

Pressemitteilung**Goethe-Universität Frankfurt am Main****Dr. Markus Bernards**

24.03.2021

<http://idw-online.de/de/news765592>Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Physik / Astronomie
überregional**Astronomen machen Magnetfelder am Rand des Schwarzen Lochs von M87 sichtbar**

Wissenschaftler:innen des Event Horizon Telescope – unter Ihnen Forschende der Goethe-Uni Frankfurt um den Astrophysiker Luciano Rezzolla – haben 2019 das erste Bild eines schwarzen Lochs erstellt. Heute präsentieren die Forschenden einen neuen Blick auf das gewaltige Objekt im Zentrum der Galaxie Messier 87: sein Aussehen in polarisiertem Licht. Erstmals konnten Astronomen die Polarisation, eine Signatur von Magnetfeldern, so nah am Rande eines schwarzen Lochs messen. Die Beobachtungen sind der Schlüssel zur Erklärung, wie die 55 Millionen Lichtjahre entfernte Galaxie M87 in der Lage ist, energetische Jets von ihrem Kern auszustoßen – Jets mit einer Größe von rund einer Million Lichtjahre.

Luciano Rezzolla, Professor für Theoretische Astrophysik an der Goethe-Universität Frankfurt, erklärt: „Welche Kräfte relativistische Jets in Galaxien antreiben ist eine Frage, die seit langem in der Astrophysik diskutiert wird. Die Jets in M87 sind enorm und würden 10 Prozent unserer Galaxie bedecken. Durch die anspruchsvollen Beobachtungen des Event Horizon Teleskops, kombiniert mit den theoretischen Modellrechnungen, die wir hier in Frankfurt gemacht haben, erhalten wir wesentliche Informationen über einen vergleichsweise kleinen Bereich: Erstmals sehen wir, wie das Magnetfeld sehr nahe um das schwarze Loch herum aussieht.“

„Wir sehen jetzt das nächste entscheidende Puzzleteil für das Verständnis, wie sich Magnetfelder um schwarze Löcher herum verhalten und wie die Aktivität in diesen sehr kompakten Regionen des Weltraums starke Jets antreiben kann, die sich weit über die Galaxie hinaus erstrecken“, sagt Monika Moscibrodzka, Koordinatorin der EHT Polarimetrie-Arbeitsgruppe und Assistenzprofessorin an der Radboud Universität in den Niederlanden.

Am 10. April 2019 veröffentlichten die Wissenschaftler das allererste Bild eines schwarzen Lochs, das eine helle ringförmige Struktur mit einer dunklen zentralen Region – dem Schatten des schwarzen Lochs – zeigt. Seitdem hat sich die EHT-Kollaboration eingehender mit den 2017 gesammelten Daten vom supermassereichen Objekt im Herzen der Galaxie M87 beschäftigt. Sie haben entdeckt, dass ein signifikanter Anteil des Lichts um das schwarze Loch von M87 polarisiert ist.

„Diese Arbeit ist ein wichtiger Meilenstein: Die Polarisation des Lichts birgt Informationen, die es uns erlauben, die Physik hinter dem Bild, das wir im April 2019 gesehen haben, besser zu verstehen. Das war vorher nicht möglich“, erklärt Iván Martí-Vidal, ebenfalls Koordinator der EHT-Polarimetrie-Arbeitsgruppe und GenT Distinguished Researcher an der Universität von Valencia, Spanien. Er fügt hinzu, dass „die Erstellung dieses neuen Polarisationsbildes jahrelange Arbeit erforderte, da die Gewinnung und Analyse der Daten mit komplexen Techniken verbunden war.“

Licht wird polarisiert, wenn es bestimmte Filter durchläuft, wie die Gläser von polarisierten Sonnenbrillen, oder wenn es in heißen Regionen des Weltraums emittiert wird, in denen Magnetfelder vorhanden sind. Genauso wie polarisierte Sonnenbrillen uns helfen, besser zu sehen, indem sie Reflexionen und Blendungen von hellen Oberflächen reduzieren, können Astronomen ihren Blick auf die Region um das schwarze Loch schärfen, indem sie sich ansehen, wie das von ihm

ausgehende Licht polarisiert ist. Insbesondere erlaubt die Polarisation den Astronomen, die Magnetfeldlinien zu kartieren, die am inneren Rand des schwarzen Lochs vorhanden sind.

