

Der lange Weg zum Nachweis

Der Nobelpreis für Physik 2017 würdigt den Nachweis von Gravitationswellen.

Hartmut Grote

Der diesjährige Nobelpreis geht zur Hälfte an Rainer Weiss und zu jeweils einem Viertel an Kip Thorne und Barry Barish für ihre Beiträge zu den LIGO-Detektoren, mit denen es 2015 nach jahrzehntelangen Vorarbeiten erstmals gelang, Gravitationswellen direkt nachzuweisen.

1916 sagte Albert Einstein Gravitationswellen aus der Allgemeinen Relativitätstheorie voraus, war aber selbst skeptisch, ob man diese überhaupt jemals würde beobachten können. Über Jahrzehnte gab es zudem Kontroversen um ihre prinzipielle Messbarkeit, die erst Ende der 1950er-Jahre abnahmen. Zu dieser Zeit begann Joseph Weber in den USA die ersten Experimente mit dem Ziel, Gravitationswellen zu messen. Er nutzte massive Metallzylinder, die von den Wellen zu mechanischen Schwingungen angeregt werden sollten und war Ende der 60er-Jahre zunehmend überzeugt, dass ihm der Nachweis geglückt sei. Diese Entwicklung gab den Anstoß für Replikationsversuche, insbesondere in München, wo am Max-Planck-Institut für Astrophysik die Keimzelle der Gravitationswellenastronomie in Deutschland entstand. Heinz Billing und sein Mitarbeiter Walter Winkler bauten eine Resonanzantenne ähnlich zu Webers Detektoren. Die Münchner Gruppe analysierte ihre Daten in Koinzidenz mit einer Gruppe in Frascati (Italien), die einen Detektor ganz ähnlicher Bauweise konstruiert hatte. Es gab jedoch, wie auch bei anderen Replikationsversuchen danach, keinerlei Hinweise auf Gravitationswellen.

Obwohl sich die Meinung durchsetzte, dass Weber sich geirrt haben musste, so hatte er doch den entscheidenden Anstoß gegeben: Viele Forscher blieben dem Gebiet treu und wollten nun wirklich



FPA / Y. Menéndez

Vor dem Nobelpreis wurden Rainer Weiss, Kip Thorne und Barry Barish bereits mit dem 2017 Princess of Asturias Award of Technical and Scientific Research ausgezeichnet. Die Urkunden überreichte der spanische König Felipe am 20. Oktober in Oviedo.

Gravitationswellen finden. Einige entwickelten die Technik der Zylinderantennen zu Meisterwerken kryogener Technik weiter [1], von denen zwei noch bis 2016 in Betrieb waren. Andere Forscher wandten sich der Laserinterferometrie zu, deren Messprinzip auf Albert Michelsons Schöpfung von 1881 zum Nachweis des hypothetischen Äthers beruht. Für die Detektion von Gravitationswellen sind jedoch um viele Größenordnungen empfindlichere und größere Interferometer notwendig.

Die Idee, ein Michelson-Interferometer zur Messung von Gravitationswellen zu benutzen, haben verschiedene Wissenschaftler unabhängig voneinander aufgebracht. Der britische Gravitationsphysiker Felix Pirani kommentierte die Möglichkeit der Messbarkeit der Wellen mit Licht 1956 in einer Veröffentlichung. Eine kürzere Publikation in russischer Sprache stammt aus dem Jahr 1962 von Mikhail Gertsenshtein and Vladislav Pustovoi. Wahrscheinlich unabhängig davon erwähnte Joseph Weber die Idee in einem Telefongespräch mit seinem

Kollegen Robert Forward im September 1964, doch hatte er sie laut seinen Laborbuchnotizen anscheinend schon bald nach einer Konferenz in Chapel Hill 1957 gefasst.

