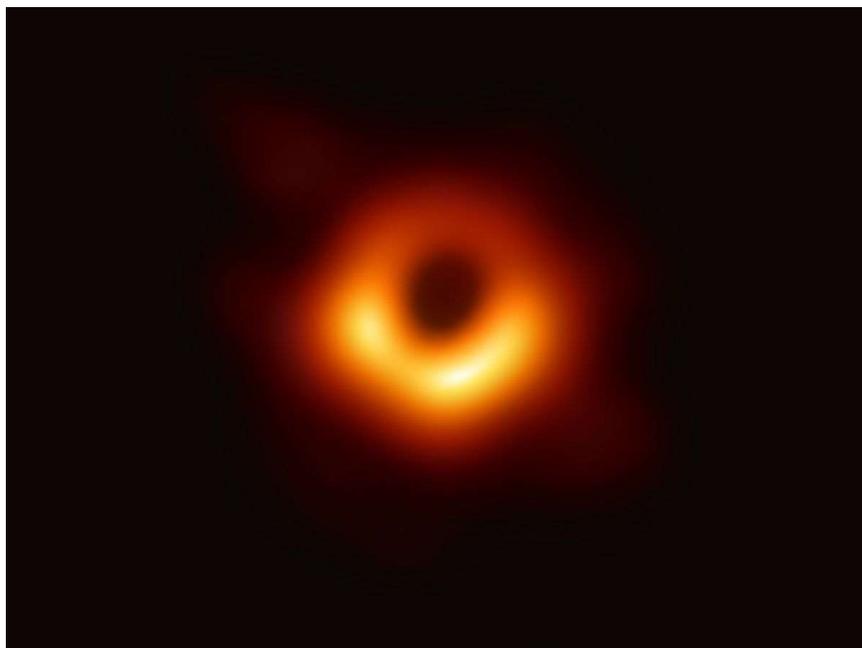


Facharbeit

im Seminarfach Astronomie



Schwarze Löcher

Beobachtung und Darstellung

Eva Wasmuth

Seminarfach Astronomie, Herr Riemer

Bramsche, am 16. März 2021

Inhaltsverzeichnis

1. – Einführung	2
2. – Was ist ein Schwarzes Loch? – Kurzerklärung	2
3. – Kann man Schwarze Löcher beobachten?	3
4. – Nachweismethoden	4
4.1 – Spektror-relativistische Verifikation	4
4.2 – Eruptive Verifikation	4
4.3 – Kinematische Verifikation	5
4.4 – Aberrative Verifikation	5
4.5 – Obskurative Verifikation	6
4.6 – Akkretive Verifikation	6
5. – Das erste Foto eines Schwarzen Lochs	6
5.1 – Beobachtungsziel: Messier 87	6
5.2 – Verfahren	7
5.3 – Teleskope/Ausrüstung	8
5.4 – Vorbereitungen und Testverlauf	9
5.5 – Start und Verlauf	10
5.6 – Auswertung und Darstellung	11
5.7 – Erkenntnisse	12
6. – Ausblick und Fazit	13
7. – Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit	14
8. – Einverständniserklärung zur Veröffentlichung	14
9. – Literaturverzeichnis	15
10. – Quellenverzeichnis	15

1. – Einführung

Am 10. April 2019 wurde in mehreren Pressekonferenzen rund um die Welt verkündet, dass es einem Team von 207 Wissenschaftlern nach Jahrzehnten von Arbeit und Vorbereitung die Beobachtung und Darstellung eines Schwarzen Lochs in Form eines Fotos¹ gelungen sei.²

Doch wie war es möglich, ein Objekt abzubilden, das keinerlei Licht aussendet und im Universum nahezu unsichtbar ist? Welche Beobachtungsmethoden gibt es und inwiefern ist es möglich, ein Schwarzes Loch nachzuweisen? Wie genau ist die Erstellung des Bildes abgelaufen und welche Erkenntnisse bringt es für die Wissenschaft?

