

Die Mission »Schwarzes Loch«

Das Team um Astrophysiker Luciano Rezzolla schuf die Simulationen in einem globalen Forschungsprojekt.

Als am 10. April um 15 Uhr das Geheimnis auf mehreren Pressekonferenzen weltweit gelüftet wurde, herrschte auch im vollbesetzten großen Hörsaal der Physik auf dem Campus Riedberg erwartungsvolle Spannung. Freudiges Raunen, als die Live-Schaltung nach Brüssel zeigt, wie Astrophysiker Luciano Rezzolla zusammen mit anderen Wissenschaftlern und dem EU-Kommissar für Wissenschaft, Carlos Moedas, seinen Platz einnimmt.

Schon am Tag zuvor hatten große Zeitungen und Magazine wie die „New York Times“ und der „Spiegel“ angekündigt, es werde das Bild eines Schwarzen Lochs gezeigt. Die meisten hatten erwartet, dass es sich um Sagittarius A* im Zentrum unserer Galaxie handeln würde. Jetzt aber erscheint auf der Leinwand ein Nachthimmel und der Zoom richtet sich auf das Sternbild Jungfrau, geht durch riesige Galaxienhaufen und nähert sich dem Zentrum der Galaxie M87, 55 Millionen

bald er ins Detail geht: Die nächste Folie ist mit Gleichungen vollgeschrieben. Seine Gruppe leitete daraus mehrere Computermodelle ab, die die gekrümmte Raum-Zeit um das Schwarze Loch sowie die Bewegung des hocherhitzten Plasmas um das Schwarze Loch beschreiben. Videos dieser Simulationen erreichten auf Youtube innerhalb von zwei Tagen circa zwei Millionen Menschen.

Die ersten Bilder entstanden bereits im Juli 2018

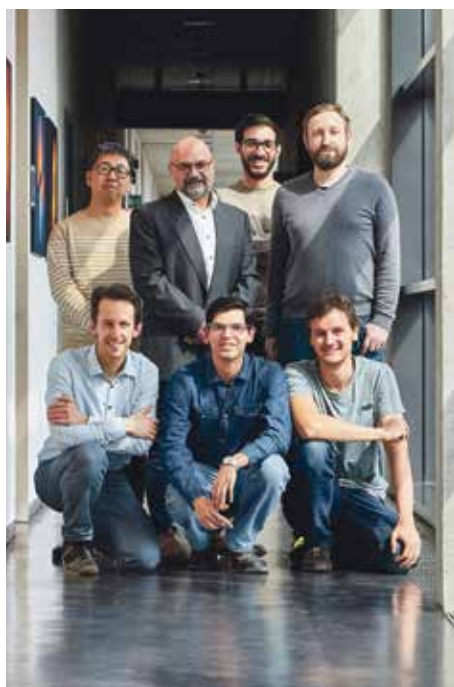
Im Juli des vergangenen Jahres trafen sich mehrere Wissenschaftler des Event Horizon Telescope-Projekts (EHT) in Harvard, Boston, darunter die Frankfurter Astrophysiker Yosuke Mizuno, Ziri Younsi (jetzt University College London) und Christian Fromm. Die Gruppe von circa 40 Wissenschaftlern wurde in vier Teams aufgeteilt und erhielt die Aufgabe, ein „Bild“ aus den beobachteten Daten zu erzeugen. Um sich nicht gegenseitig zu beeinflussen, durften die Teams nicht miteinander reden und verwendeten unterschiedliche Imaging-Algorithmen. Am Ende des Workshops wurden die Ergebnisse verglichen und zum Erstaunen der Wissenschaftler stimmten alle erstellten Bilder sehr gut überein. Nach weiteren Iterationen entstand so das in Brüssel präsentierte Bild.

Bereits im Vorfeld hatten Rezzolla und sein Team in monatelangen Rechnungen mit Supercomputern, hauptsächlich dem universitätseigenen LOEWE-CSC, mehrere zehntausend Bilder von M87 erzeugt, um das beobachtete Bild zu interpretieren. Die Bilder basierten auf unterschiedlichen physikalischen Modellen. „Wir hatten erwartet, dass es leicht sein würde zu entscheiden, welches Bild aus dieser riesigen Sammlung das richtige ist. Aber wir mussten feststellen, dass viele Kombinationen physikalischer Parameter Simulationen erzeugen, die mit dem beobachteten Bild übereinstimmen, sobald man die geringere Auflösung des Radioteleskop-Bildes berücksichtigt“, erklärt Rezzolla.

