

„Ich hatte nie einen Zweifel.“

Interview mit Karsten Danzmann, dem diesjährigen Preisträger der Stern-Gerlach-Medaille
Maika Pfalz

Prof. Dr. Karsten Danzmann wurde 2018 mit der Stern-Gerlach-Medaille für seine entscheidenden Beiträge zur Entwicklung von Gravitationswellendetektoren ausgezeichnet. Seine bahnbrechenden Arbeiten haben den direkten Nachweis von Gravitationswellen ermöglicht und eine neue Ära astrophysikalischer Forschung eingeleitet. Seit 1990 leitet Danzmann die Gravitationswellengruppe innerhalb der Max-Planck-Gesellschaft – zunächst in Garching, seit 1993 in Hannover.¹⁾

Seit dem erfolgreichen Nachweis erhalten Sie viele Auszeichnungen – eine späte Bestätigung Ihrer Arbeit?

Das stimmt, aber wie mein Kollege Albrecht Rüdiger sagte: In unserem Bereich braucht man nicht Geduld, sondern ein langes Leben. Diese Preise schaffen nun Sichtbarkeit und öffnen wichtige Türen.

Wie kamen Sie damals eigentlich zu den Gravitationswellen?

Durch reinen Zufall. 1989 hielt ich auf einer Konferenz in Bretton Woods einen Vortrag über Doppler-freie Zwei-Photonen-Laserspektroskopie. Herbert Walther, der die Gravitationswellengruppe



Auf der DPG-Jahrestagung in Erlangen zeichnete der damalige DPG-Vizepräsident Edward Krubasik (links) Karsten Danzmann mit der Stern-Gerlach-Medaille aus.

nach der Emeritierung von Heinz Billing am Max-Planck-Institut für Quantenoptik verwaltet hat, sprach mich anschließend an und sagte: „Herr Danzmann, Sie kommen nach München und machen Gravitationswellen!“ Damals stand durchaus zur Debatte, den ganzen Bereich zu schließen.

Sie haben trotzdem zugesagt?

Ich habe schon immer gerne etwas Exotisches gemacht, deswegen bin ich nach München geflogen und habe mir das Ganze genauer angeschaut. In den vier Tagen ist mir Herbert Walther nicht von der Seite gewichen. Ich habe ihn in der Zeit wohl mehr gesehen als in den 20 Jahren danach. Nach dem Besuch war für mich klar, dass ich diese Herausforderung annehme.

Wie war damals der Stand der Dinge?

Es gab einen deutschen Prototypen für ein Laserinterferometer mit 30 Meter langen Armen, der so gut verstanden war, dass man den Schritt zu großen Detektoren wagte. Damals lagen fast zeitgleich

die Proposals für GEO und LIGO auf dem Tisch, VIRGO kam etwas später. Die Zeit war dafür reif. Interessanterweise basierte auch der LIGO-Antrag auf den Ergebnissen des deutschen Prototypen, weil dieser als einziger bereits die Schrottausgangsgrenze erreicht hatte.

Aber in Deutschland sind Sie mit dem Antrag gescheitert...

Wir haben GEO zusammen mit den Briten vorgeschlagen, und es sah auch alles gut aus, bis die Nachwehen der Wiedervereinigung kamen. Für ein obskures Thema wie kilometerlange Gravitationswellendetektoren war kein Geld mehr da. Der Antrag ist allerdings nie abgelehnt worden – wir haben nur nie eine Antwort erhalten. LIGO hatte dagegen das Glück, im Kongress Unterstützer zu finden, die das Projekt als eigenen Eintrag im Bundeshaushalt bewilligt haben. Das war ein ziemliches Kunststück.

Wie haben Sie in Deutschland weitergemacht?

Mithilfe der Max-Planck-Gesellschaft. Auf deren stabiler Grund-

¹⁾ Mehr Artikel über die Suche nach Gravitationswellen finden sich in unserem Dossier www.pro-physik.de/physik/dossier.html?qid=10643621.

DER PREISTRÄGER

Karsten Danzmann studierte und promovierte an der Universität Hannover und war anschließend wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Stanford University (USA) und wissenschaftlicher Angestellter an der PTB Berlin. Von 1986 bis 1989 war er Assistant Professor an der Stanford University und von 1990 bis 1993 Projektleiter Gravitationswellen am MPI für Quantenoptik in Garching. Seit 1993 ist er Professor an der Universität Hannover und Direktor des Instituts für Atom- und Molekülphysik (heute Institut für Gravitationsphysik), seit 2002 Direktor des MPI für Gravitationsphysik, Hannover (Albert-Einstein-Institut). Danzmann erhielt bereits zahlreiche Auszeichnungen, darunter den Otto-Hahn-Preis, den Körber-Preis, den Wissenschaftspreis der Fritz Behrens Stiftung und den Niedersächsischen Staatspreis.