Im Folgenden werde ich auf diese und mehr Fragen eingehen und darlegen, wie die Aussichten in der Zukunft bezüglich der Darstellung und Beobachtung Schwarzer Löcher sind.

2. – Was ist ein Schwarzes Loch? – Kurzerklärung

Der Begriff »Schwarzes Loch« wurde im Jahr 1967 von John Archibald Wheeler, ein US-amerikanischer theoretischer Physiker, geprägt. Als Schwarzes Loch bezeichnet man ein Objekt, dessen Masse auf ein so kleines Volumen konzentriert ist und eine so große Gravitation erzeugt, dass die Raumzeit³ stark gekrümmt wird und nicht einmal Licht diesen Bereich durchlaufen, geschweige denn verlassen kann.⁴

Schwarze Löcher entstehen am Ende des Lebens eines Sterns. Auf den Stern wirken zwei Kräfte, die Gravitationskraft, die den Stern zusammenhält und der Strahlungsdruck, der der Gravitation entgegenwirkt. Durch das Erlöschen eines Sterns verschwindet der Strahlungsdruck. Da der Gravitation nicht mehr entgegengewirkt werden kann, implodiert das

¹ Bild auf dem Deckblatt: https://cdn.prod.www.spiegel.de/images/2c72a953-0001-0004-0000-000001415495_w948_r1.77_fpx49.52_fpy48.99.jpg

² BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S. 28

³ gemeinsame Darstellung des dreidimensionalen Raums und der eindimensionalen Zeit in einer vierdimensionalen mathematischen Struktur

⁴ Schwarzes Loch. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch, Stand: 12.03.2021

Sterninnere und die äußere Hülle wird ins All geschleudert. Aufgrund der eigenen Schwerkraft fällt die Kernmaterie immer weiter in sich zusammen, die Gravitation steigt und verzerrt somit die lokale Raumzeit. Schließlich wird die Anziehungskraft des Schwarzen Lochs so stark, dass es ganze Planeten, Sterne und sogar Licht anzieht.¹

Es gibt vier Kategorien von Schwarzen Löchern. Das Primordiale Schwarze Loch stellt die kleinste Art dar, entsteht aber nicht durch einen Sternkollaps, sondern schon im sogenannten jungen Universum. Allerdings ist die Existenz dieser Löcher nicht bestätigt.

Stellare Schwarze Löcher bilden die zweite Klasse und entstehen wie zuvor beschrieben durch einen Gravitationskollaps. Durch Akkretion, also der Aufnahme von Materie durch die Gravitation, kann ein Schwarzes Loch dieser Art wachsen.

Die dritte Klasse von Schwarzen Löchern sind Massereiche Schwarze Löcher. Vermutet wird, dass diese aus der Kollision und Akkretion von Sternen entstehen.

Supermassereiche Schwarze Löcher bilden die vierte und letzte Klasse. Wie der Name schon sagt, haben diese Löcher mit Millionen bis Milliarden Sonnenmassen die größte Masse und befinden sich meist in Zentren von Galaxien. Auch in unserer Milchstraße befindet sich so ein Schwarzes Loch – Sagittarius A*, das sich in 26.000 Lichtjahren Entfernung zu uns befindet.²

3. – Kann man Schwarze Löcher beobachten?

Schwarze Löcher sind dadurch definiert, dass sie kein Licht aussenden, weswegen sie im Universum nahezu unsichtbar sind. Eine direkte Beobachtung ist daher kaum möglich, es sei denn die Abbildung des Schattens eines Schwarzen Lochs gelingt. Um das Loch kreist Materie, die sich immer weiter aufheizt und dadurch leuchtet, sowie Strahlung abgibt. Ab dem Ereignishorizont³ kann kein Licht mehr nach außen dringen. Wird also

¹ Schwarze Löcher. Wie aus viel Masse ein Loch wird. Aus: <https://abenteuer-universum.de/stersterne/bl2.html>, Stand: 12.03.2021