Das bedeutete, dass die Technik verfeinert werden musste. „Es ist so, wie wenn man in einem Fußballstadion mit 60.000 Fans steht und entscheiden soll, ob jemand, der auf einem verschwommenen Foto zu sehen ist, unter den Anwesenden ist“, erklärt Christian Fromm. Es hat ihn eine Reihe schlafloser Nächte gekostet, bis er das Problem mit einem ausgeklügelten genetischen Algorithmus gelöst hatte.

Umgekehrt galt es, durch die Simulationen verschiedene Alternativen zu Schwarzen Löchern auszuschließen, die ebenfalls mit der Allgemeinen Relativitätstheorie vereinbar sind. Diese konnten jedoch ausgeschlossen werden. „Die Konfrontation der Theorie mit den Beobachtungen ist für einen theoretischen Physiker immer ein dramatischer Moment. Wir waren sehr erleichtert und auch stolz, dass die Beobachtungen so gut mit unseren Vorhersagen übereinstimmen“, so Rezzolla.

Eine Woche später, am 17. April, staunte Universitätspräsidentin Birgitta Wolff bei ihrer Begrüßung zum öffentlichen Abendvortrag, dass an einem Mittwochabend vor Ostern mehr als 400 Astrophysik-Fans gekommen waren, um Rezzolla und seine beiden Kollegen aus dem europäischen Black Hole Cam-Team zu hören: Heino Falcke von der Radboud University in Nijmegen, Niederlande, und Michael Kramer vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn. Die drei

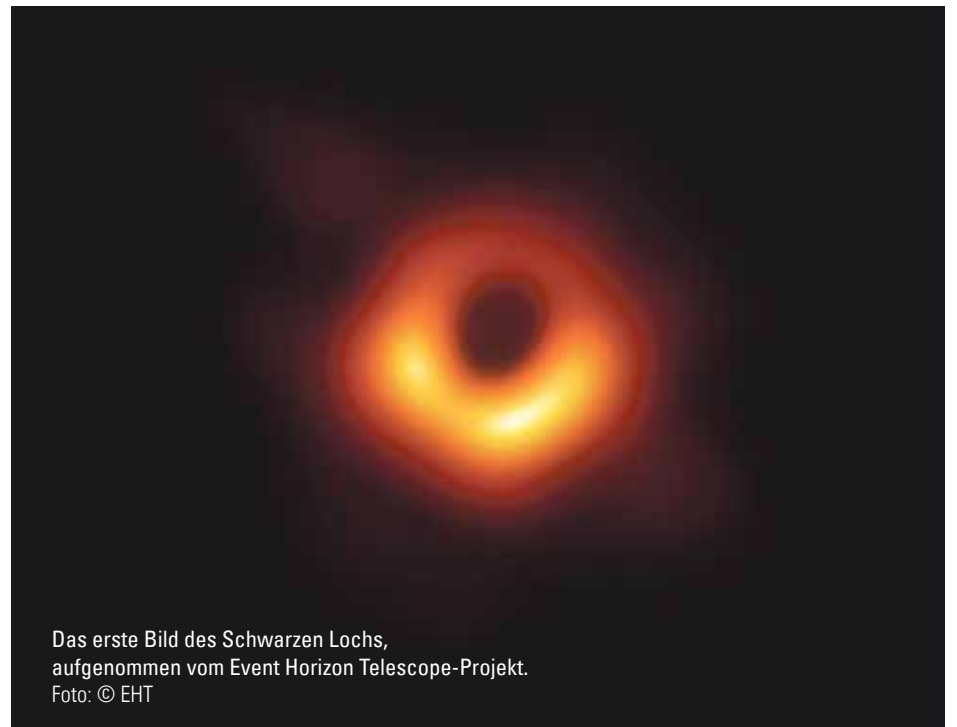


Das Team von Luciano Rezzolla (2. v. links, hinten)

Lichtjahre von uns entfernt, bis das Bild einer schwarzen Scheibe erscheint, die von einer verschwommenen rot-gelb glühenden Ringstruktur umgeben ist.

„Das ist das erste Bild eines Schwarzen Lochs“, erklärt Heino Falcke von der niederländischen Radboud-Universität in Nijmegen und erntet begeisterten Applaus. „Es kommt selten vor, dass Pressekonferenzen in Brüssel so gut besucht sind und Journalisten auch noch klatschen“, bemerkt EU-Kommissar Carlos Moedas erfreut. Einige Minuten später erklärt Luciano Rezzolla, woher die Forscher wissen, dass die Daten, die vor rund einem Jahr mit acht Radioteleskopen weltweit aufgenommen wurden, tatsächlich ein Schwarzes Loch darstellen. Seine Gruppe hat dazu einen wesentlichen Beitrag geleistet, indem sie diese Daten mit Computermodellen verglich. Jetzt applaudieren auch die Studierenden und Forschenden im Frankfurter Physik-Hörsaal.