Neben der bloßen Idee sind aber sorgfältige Analysen der technischen Mittel zu ihrer Realisierung erforderlich – ein Prozess, der an die verfügbaren oder künftigen technischen Möglichkeiten gebunden ist. Der in Berlin geborene US-Amerikaner Rainer Weiss dachte ab 1969 ernsthaft über Michelson-Interferometer als Gravitationswellendetektoren nach und analysierte detailliert, wie empfindlich ein solches Instrument sein müsste, wie groß der Einfluss verschiedener Störquellen sei und wie sich dieser minimieren ließe [2].

Der theoretische Physiker Kip Thorne vom California Institute of Technology (Caltech) war ebenfalls früh an Gravitationswellen interessiert und ein begeisterter Unterstützer Webers. Thorne war aber zunächst nicht von der Idee überzeugt, Interferometer für diesen Zweck zu nutzen. Er hatte jedoch seit 1975 Kontakt zu Weiss, der diese Frage

Dr. Hartmut Grote,
Max-Planck-Institut
für Gravitationsphysik
und Leibniz Universität
Hannover,
Callinstraße 38, 30167
Hannover

weiter untersuchte und Thorne vom Potenzial der Technik überzeugte. Als Theoretiker erkannte Thorne zudem, dass verschmelzende kompakte Binärsysteme aus Schwarzen Löchern oder Neutronensternen eine erfolversprechendere Quelle zur Detektion von Gravitationswellen waren als die bis dahin favorisierten Supernovae.

Robert Forward am Hughes Aircraft Forschungslabor in Malibu, Kalifornien, ehemals Mitarbeiter in Joseph Webers Team, war der erste Wissenschaftler, der ab 1971 ein Laser-Interferometer als Prototyp für einen Gravitationswellendetektor baute und dessen Empfindlichkeit untersuchte. Mit einer effektiven Armlänge von 4,25 Metern erreichte das Instrument etwa die gleiche Empfindlichkeit für Gravitationswellen wie Webers Zylinder. Das Experiment demonstrierte aber den Vorteil der Interferometer gegenüber den Zylindern, nämlich breitbandig empfindlich zu sein.

Am Massachusetts Institute of Technology (MIT) versuchte Rainer Weiss ab 1972, Forschungsmittel von der Nationalen Wissenschaftsorganisation der USA (NSF) zu bekommen, die ihm 1975 gewährt wurden. Weiss hatte am MIT zunächst Schwierigkeiten, Mitarbeiter für sein Projekt zu finden, da es sich um langwierige Entwicklungsarbeit handelte und die Zukunft der Interferometer ungewiss war. 1976 sagte Weiss in einem Brief: „Wir sind [am MIT] in einer Abteilung für Physik. Und [...] Ingenieursarbeit wird nicht als respektable Physik angesehen. Etwas zu bauen und zu zeigen, dass es funktioniert, wie man vorhergesagt hat, aber ohne eine Messung von irgendetwas Neuem zu machen, zählt nicht wirklich als irgendeine Leistung.“¹⁾ Nichtsdestotrotz startete Weiss Ende der 1970er-Jahre mit einem Prototyp mit 1,5 Meter langen Armen. 1981 sicherte er sich Mittel für die Studie eines Detektors mit kilometerlangen Interferometerarmen.

Die Münchner Gruppe um Heinz Billing wandte sich ab 1974 ebenfalls den Interferometern zu und begann den Bau eines Prototyps mit einer Armlänge von zunächst 30 Zenti-



Seit 1969 untersuchte Rainer Weiss intensiv die Möglichkeit der Messung von Gravitationswellen mithilfe der Interferometrie.