MPG/AEI



GEO600

Südlich von Hannover arbeitet GEO600 erfolgreich als Technologieschmiede. Zusammen mit den beiden Detektoren von Advanced LIGO in den USA und Advanced VIRGO in Italien bildet er ein globales Netzwerk. In Indien soll ein weiterer Detektor (IndIGO) hinzukommen.

finanzierung kann man aufbauen. Damit lassen sich zwar keine großen Apparaturen betreiben, aber Grundlagenforschung machen. Zudem waren wir Anfang der 1990er-Jahre in der Standortsuche so weit, dass Niedersachsen als Sitzland eines Detektors bereits seinen Anteil zugesagt hatte. Dank dieser Förderung hat GEO überlebt.

Damals waren Sie aber noch in Garching tätig, oder?

Richtig, aber genau in der Zeit hat Herbert Welling in Hannover seine Kollegen aus der Physik überzeugt, den gesamten Fachbereich umzustrukturieren und alle Ressourcen in Leuchtturmbereiche zu stecken – das waren die Festkörperphysik, Quantenoptik mit Laserphysik und eben die Gravitationsphysik! Dazu wurde eine Stelle ausgeschrieben, auf die ich berufen wurde. So bin ich 1993 nach Hannover gezogen und habe zunächst in einer Außenstelle des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik gearbeitet.

Wie wurde daraus ein eigenständiges Institut?

Anfang der 2000er-Jahre fiel der Beschluss, in Hannover ein eigenes Institut zu gründen – das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik. Mitte der 1990er-Jahre war in Potsdam das Albert-Einstein-Institut als reines Theorie-Institut entstanden. Da passte unser Institut mit seiner experimentellen Ausrichtung hervorragend dazu. Anfangs waren wir das kleine Anhängsel –

als ich nach Hannover kam, hatte ich eine Sekretärin, einen Postdoc und drei Doktoranden. Heute arbeiten hier 220 Mitarbeiter!

Aber es war von Anfang an klar, dass GEO600 keine Gravitationswellen nachweisen würde.

Nein, dafür war unser Detektor nie ausgelegt. Wir hatten ja nicht die Mittel, den ursprünglichen GEO-Vorschlag für einen Detektor mit drei Kilometer langen Armen zu verwirklichen. GEO600 war von Anfang an als Technologieschmiede gedacht, um auf großer Skala neuartige Technologien auszuprobieren. Und das hat hervorragend funktioniert! Praktisch alle neuen Technologien, die wir erprobt haben, haben ihren Weg in Advanced LIGO gefunden – das Signal-Recycling, die monolithische Spiegelaufhängung, die Hochleistungslaser. Beim Umbau wurde LIGO praktisch entkernt! Nur das „Squeezed Light“ fehlt noch in LIGO.

Was versteht man darunter?

Beim Squeezed Light sind die Photonen zeitlich miteinander korreliert. Dadurch reduziert sich das Photonenschrottrauschen. Das wird womöglich noch in diesem Jahr in LIGO installiert.

Derzeit stehen die Detektoren also still?

Im letzten August wurde die Datennahme für größere Umbauten eingestellt, um Einiges zu reparieren. Der Detektor in Hanford musste beispielsweise geöffnet werden, weil

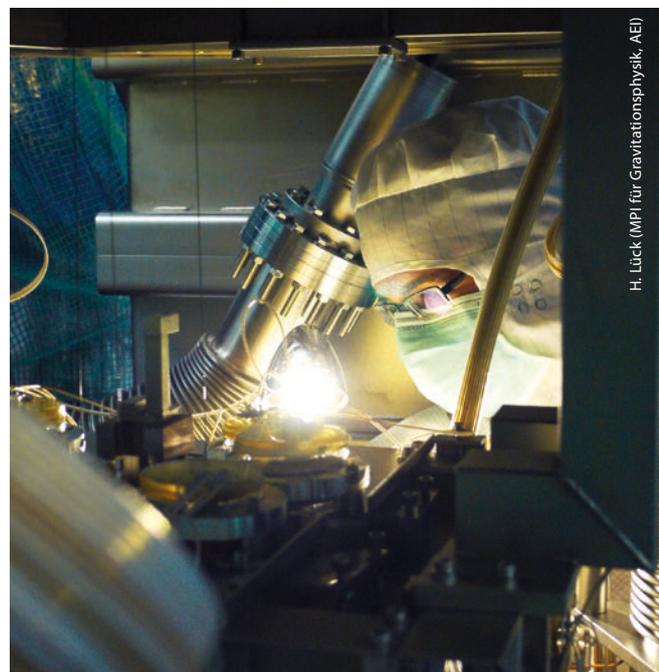
sich die Empfindlichkeit durch ein Erdbeben im letzten Jahr halbiert hat! Wir haben zahlreiche Komponenten getauscht – das ist immer ein mühsamer Prozess, weil alles wieder optimiert werden muss.

