

Harald Lesch (Hrsg.)

**Die Entdeckung der Gravitationswellen**



Harald Lesch (Hrsg.)

# **Die Entdeckung der Gravitationswellen**


Oder warum die Raumzeit  
kein Gummituch ist

Mit Beiträgen von

Martin Dittgen, Timothy Hall,  
Till Heckelbacher, Matthias Helsen,  
Florian Selig, Judith Selig,  
Florian Zeller, Roman Zitlau

**C. Bertelsmann**

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten,  
so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung,  
da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf  
deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.

 Dieses Buch ist auch als E-Book erhältlich.



Verlagsgruppe Random House FSC® N001967

1. Auflage 2017

© C. Bertelsmann Verlag, München,  
in der Verlagsgruppe Random House GmbH,  
Neumarkter Straße 28, 81673 München  
Umschlaggestaltung: Büro Jorge Schmidt, München  
Bildredaktion: Susanne Maier

Satz: Uhl + Massopust, Aalen  
Druck und Bindung: Friedrich Pustet GmbH, Regensburg  
Printed in Germany  
ISBN 978-3-570-10348-7

[www.cbertelsmann.de](http://www.cbertelsmann.de)

# Inhaltsverzeichnis

- 7 Vorworte
- 11 Nachruf  
MATTHIAS HELSEN
- 15 Gravitation und Allgemeine Relativitätstheorie  
MARTIN DITTFEN
- 23 Die Raumzeit ist kein Gummituch  
HARALD LESCH
- 27 Gravitationswellen!?! Was ist das eigentlich?  
TILL HECKELBACHER
- 39 Zwei Giganten in der Einsamkeit  
FLORIAN ZELLER
- 49 Supernova  
JUDITH SELIG
- 57 Zwei Schwarze Löcher auf dem Weg  
zur Verschmelzung  
HARALD LESCH
- 61 Zwei Schwarze Löcher im Teufelskreis  
ROMAN ZITLAU

- 65** Tanz der Vampire  
MARTIN DITTGEN
- 69** Die Reise der Gravitationswellen  
HARALD LESCH
- 73** Wellen und Interferenzen  
TIMOTHY HALL
- 77** Die Messtechnik  
FLORIAN SELIG
- 87** Die Suche geht erfolgreich weiter  
HARALD LESCH
- 103** Wie groß ist das Universum?  
TIMOTHY HALL
- 109** Primordiale Gravitationswellen  
TILL HECKELBACHER
- 115** Abschirmung von Kräften  
MARTIN DITTGEN
- 119** Dank
- 121** Quellen
- 123** Autoren
- 127** Abbildungsnachweis

## Vorworte

Dieses Buch ist das zweite von zwei und vielleicht noch mehr Büchern, die wir gemeinsam schreiben. Wir, das ist eine kleine Gruppe von Studierenden aus verschiedenen Fachrichtungen und solchen, die mit dem Studium schon fertig sind. Wir sitzen also teilweise noch in Vorlesungen, halten Vorlesungen, tüfteln an Doktor- und Forschungsarbeiten oder versuchen anderweitig, im Arbeitsalltag – mit dem gesammelten Physikwissen – unseren Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt zu leisten.

Unser letztes Buch, *Die Entdeckung des Higgs-Teilchens*, drehte sich um eine der wichtigsten Entdeckungen auf dem Gebiet der Physik, und weil dieses Buch anscheinend eine zufriedene Leserschaft gefunden hat, wollten wir uns auch bei unserem zweiten Buch einer ebenso bedeutenden Entdeckung zuwenden. Dieses Mal geht es jedoch um ein viel größeres kosmisches Beben, das die Erde am 14. September 2015 ganz leicht »wackeln« ließ. Die Rede ist von der Entdeckung der Gravitationswellen an diesem Tag – von Fachleuten als Signal GW150914 bezeichnet.

Die theoretischen Grundlagen dieser Entdeckung – auch unter dem Namen *Allgemeine Relativitätstheorie*

bekannt – wurden bereits vor über 100 Jahren von Albert Einstein erdacht. Doch bedurfte es sehr langer Zeit und wiederum einer großen Anzahl von Technikern und Forschern, um Einsteins Annahmen experimentell zu bestätigen. Dazu mussten erst in mühevoller Kleinarbeit die entsprechenden Technologien und die gigantischen, hochkomplexen Messinstrumente entwickelt werden.

Großen Anteil daran haben das LIGO-Projekt, ein 1992 von Kip Thorne und Ronald Drever vom California Institute of Technology und von Rainer Weiss vom MIT in den USA gegründetes Observatorium mit zwei Standorten, sowie das MIT (Massachusetts Institute of Technology). Nach ersten Anfängen und Kooperationen in den 1970er-Jahren nahm die Suche nach den Gravitationswellen ab den 1990er-Jahren immer konkretere Formen an. Am LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) organisierte dessen Direktor Barry Barish den Ausbau der Interferometer und die internationale Zusammenarbeit für dieses Projekt. Dabei wurden Präzision und Empfindlichkeit ständig erhöht und die Reichweite vergrößert. Seit 2002 sind die gigantischen LIGO-Detektoren im Dauereinsatz auf der Suche nach Gravitationswellen – und im September 2015 waren die Gravitationswellenjäger von LIGO dann tatsächlich erfolgreich!