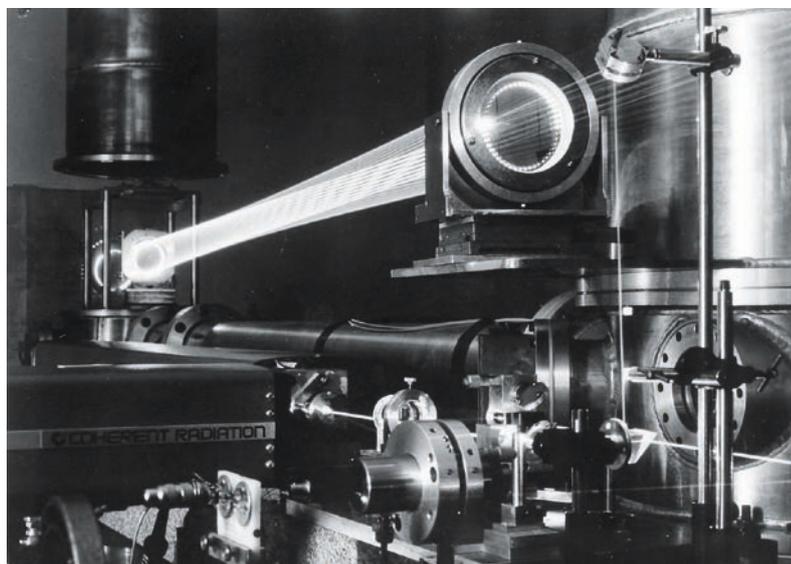
metern und dann bald drei Metern. Die Wissenschaftler verfolgten das Konzept der von Weiss erwähnten Delay-Lines, wobei die Strahlen jeden Arm des Interferometers bis zu 138 Mal durchliefen. Dieses Interferometer war für viele Jahre weltweit führend und diente der Entwicklung grundlegender Interferometer-Techniken: Um störende mechanische Resonanzen zu vermeiden, entwickelte Karl Maischberger, der Vater der Fernsehmoderatorin Sandra Maischberger, hier die Idee, die Spiegel als Pendel aufzuhängen. Albrecht Rüdiger und andere erfanden den Modenfilter, um störende Laserstrahlbewegungen zu unterdrücken, Walter Winkler entwickelte eine umfassende Theorie der Wirkung von Streulicht. Ein Konzept zur resonanten Erhöhung der Lichtleistung im Interferometer (Power Recycling) haben etwa

zeitgleich Roland Schilling, in der Münchner Gruppe, und Ron Drever (Caltech/Glasgow) vorgeschlagen.

1983 startete der Bau eines größeren und verbesserten Prototyps mit 30 Metern Armlänge auf dem Wissenschaftscampus Garching. Dieser erreichte weltweit als erste Anlage dieser Art die theoretische Grenze der Empfindlichkeit, das Schrotrauschen. Dies war in der Folge für die Finanzierung des amerikanischen LIGO-Projekts von entscheidender Bedeutung. Ende der 1980er-Jahre betrug die Empfindlichkeit des Garchinger Detektors etwa 10^{-19} für Dehnungen der Raumzeit – ein Fortschritt von einem Faktor 1000 im Vergleich zu Webers Zylindern, und zwar in einem viel weiteren Frequenzbereich.

In Glasgow begann 1976 unter Ronald Drever der Bau eines Pro-

1) Zitiert nach Collins (2004), siehe „Weiterführende Literatur“; der ganze Brief findet sich unter dem Titel „Weiss's 1976 letter to Isaacson“ auf <http://sites.cardiff.ac.uk/harrycollins/webquote>.



In der Gruppe von Heinz Billing entstand in den 1970er-Jahren in Garching ein Prototyp für Gravitationswellen-Interferometer mit drei Meter langen Armen.



Am 7. Dezember erscheint in Deutschland eine Briefmarke, welche die Entdeckung der Gravitationswellen würdigt.

tototyps mit 10 Metern Armlänge und Fabry-Perot-Resonatoren in den Armen. Einer Einladung von Kip Thorne folgend, leitete Drever ab 1979 am Caltech in Kalifornien den Aufbau eines Prototyps mit 40 Metern Armlänge. Dieser diente später unter anderem der Entwicklung der Kontrollsysteme für Advanced LIGO. Nachdem Drever 1983 permanent zum Caltech gewechselt war, übernahm Jim Hough in Glasgow die Leitung der Gruppe. In der Folge entwickelte sie unter anderem das Konzept des Signal Recycling, das später am Prototyp in Garching und bei GEO600 realisiert wurde.