² Schwarzes Loch. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch, Stand: 12.03.2021

³ Ereignisse jenseits dieser Grenzfläche sind nicht sichtbar für den Beobachter

die Materie unwiderruflich in das Loch gesogen, wird der Ereignishorizont in Form einer kreisförmigen Schwärzung inmitten der Akkretionsscheibe sichtbar.¹

Eine direkte Beobachtung gestaltet sich also als schwierig, jedoch gibt es Methoden, mit denen man ein Schwarzes Loch indirekt nachweisen kann. Im Folgenden werden einige Verfahren vorgestellt, die mit Hilfe verschiedener Messungen einen Nachweis von Schwarzen Löchern bringen können.

4. – Nachweismethoden

4.1 – Spektror-relativistische Verifikation

Schwarze Löcher haben einen unmittelbaren Einfluss auf ihre Umgebung und machen sich dadurch bemerkbar. Wenn jedoch die direkte Strahlung eines Schwarzen Lochs verschluckt wird, kann man diese nicht beobachten. Allerdings heizt sich die Umgebung extrem stark auf, was man mit Hilfe thermischer Röntgenstrahlung messen kann. Auch entstehen unmittelbar in der Nähe des Schwarzen Lochs Emissionslinien von Atomen und Ionen. Anhand der Profile dieser Linien (ein sog. Relativistisches Emissionslinienprofil) kann so einiges über die physikalischen Eigenschaften abgeleitet werden, wie in etwa die Neigung der kalten Standartscheibe oder der Rotationszustand. Weiterhin ist es möglich, die Ränder der Standartscheibe zu bestimmen und Aufschluss über das Geschwindigkeitsfeld des Plasmas zu erhalten.²

4.2 – Eruptive Verifikation

Kommt ein Stern einem Schwarzen Loch so nah, dass er sich innerhalb des Gezeitenradius³ befindet, wird dieser bei Annäherung durch die Gravitation

¹ FREISTETTER, FLORIAN: Das erste Bild von einem schwarzen Loch. Aus: <https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2019/04/10/das-erste-bild-von-einem-schwarzen-loch/>, Stand: 12.03.2021

² MÜLLER, ANDREAS: Schwarze Löcher – Das dunkelste Geheimnis der Gravitation. Aus: https://www.spektrum.de/astrowissen/astro_sl_obs.html#obs, Stand: 12.03.2021

³ Abstand zum Schwarzen Loch in dem die Selbstgravitation des massiven Objekts dominiert und das Objekt zerreißt

nahezu zerrissen. Hier dienen Röntgenflares¹ als eruptive Nachweismethode. Bei dieser Beobachtungsmöglichkeit gibt es allerdings auch Schwierigkeiten, da einige Sterne eine so große Masse haben, dass der Gezeitenradius innerhalb des Ereignishorizonts liegt, wodurch der Zerriss nicht mehr beobachtbar wird. Auch passiert so ein Ereignis recht selten, etwa alle 10.000 Jahre, und es ist schwierig, aus den beobachteten Eruptionen etwaige Eigenschaften des Schwarzen Loches oder der Umgebung abzuleiten.²

4.3 – Kinematische Verifikation

Dies ist wohl eine der bekanntesten Verifikationen, bei der man sich die Bahnen der Sterne oder quasi-periodische Flares zunutze macht. Diese bewegen sich mit einer hohen Bahngeschwindigkeit auf elliptischen Orbits um das Schwarze Loch, was nach langjähriger Beobachtung mit Infrarot in einer Animation sogar veranschaulicht und sichtbar gemacht werden kann. Ebenfalls können Gaswolken von Galaxien kinematisch vermessen werden und so Aufschluss über die Masse des zentralen Lochs geben.

