

Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 77 (2019)
Heft: 5

Artikel: Nachrichten vom Rand des Ungetüms - das Leuchten im Vorhof eines Schwarzen Lochs
Autor: Geiger, Hansjürg
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-960573>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 07.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ein Bild begeistert die Welt der Wissenschaft.
Was aber zeigt es?

Nachrichten vom Rand des Ungetüms – das Leuchten im Vorhof eines Schwarzen Lochs

Einmal mehr hatten Wissenschaftler einen grossen Auftritt vor den Weltmedien. Das unscharfe Bild eines rötlich-gelben Rings mit einem schwarzen Fleck in der Mitte war der Grund für den Jubel. Zu Recht?

Die mögliche Existenz ultimativer Monster im All, Schwarze Löcher, Objekte, die alles verschlingen und nicht einmal Licht entweichen lassen, beflügelt seit Jahrzehnten die Phantasie der breiten Öffentlichkeit, der Science-Fiction Autoren und auch jene seriöser Wissenschaftler. Kein Wunder nahmen die Weltmedien die Erfolgsmeldung der Event Horizon Telescope-Gruppe begierig auf. «Das erste Bild eines schwarzen Lochs», «Direkter Blick ins Schwarze Loch», «Blick in den Abgrund», «Am Ende von Raum und Zeit» und ähnlich titelten Zeitschriften um den Globus. Dabei zeigte das Bild weder das Schwarze Loch selbst, noch den Blick

dort hinein – weder direkt noch indirekt. Trotzdem, die Feier zur Veröffentlichung des mittlerweile berühmten Bildes war gerechtfertigt, einerseits wegen der Art und Weise, wie es entstand und andererseits wegen den Möglichkeiten, die sich für die Zukunft auftun.

EIN WELTWEITES TELESKOP MACHT'S MÖGLICH

Obwohl sich *Albert Einstein* nie wirklich mit der Idee anfreunden konnte, im Kosmos könnten sich Objekte tummeln, welche in einem winzigen Punkt die Masse ganzer Sternfelder vereinigen, geht deren Exis-

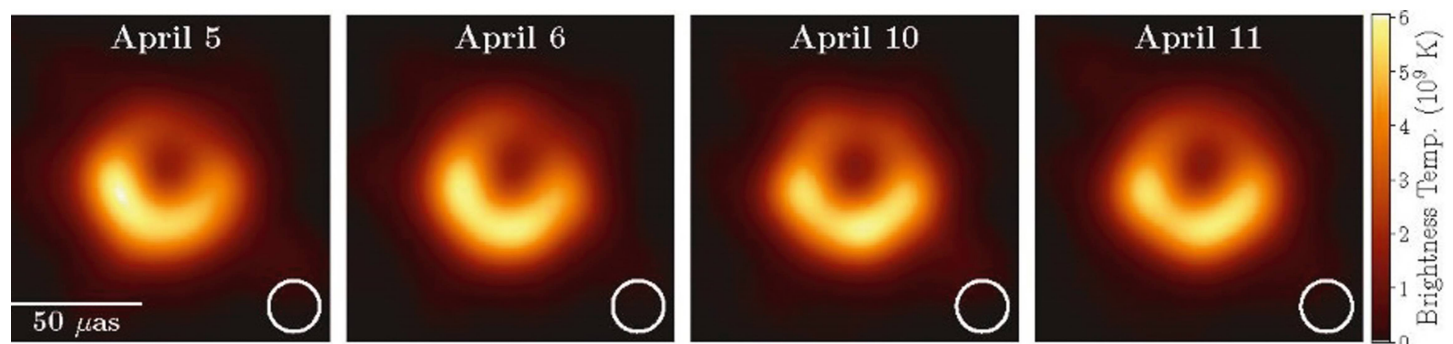


Abbildung 1: Die vier Aufnahmen zeigen die geringen Veränderungen in der Radiostrahlung (orange/rot) um den Ereignishorizont (schwarz) des Schwarzen Lochs in M87.

Bild: Event Horizon Telescope Collaboration



Neue Astrographen von TS Optics!



TS-Optics 61EDPH - 61 mm f/4,5 Apo, 5-elementig mit Feldebnung

Dieser kompakte Astrograph mit 276 mm Brennweite ist von Teleskop-Service speziell für die Astrofotografie entwickelt worden. Durch sein geebnetes Bildfeld mit 44 mm Ø ist er auch für Vollformat-Kameras geeignet.