Nachdem es mit den Prototypen gelungen war, neue Techniken zu entwickeln, begannen Mitte der 1980er-Jahre Gruppen in den USA, Großbritannien und Deutschland sowie später in Frankreich und Italien, Forschungsmittel für Anlagen in Kilometer-Größe zu beantragen. Um Anlagen zu bauen, die zumindest eine geringe Chance hatten, jemals Gravitationswellen zu messen, waren allerdings Summen in der Größenordnung von hundert Millionen Dollar bzw. DM notwendig.

Vom Prototyp zum Großprojekt

Durch die Initiative von Rainer Weiss, Kip Thorne und anderen Wissenschaftlern entstand 1984 das Projekt LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory), getragen vom Caltech und MIT.

Nur in den ersten drei Jahren leiteten Drever, Thorne und Weiss das Projekt gemeinsam, denn alle Entscheidungen mussten sie im Konsens treffen, doch Drever und Weiss waren in technischen Fragen oft verschiedener Ansicht. 1987 drängte die NSF auf die Leitung durch einen einzelnen Direktor. Rochus Vogt übernahm das Amt, woraufhin das Projekt schneller Fortschritte machte. Vogt entschied zum Beispiel, die effektive Weglänge der Arme mit den von Drever vorgeschlagenen Fabry-Perot-Resonatoren in den Armen zu vergrößern und nicht mit der von Weiss favorisierten Delay-Line-Technik.

1989 stellten die LIGO-Wissenschaftler einen Finanzierungsantrag bei der NSF, in dem sie Anlagen mit jeweils vier Kilometer langen Armen an zwei Standorten in den USA vorschlugen. Die Infrastruktur, bestehend aus Gebäuden und dem Vakuumsystem, sollte für verschiedene Generationen von Interferometern nutzbar sein. Aufgrund der Ungewissheit der Interferometer-Technik auf der neuen Größenskala schlugen die Wissenschaftler vor, das erste Interferometer technisch eher konservativ zu halten. Unter anderem entschieden sie sich dafür, die Testmassen für dieses „Initial LIGO“ nur als einfache Pendelstufen aufzuhängen, obwohl die Gruppen in Europa bereits an der Entwicklung von Mehrfachpendeln arbeiteten. Da Initial LIGO aus diesem Grund nur eine kleine Chance hatte, jemals Gravitationswellen zu

messen, plante man mit Advanced LIGO bereits ein technisch fortgeschrittenes Interferometer als Nachfolger.

Die Diskussionen um die Finanzierung von LIGO zogen sich lange hin. Es gab zum Teil erheblichen Widerstand gegen LIGO, insbesondere von Astronomen, die Einbußen für ihre Budgets befürchteten. Schließlich wurde die Finanzierung 1992 zugesagt, wobei der US-Kongress zusätzliche Mittel zur Verfügung stellte, sodass die National Science Foundation andere Projekte nicht zu sehr beschneiden musste.

1994 übernahmen Barry Barish und sein Projektmanager Gary Sanders die Leitung von LIGO. Beide hatten Erfahrung mit großen Projekten in der Teilchenphysik und führten einen strikteren Management-Stil ein. Schließlich war der Schritt von den Prototypen hin zu etwa hundertmal größeren Anlagen zugleich ein Schritt von Labor-orientierter Forschung zum Betrieb von Großforschungsanlagen. Die beteiligten Wissenschaftler mussten einen Teil der Kontrolle über das Projekt abgeben. Unter Barishs Leitung wurde 1997 auch die LIGO Scientific Collaboration (LSC) gegründet, die das Projekt für nationale und internationale Kollaborationen öffnete. Das war notwendig, um die Expertise anderer Gruppen für die Suche nach Gravitationswellen im Datenstrom der Interferometer zu gewinnen.