Aber es gab keine bösen Überraschungen?

Nein, allerdings hat sich die Empfindlichkeit des einen LIGO-Detektors bei niedrigen Frequenzen trotz höherer Laserleistung verringert. Dieser Effekt ist noch nicht ganz verstanden. Derzeit arbeitet keiner der Detektoren mit der maximalen Laserleistung. Daher fehlt bis zur Designempfindlichkeit bei Advanced LIGO noch ein Faktor 3.

Testen Sie diesen unverständlichen Effekt wieder bei GEO?

Darum kümmern wir uns bei GEO sehr intensiv, weil wir während der Down-Zeiten der anderen Detektoren nicht mehr rund um die Uhr



H. Lück (MPI für Gravitationsphysik, AEI)

messen. Zudem erhöhen wir sukzessive den Quetschfaktor, denn im Labor erreichen wir einen deutlich höheren Wert als im Interferometer, weil dort viele Komponenten für Verluste sorgen. Darüber hinaus ist für fortgeschrittene Interferometer ein neues Ausleseprinzip notwendig, das wir testen müssen.

Können Sie die Ergebnisse von GEO600 direkt auf die größeren Detektoren übertragen?

Ja, unser Detektor ist groß genug, um repräsentative Daten zu liefern. Bislang haben wir alles bei LIGO umsetzen können, wie wir uns das gedacht haben. Manchmal hat es nur etwas länger gedauert.

In Indien ist ein dritter LIGO-Detektor geplant. Sollen weitere erdgebundene Detektoren hinzukommen?

In Japan wird KAGRA aufgebaut, das ist ein unterirdischer Detektor, um die Seismik bei niedrigen Frequenzen zu verbessern. Unterirdische Detektoren sind die Zukunft, obwohl man die Spezifikationen theoretisch auch mit enormer Länge der Interferometerarme erreichen kann. Die Amerikaner haben viel Platz in ihren Wüsten und planen einen Detektor mit 40 Kilometer langen Armen. In Europa wird man so schnell keinen geeigneten Bauplatz für ein Projekt dieser Größe finden. Deswegen planen wir mit dem Einstein-Teleskop einen unterirdischen Detektor.

Wie ist der Stand dieses Projekts?

Das Einstein-Teleskop hat vor acht Jahren seine Designstudie erfolgreich abgeschlossen. Derzeit arbeiten wir daran, das Projekt auf die



Die monolithische Mehrfachpendel-Aufhängung war eine Technologie-Entwicklung, die zunächst bei GEO600 getestet wurde, bevor sie ihren Weg in Advanced LIGO fand.

Roadmap des European Strategy Forum on Research Infrastructures zu bekommen. Aber da müssen nicht nur die Wissenschaftler dahinterstehen, sondern auch die Förderinstitutionen. Aber in Deutschland gibt es vom BMBF noch keine Entscheidung dazu. Wir haben darüber in nächster Zeit Gespräche im Ministerium.

Aber mit der Laser Interferometer Space Antenna LISA geht es sehr gut voran?

Ja, dank des erfolgreichen Nachweises von Gravitationswellen ist die NASA wieder eingestiegen, zudem hat die zugehörige Pathfinder-Mission hervorragend funktioniert. Das ist Gold wert. Es hat zwar ein Vierteljahrhundert gedauert, aber in diesem Bereich müssen

wir in langen Zeitskalen planen: Wir denken jetzt bereits über die Detektoren nach, die in den 2030er-Jahren gebaut werden, obwohl Advanced LIGO noch nicht einmal seine Designempfindlichkeit erreicht hat. Und auch LISA wird vermutlich erst Anfang der 2030er-Jahre starten.