- 2,5" CNC Fokussierer, rotierbar
- Rohrschelle inkl. Prismenschiene und Tragegriff

- 5 Element System mit FPL53 Element
Einführungspreis TS61EDPH: 713,45 €*



TS-Optics 71SDQ - 71 mm f/6,3 Quadruplet Apo mit Feldebnung

Der neueste Refraktor aus der TS Quadruplet Reihe ist ein idealer Reiseapochromat für Astrofotografen und visuelle Beobachter.

- 2,5" CNC Fokussierer
- Kamera kann verschraubt werden
- 115 mm Arbeitsabstand

Einführungspreis TS71SDQ: 668,07 €*



TS-Optics 150 mm f/2,8 hyperbolischer Astrograph mit Korrektor und Carbontubus

Hyperbolischer Flat-Field Astrograph, speziell für Deep Sky Fotografie mit DSLR- und Astro-Kameras

- 2,5" CNC Fokussierer
- Verschraubte Kameraadaption
- 45 mm Bildkreisdurchmesser

Einführungspreis Hypergraph6: 1.847,90 €*

* alle Preise excl. UST





Abbildung 2: Aufnahme der elliptischen Galaxie M87 mit dem Jet.

Bild: NASA/ESA, Hubble Heritage Team

tenz aus seiner Allgemeinen Relativitätstheorie hervor. Danach müssen Himmelskörper existieren, Schwarze Löcher eben, deren Masse eine derart groteske Verformung der Raumzeit bewirkt, dass sie unwiederbringlich alles verschlucken, was ihnen zu nahekommt. Materie oder Strahlung in irgendeiner Form, nichts kann einem solchen Gravitationsmonster entweichen, sobald es sich über jene kritische Grenze hinweg annähert, bei der die Fluchtgeschwindigkeit die Lichtgeschwindigkeit erreicht. Was hinter diese Grenze, den Ereignishorizont, gerät, verschwindet im Schwarzen Loch und bleibt uns auf immer und ewig verborgen. Was wir uns erhoffen können, ist Wege zu finden, uns dieser Schwelle möglichst zu nähern und zu beobachten, was unmittelbar davor geschieht.

Im Jahre 2017 wagte ein Konsortium aus sechs Radioobservatorien den Versuch, genau dies zu tun. Teleskope auf Hawaii, in den USA, Mexiko, Chile und Spanien, sowie zur Kalibrierung der Daten am Südpol, konnten derart präzise aufeinander abgestimmt werden,

dass sie ein Riesenteleskop mit dem Auflösungsvermögen eines Gerätes von fast dem Durchmesser der Erde ergaben. Die mit diesem simulierten Instrument gesammelten Daten waren gigantisch. Allein die Europäische Südsternwarte in Chile kam auf über ein Petabyte (10^{15}), viel zu viel für einen Versand per Internet. Die Festplatten wurden per Bote, mit dem Flugzeug oder per Schiff zum Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn verfrachtet. Dort arbeiteten die Wissenschaftler bis zu diesem Frühjahr. Erst dann war der Datenberg mit Hilfe der Supercomputer ausgewertet und produzierte das beeindruckende Bild.

Aber wieso dieser riesige Aufwand? Wenn Schwarze Löcher doch so gewaltige Massen vereinigen können? Die Ausmasse des nun abgelichteten Ungetüms in der Galaxie M87 sind wahrlich beeindruckend. Es vereinigt in sich etwa 6.5 Milliarden Sonnenmassen und steht damit ganz an der Spitze der Rangliste supermassiver Schwarzer Löcher. Sein Ereignishorizont hat einen Radius von rund 20 Milliarden Kilometer, deutlich

Andrew Strominger, theoretischer Physiker, Harvard University
«Die fundamentalen Gesetze der Physik, so wie wir sie gegenwärtig verstehen, sind sowohl unvollständig als auch widersprüchlich.»

mehr als der mittlere Bahnradius des Kleinplaneten Pluto. Aber gerade dies ist das Problem. Auf die Distanz von 55 (+/- 4) Millionen Lichtjahre zu M87 wird selbst dieser Masseriese zu einem winzigen Flecken am Himmel und misst gerade noch etwas über 50 Mikrobogensekunden. Die Zahl 50 klingt nach viel, aber dies entspricht etwa dem Durchmesser einer DVD – vom Mond aus betrachtet.