1992 wählte die NSF die Städte Hanford in Washington und Livingston in Louisiana als Standorte für die beiden LIGO-Detektoren aus. Nach rein wissenschaftlichen Kriterien war Livingston nicht unbedingt ideal, da der Untergrund feucht ist und mehr Bodenbewegungen verzeichnet als andere mögliche Standorte. Hier spielten politische Faktoren eine Rolle.

Die ersten Interferometer, die in die Infrastrukturen eingebaut wurden, umfassten ein Michelson-Interferometer mit Fabry-Perot-Resonatoren in den Armen sowie Power Recycling, aber nur einfache Pendelstufen für die Spiegelaufhängung. Nach knapp dreijähriger Installation erfolgten ab 2002 sechs

Datenaufnahme-Perioden – fast immer gemeinsam mit GEO600.

Ein fortschrittlicher Detektor

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeit an Advanced LIGO begann etwa 2004. Neben australischen Wissenschaftlern waren hieran auch Wissenschaftler der GEO-Kollaboration aus Großbritannien und Deutschland beteiligt.

Advanced LIGO besitzt mehrere technische Verbesserungen gegenüber Initial LIGO: einen stärkeren und hochstabilen Laser mit 200 Watt Lichtleistung (ein direkter Beitrag des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik und der Leibniz Universität Hannover), eine aktive seismische Vor-Isolation der Pendelaufhängungen, Vierfachpendel für die seismische Isolation der (größeren und 40 kg schweren) Testmassen, die an Glasfasern aufgehängt sind, elektrostatische Aktuatoren sowie Signal Recycling in einer speziellen Version (Resonant Sideband Extraction). Mit Ausnahme der aktiven Vor-Isolation sind alle diese Techniken in der GEO-Kollaboration entwickelt und teilweise am GEO600-Detektor getestet worden.

Die Finanzierung war 2008 endgültig gesichert: Das Advanced-LIGO-Projekt bekam 200 Millionen Dollar für drei Interferometer, jeweils eines für die existierenden Infrastrukturen in Hanford und Livingston sowie für ein drittes Interferometer, das nach ersten Planungen ebenfalls in die Infrastruktur in Hanford eingebaut werden sollte. Inzwischen wurde aber Indien als dritter Standort eines Advanced-LIGO-Detektors ausgewählt (LIGO-India).

Insgesamt strebt Advanced LIGO eine Verbesserung der Empfindlichkeit um den Faktor 10 gegenüber Initial LIGO an. Etwa ein Drittel dieser Verbesserung hatten beide Detektoren zu Beginn ihres ersten Datenlaufs im September 2015 erreicht – entsprechend einer maximalen Reichweite von etwa 150 Mpc für Binärsysteme verschmelzender Neutronensterne.

Politische Fehlentscheidung

Beflügelt von den Fortschritten und Erkenntnissen, welche die Prototypen in München und Garching ermöglicht hatten, versuchten die deutschen Gravitationswellenforscher ab 1985, Mittel für einen Detektor mit drei Kilometern Armlänge zu erhalten. Die deutschen Forschungsförderungsorganisationen waren jedoch nicht ausreichend an dem Projekt interessiert. Eine ähnliche Entwicklung gab es in Großbritannien, wo der von den Wissenschaftlern um Jim Hough 1986 eingereichte Antrag für Mittel zum Bau eines großen Interferometers ebenfalls abgelehnt wurde.

In den folgenden Jahren schlossen sich die beiden Gruppen zur GEO-Kollaboration zusammen, und es kam 1989 zu einem deutsch-britischen Forschungsantrag, an dem sich neben Garching und Glasgow auch Gruppen aus Cardiff, Hannover, Oxford und Braunschweig beteiligten [3]. In dem 1989 beim damaligen Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) sowie dem British Science and Engineering Research Council eingereichten Antrag wurde der Bau eines Interferometers mit drei Kilometern Armlänge vorgeschlagen.