Weitere kinematische Methoden sind das Reverberation Mapping, mit dessen Hilfe Masse und Drehimpuls von Schwarzen Löchern ermittelt werden kann, und die Auswertung der Maser-Emissionen von galaktischem Gas.³

4.4 – Aberrative Verifikation

Schwarze Löcher besitzen die Eigenschaft, dass sie die Richtung von Strahlen bündeln oder ablenken können (Lensing). Angenommen ein Schwarzes Loch schiebt sich zwischen Beobachter und einer hellen Strahlungsquelle, so werden die Strahlen um das Objekt stark gebeugt und sogenannte Vielfachbilder entstehen. Diese weisen ein bestimmtes Helligkeitsmuster auf, was als »Einstein Kreuz« oder »Einsteinring«

¹ Plasma-Magnetfeldbögen

² MÜLLER, ANDREAS: Schwarze Löcher – Das dunkelste Geheimnis der Gravitation. Aus: https://www.spektrum.de/astrowissen/astro_sl_obs.html#obs, Stand: 12.03.2021

³ Ebenda

bezeichnet wird. Solche Mehrfachbilder wurden schon bei aktiven Galaxienkernen entdeckt. Allerdings muss man erwähnen, dass diese Art der Nachweismethode schwierig ist, da es sich meist um Galaxienhaufen handelt und man für einen erfolgreichen Nachweis bestimmte Voraussetzungen der Hintergrundquelle benötigt.¹

4.5 – Obskurative Verifikation

An dem Ereignishorizont eines Schwarzen Lochs kann die Absorption der Strahlung mit Hilfe von Radiowellen detektiert werden. Um den Horizont nimmt der Rotverschiebungsfaktor so stark ab, dass jegliche Emission unterdrückt wird, folglich sieht man um dieses Gebiet eine Schwärzung. Durch diese Gravitationsrotverschiebung kann man Aufschluss über die direkte Position des Lochs erhalten.²

4.6 – Akkretive Verifikation

Schwarze Löcher nehmen Strahlung und Materie auf, die in Form einer Scheibe um das Loch rotiert. Die Materie im Akkretionsfluss erhitzt sich durch Reibung der Plasmateilchen und magnetischen Turbulenzen und gibt Strahlung ab. Außerdem wird das Schwarze Loch immer mehr mit Masse angereichert und vergrößert sich, wobei das Gas in allen Spektralbereichen leuchtet. Nach dem AGN-Paradigma ist dies auch der Grund für die enorme Leuchtkraft aktiver Kerne von Galaxien. Indirekt kann durch diese Aktivität auch die Existenz Supermassereicher Schwarzer Löcher in Galaxienzentren nachgewiesen werden.³

5. – Das erste Foto eines Schwarzen Lochs

5.1 – Beobachtungsziel: Messier 87

Als Beobachtungsziel diente nicht das Schwarze Loch »Sagittarius A*« in der Mitte unserer Milchstraße, sondern das zentrale Schwarze Loch in der

¹ MÜLLER, ANDREAS: Schwarze Löcher – Das dunkelste Geheimnis der Gravitation. Aus: https://www.spektrum.de/astrowissen/astro_sl_obs.html#obs, Stand: 12.03.2021

² Ebenda

³ Ebenda

fernen Galaxie »Messier 87«. Die Galaxie befindet sich mit fast 55 Millionen Lichtjahren Entfernung im Sternbild Jungfrau. Sie wurde nach dem Entdecker Charles Messier benannt und 1781 entdeckt, allerdings erst im 20. Jahrhundert als Galaxie identifiziert. Schon 1918 wurde ein Jet aus dem Zentrum der Galaxie beobachtet, der auf die Existenz eines Schwarzen Lochs schließen ließ.¹ Jets bestehen aus Materie, die nicht in das Loch hineingefallen ist, sondern senkrecht zur Akkretionsscheibe ausgestoßen wird.²

Man entschied sich für »Messier 87«, da der Blick auf das Zentrum dieser Galaxie relativ frei ist. Mithilfe eines besonderen Verfahrens gelang den Forschern eine erstmalige Aufnahme und somit gilt das supermassereiche Schwarze Loch als das erste, dessen Schatten jemals beobachtet wurde. Dessen Masse wird auf 6,5 Milliarden Sonnenmassen geschätzt und ist somit eines der massereichsten bekannten Schwarzen Löcher überhaupt.