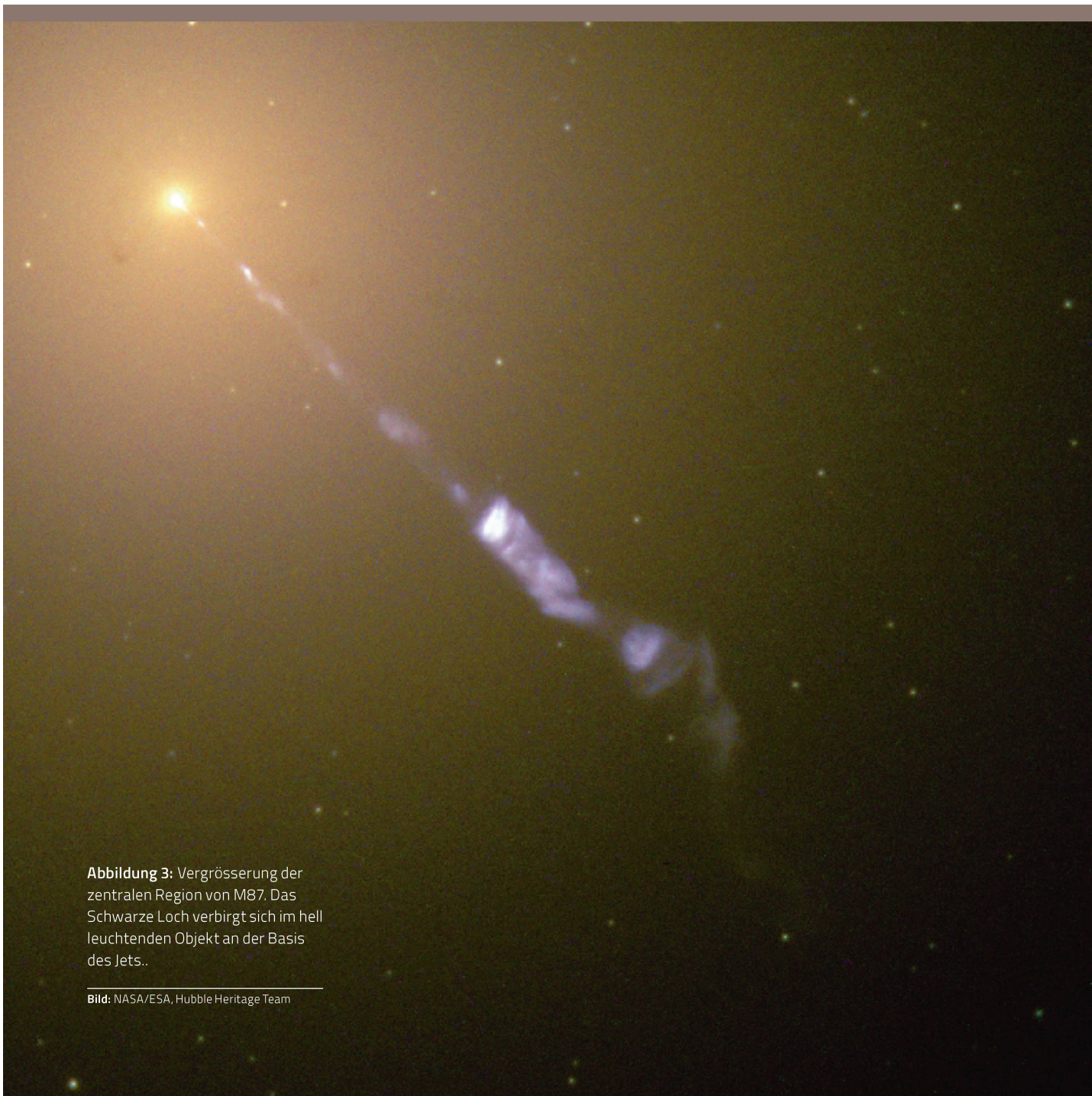
DER SCHLÜSSEL ZUM RÄTSEL DER GROSSEN FRAGEN DER KOSMOLOGIE?

Schwarze Löcher sind aber nicht einfach nur imposante Himmelsobjekte. Am Ereignishorizont, dem

Ort ohne Wiederkehr, werden derart massive Kräfte freigesetzt, dass sie uns etwas Einzigartiges im Universum bieten, Umgebungen nämlich, in denen die grossen Fragen der Kosmologie getestet werden können. Die Fachleute erhoffen sich nämlich, in der Umgebung von Schwarzen Löchern Hinweise auf das Zusammenwirken der beiden zentralen Theorien ihrer Wissenschaft zu finden. Sie möchten endlich erfahren, wie die Allgemeine Relativitätstheorie, welche die Gravitation und damit das Verhalten der grossen Objekte im Universum bestimmt, und die Quantentheorie, die Theorie der allerkleinsten Teilchen, zusammenpassen. Denn dort, am Rande des Abgrundes, werden auch ganze Sterne in die

Abbildung 3: Vergrösserung der zentralen Region von M87. Das Schwarze Loch verbirgt sich im hell leuchtenden Objekt an der Basis des Jets..

