsere Algorithmen Schwankungen im Detektorrauschen mit (Kandidaten für) echte Gravitationswellen verwechseln. Diese Algorithmen sind so ausgelegt, dass sie gewöhnlich nach jeder Art von möglichen Signalen suchen, die gleichzeitig in allen an der Analyse beteiligten Gravitationswellendetektoren auftreten; sie sind nicht für ein bestimmtes Modell der Gravitationswellenemission optimiert. (Obwohl dies zukünftige Suchen verbessern könnte.) Im Wesentlichen suchen diese Algorithmen nach Mustern in [Spektrogrammen](#): Farbbildern der Gravitationswellendaten als eine Funktion der Zeit entlang der horizontalen Achse, und der Frequenz der vom Detektor gemessenen Fluktuationen entlang der vertikalen Achse. Im Gegensatz zum [Chirp-Signal](#), das aus einem „Inspiral“ (zwei sich immer schneller umkreisenden Objekten) entsteht, treten die Muster, nach denen wir hier suchen, *nach* dem Verschmelzen der zwei Objekte auf, mit einer anderen Form und bei höheren Frequenzen.

Wir suchen zuerst nach kurzzeitigen, hochfrequenten Gravitationswellen. Diese Analyse hat kein Gravitationswellensignal nach der Verschmelzung entdeckt. Für länger andauernde Signale ist die Idee ähnlich, obwohl wir noch nicht alle Zeitspannen untersuchen: Im längsten Teil unserer Suche zerlegen wir die Daten vom Zeitpunkt der Fusion bis zum Ende des Beobachtungslaufs in Intervalle von je 500 Sekunden und suchen in jedem dieser Intervalle einzeln nach Gravitationswellen. Daher nennen wir dies nur eine Analyse „mittellanger“ Signaldauern. Die Ergebnisse waren jedoch die gleichen: Es wurde kein Signal entdeckt.

Was bedeutet das alles?

Die Tatsache, dass wir keine Entdeckung machten, können wir immerhin nutzen, um die Energiemenge einzuschränken, die in Form von Gravitationswellen nach der Verschmelzung abgestrahlt wurde. Wir tun dies, indem wir künstliche Gravitationswellensignale in die Detektordaten einfügen. Diese entsprechen Modellen für die Art von Signalen, nach denen wir suchen, und wir wiederholen unsere Analysen mit den modifizierten Daten, um zu bestimmen, wie viel abgestrahlte Energie erforderlich wäre, um diese Art von Signalen zu erkennen. Im Allgemeinen hätten wir erst bei Energien, die größer sind als die ursprüngliche Gesamtenergie des Systems, etwas entdecken können.

Dies motiviert uns, die Analysen in der Zukunft mit verbesserten Algorithmen zu wiederholen; sowie auch für Ereignisse, die wir später beobachten, wenn wir leistungsstärkere (empfindlichere) Gravitationswellendetektoren zur Verfügung haben. Verbesserungen in den Algorithmen könnten wir aus unserem Wissen über die Inspirals-Phase ableiten, indem wir genauer einschränken, wie das Signal nach der Verschmelzung aussehen könnte, oder sogar mit Suchmethoden, die genau auf spezifische Modelle der Emission nach der Verschmelzung abzielen. Es sind auch Suchen auf noch längeren Zeitskalen geplant, die alle verfügbaren Daten nach der Verschmelzung gleichzeitig durchsuchen, anstatt sie in 500-Sekunden-Intervalle zu zerlegen.

WEITERFÜHRENDE INFORMATIONEN:

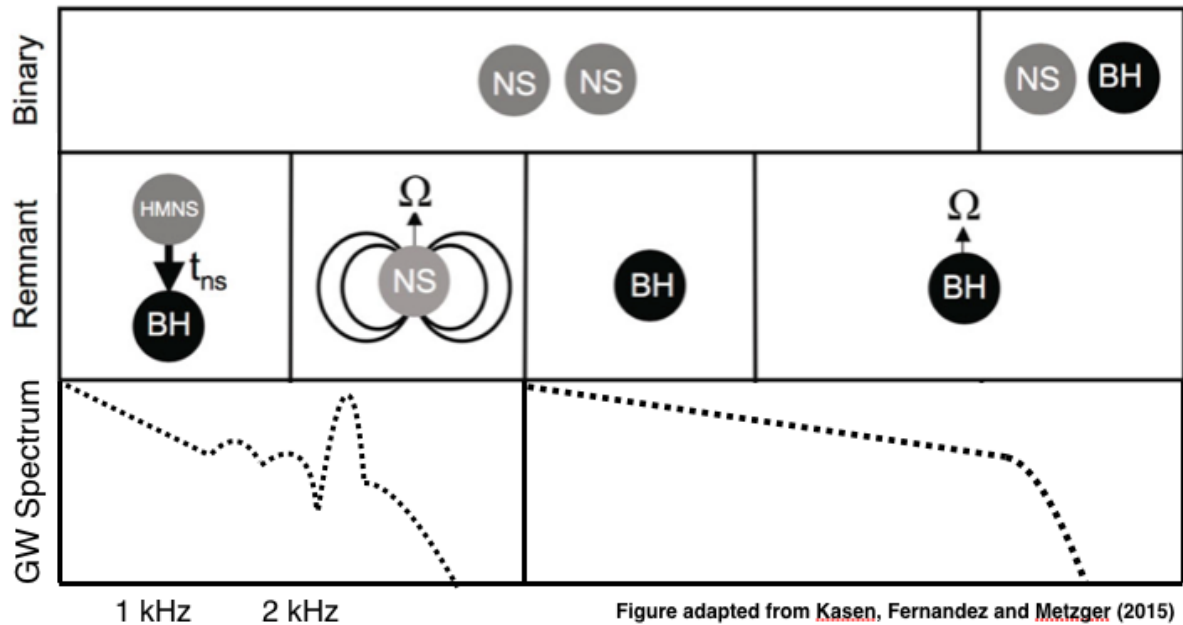
- Der vollständige Fachartikel ist [hier](#) gratis abzurufen und wurde in der Zeitschrift „Astrophysical Journal Letters“ [veröffentlicht](#).
- Websites von LIGO und Virgo: <https://www.ligo.org>, <http://www.virgo-gw.eu>
- LIGO Open Science Center mit Zugang zu den Rohdaten von GW170817: <https://losc.ligo.org>

Allgemeinverständliche Zusammenfassungen weiterer Veröffentlichungen über die Entdeckung und Bedeutung von GW170817:

- [GW170817: Gravitationswellenbeobachtung eines Doppel-Neutronenstern-Systems](#)
- [Multi-Messenger-Beobachtungen eines verschmelzenden Doppelneutronensterns](#)
- [Gravitationswellen und Gamma-Strahlen von verschmelzenden Neutronensternen: GW170817 und GRB 170817A](#)
- [Messung der Expansion des Universums mit Gravitationswellen](#)
- [Vorhersage der Folgen der Neutronensternkollision, die GW170817 produzierte](#)
- [Die Herkunft von GW170817: Neutronensterne, Supernovae und Billard-Tricks](#)
- [Die Hintergrundsymphonie der Gravitationswellen von verschmelzenden Neutronensternen und schwarzen Löchern](#)
- [Suche nach hochenergetischen Neutrinos vom verschmelzenden Doppelneutronenstern GW170817 mit ANTARES, IceCube und dem Pierre-Auger-Observatorium](#)

Glossar

- **Schwarzes Loch:** Eine Region der Raumzeit, in der durch eine extrem kompakte Masse die Schwerkraft so stark ist, dass alles, einschließlich Licht, daran gehindert wird, zu entkommen.
- **Neutronenstern:** Extrem dichtes Objekt, das nach dem Zusammenbruch eines massiven Sterns übrig bleibt. Ein typischer Neutronenstern wiegt eine halbe Million mal die Masse der Erde, hat aber nur einen Durchmesser von unter 30 km.
- **Hypermassiver Neutronenstern:** Ein Neutronenstern, der in weniger als 1 Sekunde zu einem Schwarzen Loch kollabiert, da er so schwer ist, dass er nur kurzzeitig durch Differentialdrehung und Temperaturgradienten (unterschiedliche Drehgeschwindigkeit und Temperatur in verschiedenen Schichten) stabilisiert werden kann.
- **Supramassiver Neutronenstern:** Ein etwas leichterer Neutronenstern, der in 10 bis 1000 Sekunden zu einem Schwarzen Loch kollabiert, da er durch normale Rotation stabilisiert wird, die sich aber im Laufe der Zeit zu sehr verlangsamt. Nur noch leichtere Neutronensterne können dauerhaft stabil bleiben.
- **Multi-Messenger-Astronomie:** Der Zweig der Astronomie, der Beobachtungen von zwei oder mehr verschiedenen Arten von Signalen oder „Boten“, wie Gravitationswellen, elektromagnetischen Wellen oder Neutrinos, zu kombinieren versucht. (Oder auch: Beobachtungen „auf mehreren Kanälen“.)