„Die neu veröffentlichten polarisierten Bilder sind der Schlüssel zum Verständnis, wie das Magnetfeld es dem schwarzen Loch ermöglicht, Materie zu verschlingen“, sagt EHT-Kollaborationsmitglied Andrew Chael, ein NASA Hubble Fellow am Princeton Center for Theoretical Science und der Princeton Gravity Initiative in den USA.

Die hellen Energie- und Materiejets, die aus dem Kern von M87 entspringen und sich mindestens über 5000 Lichtjahre von seinem Zentrum ausbreiten, sind eines der geheimnisvollsten und energiereichsten Merkmale der Galaxie. Die meiste Materie, die sich in der Nähe des Randes eines schwarzen Lochs befindet, fällt hinein. Einige der umgebenden Teilchen entkommen jedoch kurz vor dem Einfangen und werden in Form von Jets weit ins All hinausgeschleudert.

Um diesen Prozess besser zu verstehen, haben sich Astronomen auf verschiedene Modelle gestützt, wie sich Materie in der Nähe des schwarzen Lochs verhält. Aber sie wissen immer noch nicht genau, wie die Jets, die größer als die Galaxie sind, aus seiner zentralen Region ausgestoßen werden, die von ihrer Ausdehnung her mit dem Sonnensystem vergleichbar ist, noch wie genau die Materie in das schwarze Loch fällt. Mit der neuen EHT-Aufnahme des schwarzen Lochs und seines Schattens in polarisiertem Licht ist es den Astronomen erstmals gelungen, in die Region dicht außerhalb des schwarzen Lochs zu blicken, in der dieses Wechselspiel zwischen einströmender und herausgeschleudeter Materie stattfindet.

Die Beobachtungen liefern neue Informationen über die Struktur der Magnetfelder direkt außerhalb des schwarzen Lochs. Das Team fand heraus, dass nur theoretische Modelle mit stark magnetisiertem Gas erklären können, was sie am Ereignishorizont sehen.

„Die Beobachtungen legen nahe, dass die Magnetfelder am Rand des schwarzen Lochs stark genug sind, um das heiße Gas zurückzudrängen und es dabei zu unterstützen, der Schwerkraft zu widerstehen. Nur das Gas, das durch das Feld schlüpft, kann sich spiralförmig nach innen zum Ereignishorizont bewegen“, erklärt Jason Dexter, Assistenzprofessor an der University of Colorado Boulder, USA, und Koordinator der EHT-Theorie-Arbeitsgruppe.

Um das Herz der Galaxie M87 zu beobachten, verbanden die Forschenden acht Teleskope auf der ganzen Welt, um ein virtuelles erdumspannendes Teleskop, das EHT, zu schaffen. Die beeindruckende Auflösung, die mit dem EHT erreicht wird, entspricht der, die benötigt wird, um die Länge einer Kreditkarte auf der Oberfläche des Mondes zu messen.

Mit der Anordnung des EHT konnte das Team den Schatten des schwarzen Lochs und den ihn umgebenden Lichtring direkt beobachten, wobei das neue Bild mit polarisiertem Licht deutlich zeigt, dass der Ring magnetisiert ist. Die Ergebnisse werden heute in zwei separaten Artikeln in The Astrophysical Journal Letters von der EHT-Kollaboration veröffentlicht. An der Forschung waren mehr als 300 Forscher aus verschiedenen Organisationen und Universitäten weltweit beteiligt.

„Das EHT macht rasante Fortschritte, das Netzwerk wird technologisch aufgerüstet und neue Observatorien werden hinzugefügt. Wir erwarten, dass zukünftige EHT-Beobachtungen die Magnetfeldstruktur um das schwarze Loch genauer abbilden und uns mehr über die Physik des heißen Gases in dieser Region verraten werden“, schließt EHT-Kollaborationsmitglied Jongho Park, ein East Asian Core Observatories Association Fellow am Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics in Taipeh.