Wovon hängt das ab?

In erster Linie vom Geldfluss und davon, wie sich der weitere Haushalt der ESA entwickelt. Die Technologie ist bereit, das hat LISA Pathfinder gezeigt. Natürlich optimieren wir sie jetzt weiter. Beispielsweise gab es in der Mission noch nicht die großen Teleskope, aber die sind kein Hexenwerk. Schließlich sind bereits große Teleskope auf Satelliten geflogen.

Aber im Grunde übernehmen Sie vieles von LISA Pathfinder?

Die Laser können wir so übernehmen, aber natürlich mit mehr Leistung. Noch ist genügend Zeit, um die einzelnen Komponenten zu optimieren. Aber das sind alles nur noch Detailentwicklungen. Wir stehen nicht mehr mitten in der Wüste und müssen völliges Neuland betreten!

Was möchten Sie konkret verbessern?

Wir möchten LISA insbesondere zu niedrigen Frequenzen hin optimieren. Das mag sich banal anhören, aber ist in Wirklichkeit höchst aufwändig: Wir haben die Technologie bis zu 20 Mikrohertz verifiziert – das bedeutet, eine Schwingung dauert hunderttausend Sekunden! Da man fast nur Rauschen misst, aber mehrere Periodogramme benötigt, dauert ein Messpunkt bis zu zwei Wochen.

Die Mission LISA Pathfinder diente dazu, die Technologien für ein künftiges Gravitationswellen-Observatorium im All zu testen.



Was hat Sie in diesen fast 30 Jahren bis zum erfolgreichen Nachweis angetrieben?

Ich habe keine Geduld, aber ich bin extrem hartnäckig. Irgendwann stellt der Erfolg sich dann ein! Wenn man weiß, dass etwas im Prinzip funktioniert und man es nur tun muss, und wenn das auch noch Spaß macht, geht es nur ums Durchhalten. Außerdem braucht man ein gutes Team und muss überzeugt sein von dem, was man tut. Ich hatte nie einen Zweifel, dass wir irgendwann Gravitationswellen messen würden. Ich wusste nur nicht, wie lange es dauern würde. Dass es am Ende so schnell ging, war allerdings reines Glück!

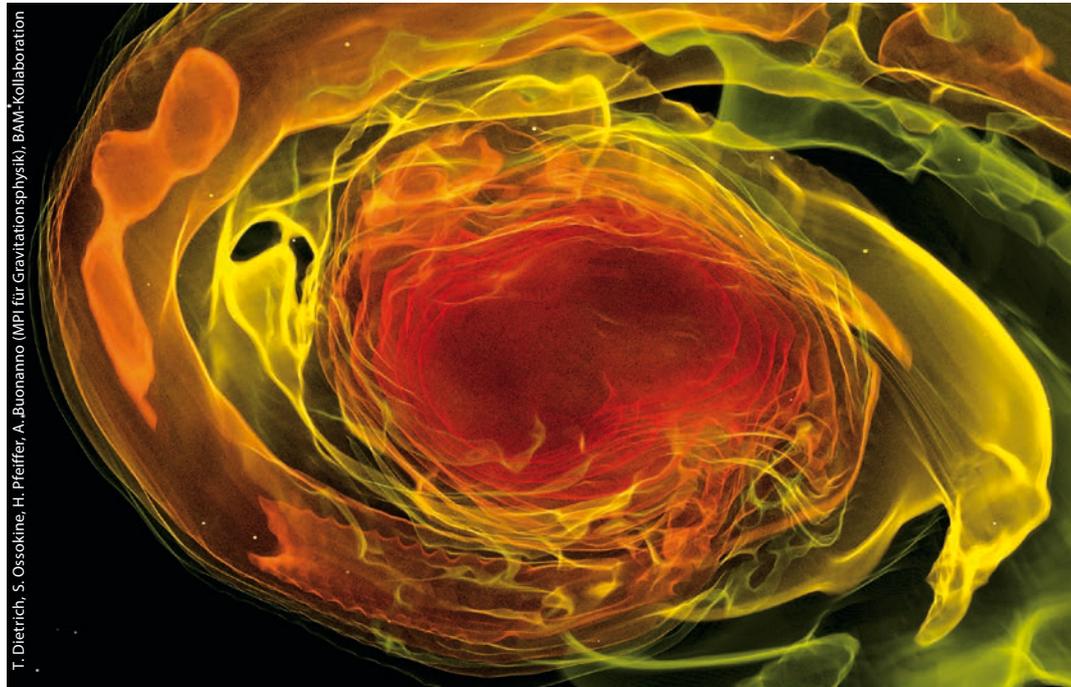
Inwiefern?