5.2 – Verfahren

Für die Erstellung der Aufnahmen des Schwarzen Lochs kam ein besonderes Verfahren zum Einsatz, die »Langbasisinterferometrie« (Very Long Baseline Interferometry, kurz: VLBI). Im Jahr 1931 stellte der Physiker Jansky fest, dass Himmelskörper nicht nur sichtbares Licht, sondern auch Radiowellen aussenden.³ Die VLBI-Methode macht sich eben diese zu Nutze. Nötig sind dazu mindestens zwei Radioteleskope (in diesem Fall acht) an verschiedenen geografischen Standorten, die alle zusammengeschaltet sind.

Für die Beobachtungen eines Schwarzen Lochs ist eine extrem hohe Auflösung nötig, die bisher kein Teleskop erreichen konnte. Es heißt, je größer die Öffnung eines Teleskops, desto mehr Licht sammelt es und umso höher die Auflösung. Da es allerdings unmöglich ist, ein Teleskop von der Größe der Erdhalbkugel zu bauen, schaltet man mehrere Teleskope

¹ Eine Aufnahme von Messier 87 mit dem Very Large Telescope. Aus: <https://www.eso.org/public/germany/images/eso1907b/>, Stand: 12.03.2021

² Forscher fotografieren erstmals Jet eines Schwarzen Lochs. Aus: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/schwarzes-loch-jet-1.4870864>, Stand: 12.03.2021

³ Radiointerferometrie (VLBI). Aus: https://www.bkg.bund.de/DE/Observatorium-Wetzell/Messverfahren/Radiointerferometrie/radiointerferometrie_cont.html, Stand 12.03.2021

aneinander. Diese bilden somit ein Netzwerk über den gesamten Globus und ermöglichen die höchste räumliche Auflösung der Radioastronomie, ebenso wie Positionsgenauigkeit.¹

Für die Aufzeichnung müssen alle Teleskope synchron und zur gleichen Zeit auf die Radioquelle gerichtet sein. Die Strahlung der Umgebung der Quelle wird mittels der Radioantennen getrennt aufgezeichnet und auf speziellen Festplatten gespeichert. Hinterher werden die Messdaten per Computer zusammengeführt und korreliert, also abgeglichen. So gesehen ist das Foto des Schwarzen Lochs also kein Foto, sondern eine Konstruktion aus Daten.²

Der Nachteil des VLBI-Verfahrens ist, dass es während der Aufnahme keine Bilder in Echtzeit gibt. Erst wenn alle Daten ausgewertet worden sind stellt sich heraus, ob das Unternehmen erfolgreich war oder nicht. Aufgrund dessen hat man Probedurchläufe durchgeführt, um sicherzustellen, dass im Aufnahmezeitraum alles abläuft wie geplant.

5.3 – Teleskope/Ausrüstung

Insgesamt waren acht Radioobservationen an sechs geografischen Standorten quer über den Globus an dem Einsatz beteiligt. Die zwei »Telescope Atacama Large Millimeter/submillimeter Array« (ALMA) und das »Atacama Pathfinder Experiment Teleskop« (APEX) hatten ihren Standort in der Wüste Chiles. Auf Hawaii standen das »James Clerk Maxwell Teleskop« (JCMT) und das »Submillimeter Array« (SMA) zur Verfügung. Auch auf dem Mount Graham in Arizona kam das »Arizona Radio Observatory Sub-Millimeter Teleskop« (SMT) zum Einsatz, sowie das »IRAM 30-Meter« (PV) Teleskop auf dem Pico Veleta in Spanien und das »Large Millimeter Teleskop Alfonso Serrano« (LMT) auf dem Sierra Negra in Mexiko.