Ende 1989 übernahm Karsten Danzmann die Leitung der Max-Planck-Gruppe in Garching, und das GEO-Projekt entwickelte sich zunächst sehr vielversprechend. Anfang der 1990er-Jahre lag es etwa

gleichauf mit LIGO, und selbst ein möglicher Standort in Niedersachsen war bereits gefunden. Doch in den Nachwehen der deutschen Wiedervereinigung und der Abwicklung der ostdeutschen Akademie-Institute gehörte GEO nicht mehr zu den ersten Prioritäten der deutschen Wissenschaftspolitik. Mitte der 1990er-Jahre gaben BMFT-Minister Riesenhuber und Staatssekretär Ziller die Anweisung, die Förderung der Gravitationswellenforschung in Deutschland einzustellen – eine aus heutiger Sicht grandiose Fehlentscheidung, denn ein LIGO-ähnliches Instrument hätte auch in der Lüneburger Heide stehen können.

Nach dieser Enttäuschung fasste Danzmann den Plan, eine wesentlich kleinere und somit günstigere Anlage zu bauen, die dank ambitionierter Technik zumindest in einem Teil des Frequenzbandes mit den größeren Anlagen konkurrenzfähig sein sollte: So entstand der deutsch-britische GEO600-Detektor mit einer Armlänge von 600 Metern. GEO600 befindet sich in Ruthe bei Sarstedt, südlich von Hannover. Finanziert wurde das Projekt von deutscher Seite durch die Max-Planck-Gesellschaft, die Volkswagen-Stiftung und das Land Niedersachsen sowie von britischer Seite durch das Particle Physics and Astronomy Research Council.

Die Konstruktion von GEO600 begann 1995 unter der Leitung von Karsten Danzmann, der 1993 eine Professur an der Leibniz Universi-



Einblick in den GEO600-Detektor in Ruthe, südlich von Hannover. An der Anlage mit den 600 Meter langen Armen wurden viele Technologien entwickelt, die bei Advanced Ligo den Nachweis von Gravitationswellen ermöglicht haben.

Kip Thorne (2. v. r.) 1972 bei der Les Houches Summer School zum Thema Schwarze Löcher. Links stehen Yuval Ne'eman und Bryce DeWitt.



tät Hannover übernommen hatte und 2002 auch Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik wurde. Große Teile der Infrastruktur des Detektors erstellten Wissenschaftler und studentische Hilfskräfte im Eigenbau. Eine innovative Bauart der langen Vakuumröhren und eine Konzentration auf das Nötigste bei den Gebäuden ermöglichten es, Material und Kosten bei der Infrastruktur einzusparen.

GEO600 entwickelte und erprobte von Beginn an alle später routinemäßig eingesetzten modernen Möglichkeiten, um die Empfindlichkeit zu erhöhen: Signal Recycling, Dreifach-Pendelaufhängungen und seit 2003 Glasfasern zur Aufhängung aller Testmassen in den untersten Pendelstufen. Elektrostatische Aktuatoren, mit denen sich das Aufkleben von Magneten auf die Testmassen vermeiden lässt, waren das Mittel der Wahl, um Kräfte auf die Testmassen auszuüben. Der Routinebetrieb dieser Innovationen bei GEO600 förderte das Vertrauen in diese Techniken, und so wurde die dreifache Pendelaufhängung inklusive Glasfasern und elektrostatischen Aktuatoren von der GEO-Kollaboration zur vierstufigen Aufhängung der Testmassen für Advanced LIGO weiterentwickelt. Auch die bei GEO600 eingesetzten Lasersysteme bildeten die Basis für die Entwicklung der Advanced LIGO-Lasersysteme durch die GEO-Kollaboration. Das gequetschte Vakuum zur Verminderung des Quantenrauschens ist die bisher letzte verbliebene

Innovation in GEO600, die in den nächsten Jahren bei Advanced LIGO zum Einsatz kommen soll.