Bilder und Videos

<http://www.uni-frankfurt.de/99324156> (Bild-Download)

Das supermassereiche schwarze Loch in der Galaxie M87 im polarisierten Licht

Ansicht der Polarisation des schwarzen Lochs in M87. Die Linien markieren die Ausrichtung der Polarisation, die mit dem Magnetfeld um den Schatten des schwarzen Lochs zusammenhängt. Bildnachweis: Event Horizon Telescope Collaboration

<http://www.uni-frankfurt.de/99324167> (Animiertes GIF - Download)

GIF: Beobachtung und Modellrechnung

Animation, die das beobachtete schwarze Loch in der Galaxie M87 zeigt (links) und das theoretische Modell, das am besten zu den Beobachtungen passt: das theoretische Modell mit stark magnetisiertem Gas. Die Streifen zeigen die Linien des Magnetfelds. Bildnachweis: S. Issaoun, M. Mościbrodzka with Polarimetry WG and OWG

<http://www.uni-frankfurt.de/99324045> (Video-Download)

Polarisiertes Licht: Licht ist eine schwingende elektromagnetische Welle. Wenn die Wellen eine bevorzugte Schwingungsebene haben, sind sie polarisiert. Im Weltraum sendet sich bewegendes heißes Gas, so genanntes Plasma, polarisiertes Licht aus, wenn es von einem Magnetfeld durchsetzt wird. Die polarisierten Lichtstrahlen, die der Anziehung des schwarzen Lochs entkommen, wandern zu einer entfernten Kamera. Die Intensität der Lichtstrahlen und ihre Ausrichtung beobachtet die EHT-Kollaboration mit dem Event Horizon Telescope. Credit: © EHT Collaboration and Fiks Film

<https://www.youtube.com/watch?v=6xrJoPjfJGQ&t=14s> (Youtube)

Schwarze Löcher sind von Plasma umhüllt. Dieses Plasma ist von magnetischen Felder durchsetzt, hier beeinflusst Magnetismus, wie Materie sich bewegt. Wenn das Magnetfeld stärker wird, ändert es seine Form und das polarisierte Licht, das die EHT-Kollaboration misst, zeigt unterschiedliche Muster. Credit: © EHT Collaboration and Crazybridge Studios

<https://www.eso.org/public/germany/videos/eso2105b/> (Youtube)

Zoom in das Herz der Galaxie M87

Das Video beginnt mit einem Blick auf ALMA, ein Teleskop, an dem die ESO als Partner beteiligt ist und das Teil des Event Horizon Telescope ist. Es zoomt immer weiter in das Herz von M87. Am Ende ist zunächst zunächst das erste Bild eines schwarzen Lochs zu sehen, das 2019 aufgenommen wurde. Dann folgt das neue Bild, das das supermassereiche Objekts in polarisiertem Licht zeigt. Es ist das erste Mal, dass Astronomen die Polarisation, eine Signatur von Magnetfeldern, so nah am Rande eines schwarzen Lochs messen konnten. Herkunftsnachweis: ESO/L. Calçada, Digitized Sky Survey 2, ESA/Hubble, RadioAstron, De Gasperin et al., Kim et al., EHT Collaboration. Music: Niklas Falcke

<http://www.uni-frankfurt.de/99324248> (Bilder - Download)

Ansicht des supermassereichen schwarzen Lochs in der Galaxie M87 und des Jets in polarisiertem Licht

Dieses zusammengesetzte Bild zeigt drei Ansichten der zentralen Region der Galaxie Messier 87 (M87) im polarisierten Licht. Die Galaxie hat ein supermassereiches schwarzes Loch in ihrem Zentrum und ist berühmt für ihre Jets, die weit über die Galaxie hinausreichen.

Eines der Bilder mit polarisiertem Licht, das mit dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) in Chile aufgenommen wurde, an dem die ESO beteiligt ist, zeigt einen Teil des Jets in polarisiertem Licht. Dieses Bild fängt den Teil des 6.000 Lichtjahre langen Jets ein, der sich näher am Zentrum der Galaxie befindet.

Die anderen Bilder mit polarisiertem Licht zoomen näher an das supermassereiche schwarze Loch heran: Die mittlere Ansicht deckt einen Bereich von etwa einem Lichtjahr Größe ab und wurde mit dem Very Long Baseline Array (VLBA) des National Radio Astronomy Observatory in den USA aufgenommen.

Die am stärksten vergrößerte Ansicht wurde durch die Verknüpfung von acht Teleskopen auf der ganzen Welt zu einem virtuellen Teleskop in Erdgröße, dem Event Horizon Telescope (EHT), gewonnen. Dies erlaubt den Astronomen, sehr dicht an das supermassereiche schwarze Loch heranzukommen, in die Region, in der die Jets gestartet werden.