Eine Woche später zeigt Rezzolla die Gleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie, auf deren Basis die Simulationen entstanden, in einem öffentlichen Abendvortrag auf dem Campus Riedberg. Er veranschaulicht, warum für den Physiker die Schönheit dieser Gleichungen verblasst, so-



Das erste Bild des Schwarzen Lochs, aufgenommen vom Event Horizon Telescope-Projekt. Foto: © EHT

WARUM IST DAS ERSTE BILD EINES SCHWARZEN LOCHS SO WICHTIG?

1. Für Wissenschaftler waren Schwarze Löcher bisher eine einzige Provokation, weil man niemals erfahren wird, was sich hinter dem Ereignishorizont befindet. Das Bild bringt uns dieser verbotenen Zone näher.
2. Messen, Beobachten und Testen sind wesentliche Schritte, um eine Theorie zu einer physikalischen Realität werden zu lassen. In diesem Fall ist die Messung ein Bild, zusammengesetzt aus den Aufnahmen von acht Radioteleskopen auf vier Kontinenten.
3. Das Bild bestätigt in einem für die Wissenschaftler verblüffenden Maß die Erwartung der Theorie.
4. Mit dem Bild kann man erstmals die Größe des Schwarzen Lochs messen und daraus dessen Masse berechnen. Zu der Masse von M87* gab es bisher zwei unterschiedliche Schätzungen. Jetzt weiß man nicht nur, dass sie mehr als sechs Milliarden Sonnenmassen beträgt, sondern kann aufgrund dieser Erkenntnisse auch die Masse anderer Schwarzer Löcher genauer ermitteln.
5. Schwarze Löcher sind für die Kosmologie wegen ihrer ungeheuren Gravitationskraft so etwas wie „Motoren“. M87* sendet unter dem ungeheuren Druck seiner riesigen Masse einen Jet aus heißen Gasen über eine Entfernung von 5.000 Lichtjahren ins All. Die Energie, die auf diese Weise durch die Galaxie transportiert wird, entspricht derjenigen von mehreren Milliarden Supernovae. Sie kann die Entstehung von Sternen verhindern und damit die Form ganzer Galaxien beeinflussen.
6. Schwarze Löcher unterscheiden sich nicht nur in der Größe, sondern sie rotieren auch in unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Das hat einen großen Einfluss auf die Genauigkeit des Bildes, das man von ihnen aufnehmen kann. Sagittarius A* im Mittelpunkt unserer Galaxie ist zwar näher, aber vergleichsweise klein und zappelig wie ein Kleinkind, während M87* wie ein großer Bär im Winterschlaf stillhält. Das wussten die Wissenschaftler vorher nicht. Aber man muss auch Glück haben!

Wissenschaftler hatten 2013 beim Europäischen Forschungsrat einen Synergy Grant in Höhe von 14 Millionen Euro eingeworben und damit einen großen Beitrag zur finanziellen und personellen Unterstützung des Event Horizon Teleskop-Projekts geleistet.

„Wir wussten, dass wir etwas Großes geleistet hatten, aber wir waren uns nicht sicher, ob die Öffentlichkeit das auch so sehen würde“, sagte Falcke. Er zeigte eine Sammlung humoristischer Fotomontagen, die vermuten lässt, dass die Öffentlichkeit vielleicht nicht genau verstanden hat, **warum** dieses Bild für die Astrophysik so bedeutsam ist, wohl aber **dass** es wichtig ist. So zierte das Bild am 11. April die Startseite von Google, Wikipedia widmete ihm die Titelgeschichte. Und Heino Falcke war für das Fußballteam seines Sohnes nicht mehr nur „der Vater vom Niklas“.

Anne Hardy

Filmmaterial zum Schwarzen Loch
(Simulationen und zur Forschung an der Goethe-Universität) finden Sie hier:

Wie wir das Schwarze Loch sichtbar machten.
(Kurzfassung)
<https://youtu.be/5qfahQv80oc>

Wie wir das Schwarze Loch sichtbar machten.
(Langfassung mit persönlichen Statements)
https://youtu.be/Zh5p9Sr0_VU

Simulation zum Schatten des Schwarzen Lochs
https://youtu.be/wN_vzZKDpms