Ich hatte gedacht, dass wir erst die Designempfindlichkeit erreichen müssten. Denn mit den mittelschweren Schwarzen Löchern, deren Verschmelzen wir beobachtet haben, hatte ja niemand gerechnet. Auch dass wir die Neutronensternverschmelzung gesehen haben, war großes Glück, weil sie nur 130 Millionen Lichtjahre entfernt war. So dicht an der Erde haben wir noch niemals zuvor einen Gamma Ray Burst detektiert.

Außerdem hatte Advanced LIGO bei der ersten Detektion ja gerade erst zu messen begonnen...

Das stimmt. Die Datennahme war für Oktober geplant, im September waren das nur Testläufe. Deswegen funktionierten viele Dinge noch gar nicht, beispielsweise das Injizieren von Testsignalen. Deswegen war auch klar, dass es kein solches gewesen sein konnte. Aber da noch keiner darauf vorbereitet war, konnte es am Anfang auch niemand glauben. Das war viel zu schön, um wahr zu sein. Wir konnten das Signal mit bloßem Auge auf dem Bildschirm erkennen, fast ohne Signalanalyse! Das war völlig unglaublich – das Signal sah genauso aus, wie wir seit einem halben Jahrhundert wussten, dass es aussehen würde, wenn zwei kompakte Objekte miteinander verschmelzen.

Trotzdem gingen Monate ins Land, bis Sie das Ergebnis publiziert haben.



T. Dietrich, S. Osokine, H. Pfeiffer, A. Buonanno (MPI für Gravitationsphysik), BAM-Kollaboration

Wir mussten uns zunächst von der statistischen Signifikanz dieses Signals überzeugen. Wir hatten zwar ein Signal-zu-Rausch-Verhältnis von 24, aber da wir mit den Detektoren noch keine Erfahrung hatten, wussten wir nicht, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein solches Ereignis auftritt. Deswegen haben wir die Detektoren unverändert weiterlaufen lassen, bis wir die Gewissheit hatten, dass die Wahrscheinlichkeit für einen falschen Alarm kleiner als einmal in 200 000 Jahren ist! Inzwischen wissen wir, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit vermutlich sogar kleiner als einmal in 50 Millionen Jahren ist.

Wenn Advanced LIGO die Designempfindlichkeit erreicht hat – sind dann weitere Überraschungen möglich?

Damit könnten wir vielleicht täglich verschmelzende Schwarze Löcher messen. Und wenn wir 100 bis 200 solcher Ereignisse registriert haben, können wir eine Aussage wagen, ob diese Schwarzen Löcher womöglich für die Dunkle Materie verantwortlich sind. Wir dürfen gespannt sein, das Urteil dazu ist noch nicht gesprochen!

Was möchten Sie noch erleben in der Gravitationswellenastronomie?

Ich möchte den Urknall hören mit Gravitationswellen, also das ganz

frühe Universum. Das könnte die Frage beantworten, was ganz zu Anfang war: War es nur Inflation? Gab es Phasenübergänge? Kosmische Strings? Oder was auch immer. Diese Fragen könnte vielleicht schon LISA beantworten. Wenn die Inflation aber nicht schnell genug war, kann erst die Nachfolgemission Antwort auf die Fragen des Urknalls geben.

Ihr Vorgänger Heinz Billing hat das erste Signal mit 102 Jahren erlebt. Wo steht die Gravitationswellenastronomie, wenn Sie 102 Jahre alt sind?

Das kann niemand vorhersagen. Ich glaube aber nicht, dass ich so lange warten muss, um ein Signal aus dem frühen Universum zu erleben. Spannend wird es, wenn die dritte Generation der Detektoren auf der Erde in Betrieb ist und LISA oben im All. Wenn wir darüber hinaus ein Röntgenteleskop im Orbit haben, ist echte Multi-Messenger-Multiwellenlängen-Astronomie möglich.

Ähnlich wie es bei den verschmelzenden Neutronensternen schon gelungen ist?

Genau. Das war schon sehr aufregend, was da an Physik herausgekommen ist. Ich habe es bis heute nicht geschafft, alle Artikel zu lesen, die zu diesem Ereignis publiziert wurden!

Die Simulation zeigt zwei Neutronensterne beim Verschmelzen.