Schematische Darstellung der vier möglichen Ergebnisse, wenn zwei Neutronensterne (NS) oder auch ein Neutronenstern und ein Schwarzes Loch (BH) verschmelzen:

- (1) Der schnelle Zusammenbruch zu einem Schwarzen Loch (BH).
- (2) Die Bildung eines hypermassiven Neutronensterns (HMNS), der rasant zu einem Schwarzen Loch kollabiert.
- (3) Die Bildung eines supramassiven Neutronenstern (SMNS), der erst nach viel längerer Zeit zu einem Schwarzen Loch kollabiert.
- (4) Die Bildung eines stabilen Neutronensterns.

Die unterste Reihe zeigt dazu auch die Form der möglichen Gravitationswellenemission.

Abbildungen aus dem Fachartikel

Weitere Informationen zu dieser Darstellung finden sich im [vollständigen Artikel](#).

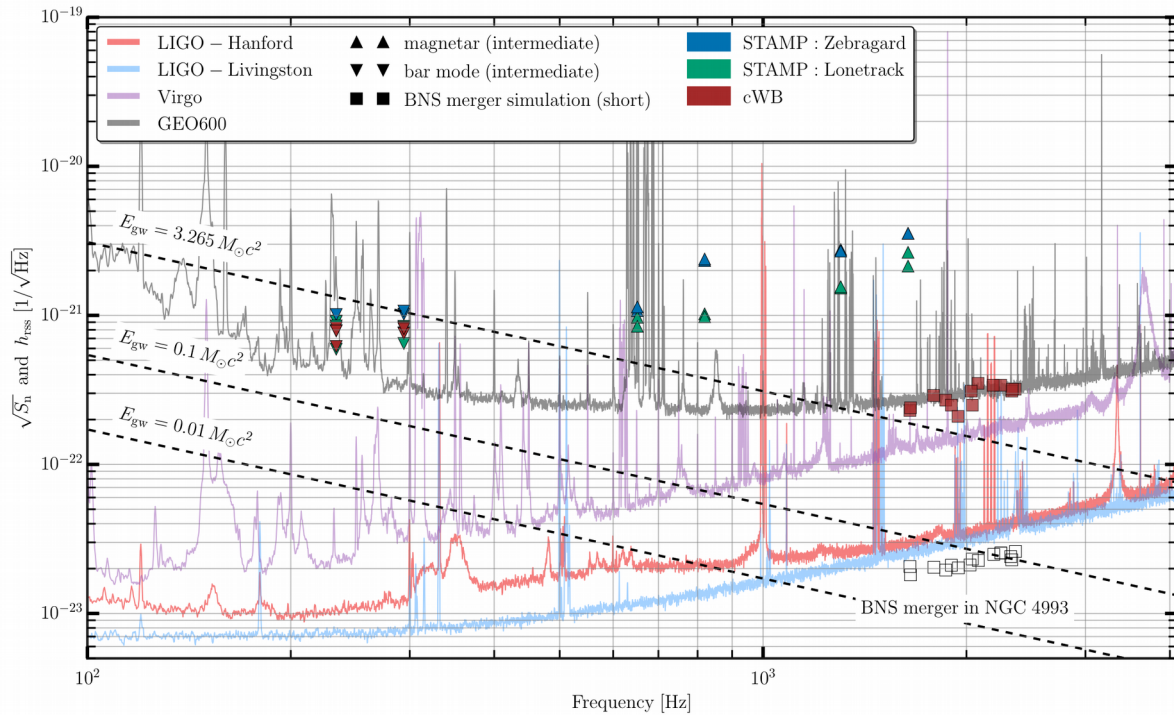


Abbildung 1: Rauschspektrum der Gravitationswellendetektoren (durchgezogene Linien) und die Amplituden bestimmter Arten von Gravitationswellen, die benötigt werden, um jeweils 50% der simulierten Signale eines bestimmten Typs zu erfassen (Dreiecke und Quadrate). Die oberste gestrichelte schwarze Linie entspricht der physikalischen Grenze im Parameterraum, darüber wird mehr Energie ausgesendet als in der gemessenen Gesamtmasse des Binärsystems vorhanden ist. Nicht-gefüllte Quadrate stellen realistische Modellvorhersagen für Signale dar, die weniger als eine Sekunde dauern.