Der Nachweis

Unter anderem durch die erheblich verbesserte Testmassenaufhängung und die besseren Laser war Advanced LIGO um ein Vielfaches empfindlicher bei kleinen Frequenzen von 20 bis 100 Hz. Dieser Bereich ist wichtig zur Suche nach Binärsystemen Schwarzer Löcher. Dennoch war die Detektion der ersten Gravitationswellen am 14. September 2015 eine Überraschung, da sie mit einem Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 24 sehr deutlich in den Daten zu sehen war. Das beobachtete Signal passte zu dem erwarteten Signal der Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher und stellte somit den ersten direkten Nachweis von Gravitationswellen dar.

Im August 2017 nahm auch der italienisch-französische Advanced Virgo-Detektor (mit Beiträgen aus den Niederlanden, Ungarn, Polen, und Spanien) mit einer Armlänge von 3 km den Messbetrieb auf. Innerhalb weniger Wochen gelangen gleich zwei Detektionen zusammen mit LIGO: die Messung eines Binärsystems Schwarzer Löcher sowie die spektakuläre erste Messung eines Binärsystems verschmelzender Neutronensterne.²⁾

Rainer Weiss ist auch mit über 80 Jahren noch aktiv an der Weiterentwicklung der Detektoren beteiligt und an der schier endlosen Su-

che nach Rauschquellen. Er pflegt nach wie vor einen engen Kontakt zu Studenten und setzt sich stets für ihre Interessen ein. Barry Barish war zuletzt Leiter des „Global Design Effort“ für den geplanten International Linear Collider. Kip Thorne hat sich nach seiner Emeritierung auch anderen Interessen gewidmet und agierte zum Beispiel als Produzent und wissenschaftlicher Berater für den Film „Interstellar“.

*

Der Autor dankt Harald Lück, Benno Willke und Albrecht Rüdiger.

Literatur

- [1] O. D. Aguiar, *Research in Astronomy and Astrophysics* **11**, 1 (2011)
- [2] R. Weiss, *Quarterly Progress Report, Research Laboratory of Electronics (MIT)* **105**, 54, (1972); bit.ly/2yWdZkR
- [3] J. Hough et al. (1989); <http://eprints.gla.ac.uk/114852/7/114852.pdf>

Weiterführende Literatur

- Physik-Journal-Dossier „Gravitationswellen“: <http://bit.ly/2zmdyPU>
- P. Aufmuth und A. Rüdiger, *Gravitationswellen – Ein neues Fenster zum Universum*, *Physik in unserer Zeit*, 1/2000, S. 15
- H. Billing, „Alte“ und neue Methoden zum Nachweis von Gravitationswellen, *Physik in unserer Zeit*, 5/1977, S. 146
- J. L. Cervantes-Cota, S. Galindo-Uribarri und G. F. Smoot, *A brief history of gravitational waves*, *Universe* **2**(3), 22 (2016)
- H. Collins, *Gravity's Shadow*, University of Chicago Press (2004)
- D. Kennefick, *Traveling at the Speed of Thought*, Princeton Univ. Press (2007)
- P. R. Saulson, *Interferometric Gravitational Wave Detectors*, *International Journal of Modern Physics D*, World Scientific Publishing (2017)
- W. Winkler, *Ein Laser-Interferometer als Gravitationswellendetektor*, *Physik in unserer Zeit*, 5/1985, S. 138

DER AUTOR

Hartmut Grote promovierte 2003 über fortgeschrittene Interferometertechniken an GEO600 und absolvierte als Postdoc Forschungsaufenthalte in den USA (Caltech und LIGO-Livingston) und Japan. Von 2009 bis 2017 war er wissenschaftlicher Leiter von GEO600. 2018 übernimmt er eine Professur für Physik an der Universität Cardiff. Ende Januar wird im Verlag C. H. Beck sein Buch „Gravitationswellen – Geschichte einer Jahrhundertentdeckung“ erscheinen.



2) vgl. den Brennpunktartikel auf Seite 20 in diesem Heft