Neben dem eigentlichen Beobachtungsobjekt M87 wurde unter anderem der Quasar 3C279 als Kalibrierungsquelle genutzt und beobachtet. Einige von

¹ Interferometrie mit sehr langer Grundlinie - Very-long-baseline interferometry. Aus: https://de.qaz.wiki/wiki/Very-long-baseline_interferometry, Stand: 12.03.2021

² BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S. 32

den Quellen waren sogar für das Südpool-Teleskop (SPT) in der Antarktis sichtbar, das die achte teilnehmende Station bildete.¹

Da diese acht Teleskope zu einem virtuellen Teleskop zusammengeschlossen wurden, nannte man dieses Projekt »Event Horizon Telescope« (EHT).

5.4 – Vorbereitungen und Testverlauf

Mehrere Jahrzehnte haben Wissenschaftler mit dem VLBI-Verfahren experimentiert und dementsprechend Erfahrung bei der Auswertung solcher Bilder gesammelt. Bisher war es den Forschern möglich gewesen, die Jets von extrem massereichen Schwarzen Löchern abzubilden, jedoch konnte keine der Untersuchungen die direkte Umgebung, geschweige denn den Schatten eines Lochs, zeigen.²

Um sich auf das Verfahren vorzubereiten, entwickelten Astrophysiker neue Software und simulierten zu erwartende Messdaten. Vor allem aber mussten Testläufe mit den Teleskopen durchgeführt werden, da keines vorher als Teil eines Netzwerkes konzipiert war. Jede Anlage musste deshalb mit speziellem Equipment nachgerüstet werden, um den Anforderungen zu entsprechen. Damit am Ende ein Bild entsteht, brauchte das Team perfekt funktionierende Technik bei allen Teleskopen rund um den Globus gleichzeitig. Wenn nur eine einzige Anlage ausfällt, bestünde die Gefahr, dass es kein Bild gibt.³

Für den Testlauf wurden erstmals vier Anlagen eingebunden. Das »APEX« und »ALMA« in Chile, das »PV- Teleskop« auf dem Pico Veleta in Spanien und das »SPT« am Südpol. Nachdem die Technik installiert war, startete der Testlauf. Bei dem Testlauf wurden die Radiowellen von sehr hellen Quellen, sogenannten Quasaren, aufgezeichnet. Hier stellten sich schon die ersten Fehler heraus. Geplant war, dass die gemessenen Daten zu einem Aufnahmesystem gesendet werden. Ein Fehler im Programm verhinderte

¹ Ebd., S. 31/32

² BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S. 32

³ Black Hole Hunters – Jäger des Schwarzen Lochs

dies jedoch, konnte allerdings glücklicherweise im letzten Moment behoben werden und die Quasar-Daten konnten aufgezeichnet werden. Da es bei dem VLBI-Verfahren keine Bilder in Echtzeit gibt, erfuhren die Forscher erst hinterher, ob die Probe ergebnisreich war und ob die Mission – ein Schwarzes Loch zu fotografieren – Aussicht auf Erfolg haben würde.

Innerhalb von drei Monaten wurden die Daten des Testlaufs ausgewertet und obwohl es bei dem Teleskop in Mexiko Probleme gab, bestätigten die Auswertungen, dass alle vier Teleskope erfolgreich zusammengeschaltet worden waren.¹

5.5 – Start und Verlauf

Im April 2017 war es dann soweit. Aus dem Quartier in Cambridge/Massachusetts steuerte und überwachte man die Zusammenschaltung der acht Radioteleskope. Dem Forscherteam standen die Teleskope zehn Tage lang zur Verfügung. Es musste genau kalkuliert werden, ob die Anlagen hochgefahren werden oder nicht, da schlechtes Wetter und Wasserdampf die Radiobeobachtungen stören können und Wolken die Signale verfälschen. Fünf Nächte wurden einkalkuliert, um ein brauchbares Bild zu erhalten. Nachdem zahlreiche Wetterberichte abgeglichen wurden, stand der Starttermin fest.²