Bild: NASA/ESA, Hubble Heritage Team



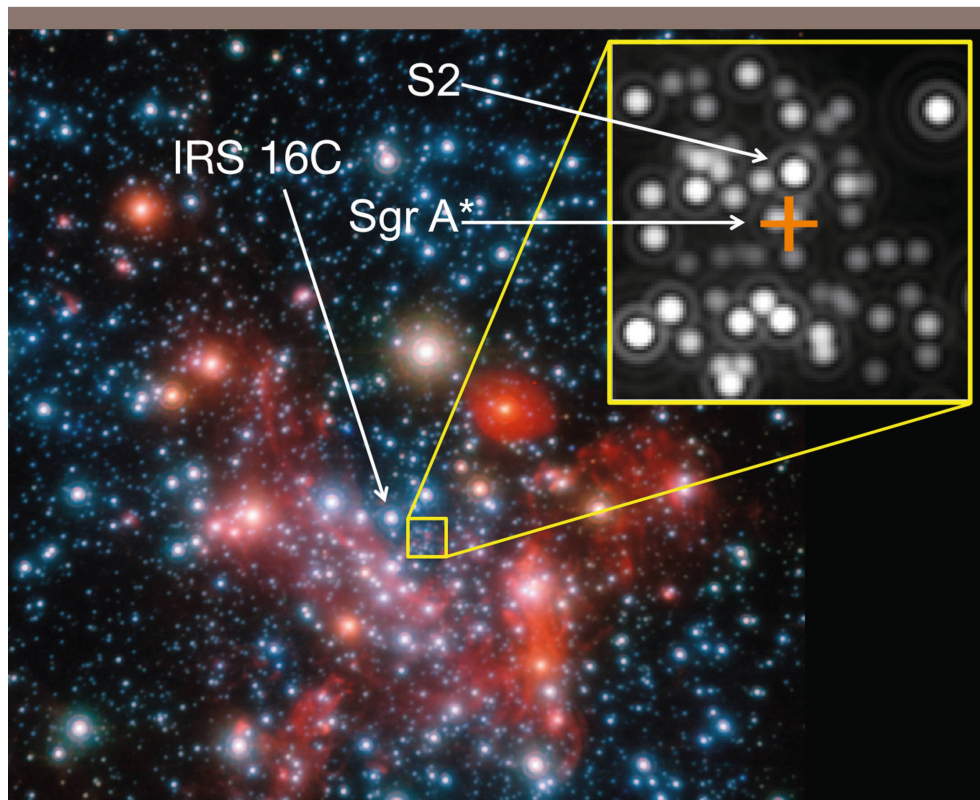


Abbildung 4: Aufnahme der zentralen Region unserer Milchstrasse. Der Stern S2 bewegt sich nur ca. 30 % weiter weg vom Schwarzen Loch als Jupiter von der Sonne.

Bild: ESO

elementarsten Bestandteile zerrissen. Allerdings müssen Schwarze Löcher, damit sie für uns mit den heutigen Methoden überhaupt beobachtbar sind, derart gross sein, dass die Quanteneffekte an ihrem Ereignishorizont kaum mehr entdeckt werden können. Kleinere Schwarze Löcher wären dazu viel besser geeignet.

So spektakulär also das Bild des Schwarzen Loches im Zentrum von M87 auch ist (Bild 1), so wenig wird es uns helfen, die entscheidenden Rätsel der modernen Kosmologie zu lösen. Immerhin, und dies ist die ganz grosse Leistung der Forscher, zeigt es uns erstmals die Silhouette des Schwarzen Loches vor dem Hintergrund des im Radiobereich hell leuchtenden Materials, das es umkreist. Dieses Material bewegt sich mehr oder weniger in einer Ebene um das Zentrum, der Akkretionsscheibe, aus der es in Richtung Zentrum transportiert wird. Die Gase und der Staub in der Scheibe werden durch die Rotation des Schwarzen Lochs teilweise derart stark beschleunigt, dass sie in einem enormen Jet aus Plasma und Energie in die Tiefen des Alls geschleudert werden (vgl. Abbildungen 2 und 3). Was da genau passiert, wie das Schwarze Loch rotiert, ist unbekannt. Die genaue Analyse der Verteilung der Strahlung um den Ereignishorizont könnte hier helfen.