Die Linien markieren die Orientierung der Polarisation, die mit dem Magnetfeld in den abgebildeten Regionen zusammenhängt. Die ALMA-Daten liefern eine Darstellung der Magnetfeldstruktur entlang des Jets. Die kombinierten Daten von EHT und ALMA ermöglichen den Astronomen daher, die Rolle der Magnetfelder von der Umgebung des Ereignishorizonts (wie mit dem EHT auf Distanzen von Lichttagen untersucht) bis weit über die Galaxie M87 hinaus entlang ihrer starken Jets (wie mit ALMA auf Skalen von Tausenden von Lichtjahren untersucht) zu erforschen.

Die Werte in GHz beziehen sich auf die Lichtfrequenzen, bei denen die verschiedenen Beobachtungen gemacht wurden. Die horizontalen Linien zeigen den Maßstab der einzelnen Bilder in Lichtjahren.

Bild: EHT Collaboration; ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), Goddi et al.; VLBA (NRAO), Kravchenko et al.; J. C. Algaba, I. Martí-Vidal

An der EHT-Kollaboration sind mehr als 300 Forschende aus Afrika, Asien, Europa, Nord- und Südamerika beteiligt. Die internationale Partnerschaft arbeitet daran, die detailliertesten Bilder von schwarzen Löchern zu erhalten, die je gemacht wurden, indem sie ein virtuelles Teleskop von der Größe der Erde entwickelt. Unterstützt durch beträchtliche internationale Investitionen, verbindet das EHT bestehende Teleskope mit neuartigen Systemen und schafft so ein grundlegend neues Instrument mit dem höchsten Winkelauflösungsvermögen, das bislang erreicht wurde.

Die beteiligten Einzelteleskope sind: ALMA, APEX, das 30-Meter-Teleskop des Institut de Radioastronomie Millimétrique (IRAM), das IRAM NOEMA Observatorium, das James Clerk Maxwell Teleskop (JCMT), das Large Millimeter Telescope (LMT), das Submillimeter Array (SMA), das Submillimeter Teleskop (SMT), das South Pole Telescope (SPT), das Kitt Peak Teleskop und das Greenland Telescope (GLT).

Das EHT-Konsortium besteht aus 13 beteiligten Instituten: Das Academia Sinica Institute of Astronomy and Astrophysics, die University of Arizona, die University of Chicago, das East Asian Observatory, die Goethe-Universität Frankfurt, das Institut de Radioastronomie Millimétrique, das Large Millimeter Telescope, das Max-Planck-Institut für Radioastronomie, das MIT Haystack Observatory, das National Astronomical Observatory of Japan, das Perimeter Institute for Theoretical Physics, die Radboud University und das Smithsonian Astrophysical Observatory.

Die BlackHoleCam-Forschungsgruppe wurde 2013 mit dem Synergy Grant des Europäischen Forschungsrats in Höhe von 14 Millionen Euro ausgezeichnet. Die Principal Investigators sind Heino Falcke, Luciano Rezzolla (Goethe Universität) und Michael Kramer, und die Partnerinstitute sind JIVE, IRAM, MPE Garching, IRA/INAF Bologna, SKA und ESO. BlackHoleCam ist Teil der Event Horizon Telescope Kollaboration.

Die Goethe-Universität ist eine forschungsstarke Hochschule in der europäischen Finanzmetropole Frankfurt. 1914 mit privaten Mitteln überwiegend jüdischer Stifter gegründet, hat sie seitdem Pionierleistungen erbracht auf den Feldern der Sozial-, Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften, Medizin, Quantenphysik, Hirnforschung und Arbeitsrecht. Am 1. Januar 2008 gewann sie mit der Rückkehr zu ihren historischen Wurzeln als Stiftungsuniversität ein hohes Maß an Selbstverantwortung. Heute ist sie eine der drei größten deutschen Universitäten. Zusammen mit der Technischen Universität Darmstadt und der Universität Mainz ist die Goethe-Universität Partner der länderübergreifenden strategischen Universitätsallianz Rhein-Main. www.goethe-universitaet.de