Bei diesem Projekt spielte das Timing eine große Rolle. Da die Abstände der einzelnen Radioteleskope sehr groß sind, kommen die Radiowellen zu unterschiedlichen Zeiten an den Stationen an. Hinzu kommt auch noch die Erdrotation, denn da sich die Erde dreht, verändert sich die Position der Teleskope permanent. Wenn das »Event Horizon Telescope« die Signale nicht auf die millionstel Sekunde aufzeichnet, würden fehlerhafte oder falsche Daten entstehen.³ Damit die Teleskope alle synchron laufen, wurden sogenannte Wasserstoff-Maser-Uhren angeschafft. Dies sind hoch-genaue, aber auch empfindliche Atomuhren. Damit sie fehlerfrei funktionieren, muss sowohl die Umgebungs- als auch die eigene Temperatur konstant bleiben.⁴

¹ Black Hole Hunters – Jäger des Schwarzen Lochs

² Ebenda

³ Ebenda

⁴ Wasserstoff-Maser-Uhr. Aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Wasserstoff-Maser-Uhr>, Stand: 12.03.2021

Hier bahnte sich kurz vor dem Start das erste Problem an. Bei einem der Teleskope in der Wüste Chile fiel unerwartet die Kühlung aus, die Kammern der Atomuhr heizten sich auf und die Uhr drohte auszufallen. Da es in der Atacama-Wüste keine Ersatzteile für eine defekte Atomuhr dieser Art gibt, musste man das Problem aus eigener Hand lösen. Indem man die Türen der Kammern öffnete, konnte die warme Luft entweichen und dieses Problem war gelöst.¹

Nachdem die Technik der Teleskope überprüft und eingestellt wurde, stand dem Einschalten der Stationen nichts mehr im Wege. Die Antennen wurden auf das Beobachtungsziel »Messier 87« gerichtet und die Aufzeichnungen begannen bei allen acht Teleskopen. Zum ersten Mal seit Jahrzehnten wurden die Radiosignale aus der Umgebung eines Schwarzen Lochs eingefangen.

Die ersten zwei Tage der Beobachtung verliefen ohne Probleme. Am dritten Tag allerdings zogen Wolken und Nebel vor das »Large Millimeter Teleskop« auf dem Sierra Negra in Mexiko. So bestand das Risiko, dass die Wolken die Signale verfälschen. Fehlerhafte Daten hätten den Erfolg des Projekts gefährden können. Den Forschern blieb keine andere Möglichkeit, als abzuwarten. Letztendlich konnte dieses Teleskop aber doch noch für die dritte Nacht eingeschaltet werden.²

5.6 – Auswertung und Darstellung

Fünf Nächte arbeiteten die Forscherteams rund um die Uhr und überwachten die Aufzeichnungen. Nachdem die Aufzeichnungen getätigt waren, wurden die Datenträger in die USA nach Massachusetts und nach Deutschland geschickt, um dort die Daten in Bilder zu übersetzen. Zuständig dafür waren vier Imaging-Teams in Bildungsinstituten, die alle unabhängig voneinander arbeiteten.³

¹ Black Hole Hunters – Jäger des Schwarzen Lochs

² Ebenda

³ BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S. 32

Bevor jedoch mit den neu aufgezeichneten Messdaten des Schwarzen Lochs gearbeitet wurde, machte man mit Algorithmen, die eingesetzt werden sollten, auch hier einen Testlauf, allerdings bei helleren Quellen. Schnell wurde realisiert, dass die Algorithmen kein schlüssiges Bild produzieren konnten. Erst nach mehreren Anläufen und Programmierungen schien eine vertrauenswürdige Methode gefunden worden zu sein, die am Ende zu dem Foto des Schwarzen Lochs führen sollte.¹