Ebenso unbekannt ist die Quelle der Photonen, die im orange markierten Bereich um den Ereignishorizont Radiowellen strahlen. Nach den Theorien der Kosmologen müssen diese enorm schnell bewegten Photonen ihren Ursprung nahe am Schwarzen Loch haben. Sie könnten aus der Akkretionsscheibe oder von der Basis des Jets stammen. Auch hier erhoffen sich die Wissenschaftler bald genauere Daten.

NERVÖSES ZENTRUM DER MILCHSTRASSE

So wie es im Moment aussieht, beherbergt praktisch jede Galaxie in ihrem Zentrum ein supermassives Schwarzes Loch – auch die Milchstrasse. Unser Exemplar ist als Radioquelle Sagittarius A* bekannt, verbirgt sich hinter Staub- und Gaswolken im Sternbild Schütze, ist mit 4.1 Millionen Sonnenmassen fast 1'600 Mal schlanker als M87 und zeigt keinen Jet. An sich wäre dieses Schwarze Loch dank seiner Nähe zu uns deutlich besser beobachtbar als jenes in M87. Seine geringere Masse lässt es aber von der Erde aus betrachtet praktisch gleich gross erscheinen wie das jetzt fotografierte Exemplar. Dazu kommt, dass die Beobachtung des Schwarzen Lochs in M87 während vier Tagen kaum Variationen in der Strahlung zeigte (Bild 1). Ganz anders das Umfeld



Abbildung 5: Strömungslinien des Staubes im magnetischen Feld um das supermassive Schwarze Loch im Zentrum der Milchstrasse. Die helle Y-Form zeigt Material, welches zum Schwarzen Loch fällt. Dieses liegt im Treffpunkt der beiden Y-Arme.

Bild: NASA/SOFIA/Hubble Space Telescope

von Sagittarius A*. Hier kann sich die Strahlung im Minutentakt verändern, was die Analyse zusätzlich erschwert. Ob dieser Unterschied real oder ein Beobachtungsartefakt ist, muss sich erst noch weisen.

Das Team des Event Horizon Telescopes hat während der Kampagne vor zwei Jahren auch die Strahlenquelle Sagittarius A* mit ihren Radioteleskopen abgetastet. Noch sind diese Daten nicht ausgewertet und man darf gespannt auch auf deren Veröffentlichung warten. Ein Rätsel der aktiven Zentren von Galaxien könnte aber bereits mit einer anderen Methode gelöst worden sein. Im Juni 2019 gaben die Betreiber des SOFIA Observatoriums der NASA und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt DLR bekannt, ihnen sei es gelungen, die Magnetfelder im Zentrum unserer Milchstrasse zu vermessen. SOFIA ist ein 2.7 m Teleskop, welches an Bord einer umgebauten Boeing 747 SP in die höhere Stratosphäre geflogen wird. Dank einem neuen Instrument, der High-resolution Airborne Wideband Camera-Plus, oder HAWC+, konnte nun das im infraroten Licht polarisierte Licht angeregter Staubkörner erfasst werden. Diese Staubkörner richten sich senkrecht zu den

magnetischen Feldlinien aus, bilden also das Magnetfeld indirekt ab. Gemäss den ersten Resultaten lenkt das Magnetfeld im Zentrum unserer Milchstrasse den Staub in die Akkretionsscheibe um das Schwarze Loch. Damit entsteht kein Jet, im Gegensatz zu jenen Galaxien, in denen der Staub direkt zum Schwarzen Loch geführt wird.

Die Rätsel um die Schwarzen Löcher sind mit den neuesten Entdeckungen also noch keineswegs gelöst. Ihre Erforschung könnte uns aber eines Tages auch die tiefsten Geheimnisse des Universums verraten. Dazu müsste die Auflösung der Radioteleskope aber nochmals deutlich verbessert werden.

Träumen darf man ja. Wie wäre es mit einem Radioteleskop auf der Mondoberfläche? Zusammengeschaltet mit den irdischen Radioschüsseln ergäbe dies ein simuliertes Instrument mit dem Radius der Distanz zwischen Erde und Mond. Jetzt, wo alle grossen Raumfahrtationen zum Mond fliegen wollen, vielleicht nicht einmal mehr eine ferne Utopie. <

Janna Levin,
Barnard College,
New York
«Können wir das schwierige Zeug, wie was am Ereignishorizont auf dem Niveau der Quanten geschieht, wirklich verstehen? Das ist mit diesen Daten unwahrscheinlich.»