Heute sind allein für das LIGO-Projekt mehrere hundert Wissenschaftler in über 40 Instituten weltweit tätig. Und wiederum zahlreiche Forscher sind an anderen wis-



senschaftlichen Einrichtungen mit der Überprüfung von Messresultaten, der Verfeinerung der Messtechnik, der Formulierung neuer Thesen und Forschungsansätze für dieses Projekt etc. beschäftigt, in Deutschland etwa im Rahmen der Detektoren-Projekte GEO600 und LISA Pathfinder federführend Karsten Danzmann vom Albert-Einstein-Institut. Zu Recht wurde nun der Physik-Nobelpreis 2017 an die drei Gravitationswellen-Pioniere Rainer Weiss, Kip Thorne und Barry Barish verliehen – in Wirklichkeit gehört er aber allen weltweit Beteiligten an diesem Projekt.

Zurück zu diesem Buch: Da es kein einfaches Thema ist, haben wir uns um einen allgemein verständlichen, eher belletristischen Schreibstil bemüht und überfallen Sie, geschätzte Leserinnen und Leser, gleich mit zwei Vorworten, wovon eines ein Nachruf ist, der aus irgendeinem Grund am Anfang steht. Anschließend wollen wir Ihnen die theoretischen Grundlagen, die hinter den Gravitationswellen stecken, näherbringen: die Allgemeine Relativitätstheorie und die Gravitation. Ein weiteres Kapitel beschäftigt sich mit dem Begriff »Raumzeit« und den Ursachen dafür, warum für Physiker Raum und Zeit nicht unabhängig voneinander sind. Das letzte der eher theoretischeren Kapitel befasst sich dann mit den Gravitationswellen selbst.

Damit sind die Grundlagen gelegt, und wir können uns der Frage zuwenden: Wie entstehen Gravitationswellen? Die recht naheliegende Antwort: durch Sterne und

ihr unvermeidliches, spektakuläres Ende. Die Überreste dieser »Sternleichen« haben jedoch genug Sprengkraft, um nach einer langen Periode der scheinbaren Ruhe erneut das Universum zu erschüttern. Bei ihrer Reise durch das Universum erlebt die Gravitationswelle einiges Kuriose, bis sie schließlich auf den Planeten Erde trifft, ohne dass die meisten ihrer Bewohner davon Notiz nehmen. Schließlich verraten wir Ihnen, welches Handwerkszeug man benötigt, um dieses »Allbeben« zu registrieren.

Sollten Sie nach dieser Abenteuerreise Lust auf mehr verspüren, halten wir noch eine Zugabe für Sie bereit.

Viel Vergnügen!

*Harald Lesch, Martin Dittgen, Timothy Hall,  
Till Heckelbacher, Matthias Helsen, Florian Selig,  
Judith Selig, Florian Zeller, Roman Zitlau*

## Nachruf

Matthias Helsen

*Sensationelle Entdeckung hält die Welt in Atem – Einsteins Gravitationswellen gefunden – Spricht das Universum zu uns?*

Das waren nur einige der Schlagzeilen, die am 11. Februar 2016, als das in Rede stehende Ereignis bekannt gegeben wurde, über die Bildschirme liefen und die Titelseiten unzähliger Zeitungen und Magazine zierten. Und auch auf Facebook wurde rege darüber diskutiert. Das Ereignis war an diesem Tag kaum zu toppen. Wenigstens soll an dieser Stelle all den armen Schlagzeilen, die an diesem Tag ihr Dasein im Schatten der bedeutendsten Breaking News seit der Entdeckung des Higgs-Teilchens fristen mussten, adäquat Tribut gezollt werden.

Nicht jeder wusste von den Geschehnissen in den *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatories* (abgekürzt LIGO) in Hanford und Livingston (US-Bundesstaaten Washington und Louisiana) und der Entdeckung mit dem kryptischen Titel »GW150914«. Manche waren am 11. Februar 2016 eher bekümmert darüber, dass das Wetter am Alpenrand genauso häufig zwischen Schnee und Regen schwankte, wie manche Politiker während des Wahlkampfes ihre Meinung ändern.

Dabei hatte die Kälte kaum Auswirkungen auf den Tourismus. Bereits im Februar wurde bekannt gegeben, dass die Hotels in Deutschland auf ein Rekordjahr zusteuern würden. Eine sehr beunruhigende Nachricht handelte von der rapide steigenden Kriminalität in Deutschland. So wurden in Oberhausen beispielsweise 400 Zuchtvögel im Wert von 30 000 Euro gestohlen. Der Verbleib der Vögel ist bis heute unbekannt. Die Nachrichten waren allerdings auch in Bezug auf andere Themen desillusionierend. Twitter gab einen besorgniserregenden Rückgang der Mitgliederzahlen bekannt. Zudem verzeichnete das Unternehmen rote Zahlen. Die zunehmenden Cyberattacken aus Russland und China könnten damit zu tun haben. In Fachkreisen wurde befürchtet, dass der Vorsprung des Westens in der Militärtechnik nicht mehr so groß sei wie noch ein Jahr zuvor. Auf andere Weise innovativ trat dafür BMW auf. Das »Ökomobil« i8, das man ab günstigen 130 000 Euro erwerben kann, war für kurze Zeit in der Farbe Rot zu erhalten. Allerdings nur als Limited Edition.

In den USA zeigte die Regierung eine Stadt im Nordosten des Landes an, weil die Polizei dort vermehrt gegen Menschenrechte verstieß. Außerdem musste eine amerikanische Bank 2,8 Milliarden Dollar Strafe zahlen, da sie ihre Gläubiger bewusst getäuscht und mit deren Geld riskant spekuliert hatte. Darüber darf auch nicht vergessen werden, dass Außenminister Steinmeier wieder einmal eine Eindämmung der Gewalt in Syrien angekündigt