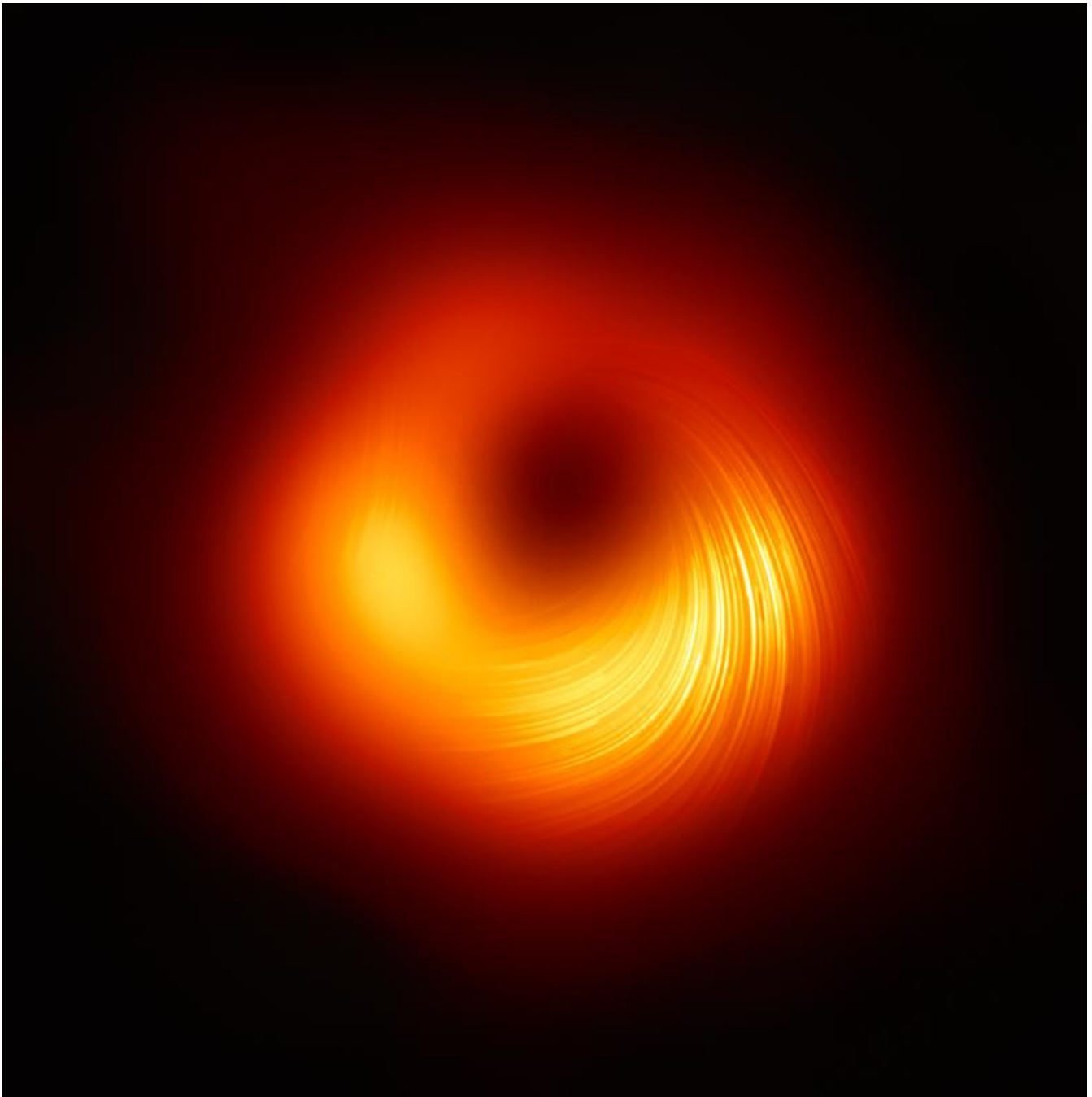
wissenschaftliche Ansprechpartner:

Prof. Dr. Luciano Rezzolla
Lehrstuhl für Theoretische Astrophysik
Institut für Theoretische Physik
Goethe Universität Frankfurt
Tel. +49 69 798-47871 / 47879
rezzolla@itp.uni-frankfurt.de
<https://astro.uni-frankfurt.de/rezzolla/>

Originalpublikation:

The Event Horizon Collaboration, Kazunori Akiyama et al.: First M87 Event Horizon Telescope Results VII: polarization of the ring. *Astrophysical Journal Letters*, 910, L12 (2021) DOI 10.3847/2041-8213/abe71d (ApJL 910, L12)

The Event Horizon Collaboration, Kazunori Akiyama et al.: First M87 Event Horizon Telescope Results VIII: Magnetic Field Structure Near The Event Horizon. *Astrophysical Journal Letters*, 910, L13 (2021) DOI 10.3847/2041-8213/abe4de (ApJL 910, L13)



Das supermassereiche schwarze Loch in der Galaxie M87 im polarisierten Licht
EHT Collaboration
Bildnachweis: Event Horizon Telescope Collaboration