Die vier Imaging-Teams erhielten die Datensätze von »Messier 87«, woraufhin die VLBI-Daten mit einem Clean-Algorithmus ausgewertet wurden. Dabei findet der Algorithmus die hellsten Bereiche und zieht diese ab, bis zu den schwächsten Strukturen. Durch diesen Vorgang tritt die Quelle immer mehr hervor und ergibt eine sichtbare Struktur – ein Bild. Und tatsächlich sah man nach einiger Zeit einen hellen Bereich, in dessen Mitte eine Schwärzung vorlag. Alle Imaging-Teams erhielten ähnliche Ergebnisse und verglichen diese in Workshops miteinander. Es wurden Tests und Überprüfungen durchgeführt, die bestätigten, dass es sich bei dem Resultat nicht um einen Fehler der Bildkonstruktion handelte, sondern der Schatten eines Schwarzen Lochs sein musste.²

Im April 2019 wurde das Ergebnis der Forscher-Teams veröffentlicht und die Menschheit konnte zum ersten Mal das Foto des Schwarzen Lochs in dem Zentrum der Galaxie »Messier 87« sehen.

5.7 – Erkenntnisse

Lange hat man von der Existenz Schwarzer Löcher vermutet und Illustrationen basierend auf Berechnungen und Simulationen erstellt, aber eine tatsächliche Darstellung gab es so bisher noch nie. Somit ist das Bild des Schwarzen Lochs in »M87« das Erste und dient als Beweis für die Existenz solcher Objekte im All.

Schon Albert Einstein hat die Existenz dieser Objekte vermutet. Laut ihm entsteht Schwerkraft durch eine Krümmung in der Raumzeit, die durch

¹ Black Hole Hunters – Jäger des Schwarzen Lochs

² BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S. 32

Masse hervorgerufen wird. Ist die Krümmung stark genug, kann nach seiner Theorie sogar Licht abgelenkt werden. Dies kann auf dem Bild mit der Akkretionsscheibe und dem Schatten des Lochs beobachtet werden. Demzufolge hat sich Einsteins Relativitätstheorie in der Hinsicht bestätigt.¹

6. – Ausblick und Fazit

Mit dem Foto eines Schwarzen Lochs als Beweis der Relativitätstheorie gelang den Wissenschaftlern ein bahnbrechendes Ereignis.

In Zukunft sollen weitere Teleskope in das Netzwerk mit eingebunden werden, um eine erhöhte Auflösung zu garantieren, mit dessen Hilfe man noch weiter entferntere Quellen beobachten kann. Ebenfalls wird angepeilt, irgendwann das »Event Horizon Telescope« in den Weltraum zu bringen und von dort aus mit Hilfe von drei Satelliten die Beobachtungen zu tätigen. Der Name dieses Projektes wird »Event Horizon Imager« (EHI) lauten.²

Bezüglich Schwarzer Löcher erhoffen sich die Forscher weitere Erkenntnisse auf deren Umgebung, ebenso wie den Ursprung der Jets. Auf dem erstellten Foto ist der Jet nicht zu sehen, neue Messungen sollen aber Aufschluss geben, wobei insbesondere der Fokus auf die Entstehung gelegt werden soll.

Insgesamt kann man sagen, dass die Beobachtung und Darstellung Schwarzer Löcher, ebenso wie das »Event Horizon Telescope«, in Zukunft noch eine wichtige Rolle bei der Suche nach neuen Erkenntnissen in der Weltraumforschung spielen werden.

¹ BANNER, TANJA: Forscher präsentieren das erste Bild von schwarzem Loch. Aus: <https://www.fr.de/wissen/event-horizon-telescope-foto-schwarzes-loch-12174070.html>, Stand: 12.03.2021

² BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019, S.39

7. – Versicherung der selbständigen Erarbeitung und Anfertigung der Facharbeit

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken (auch aus dem Internet) entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe. Verwendete Informationen aus dem Internet sind nach Absprache mit der Fachlehrerin bzw. dem Fachlehrer vollständig im Ausdruck zur Verfügung zu stellen.

Bramsche, den _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

8. – Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den _____

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

9. – Literaturverzeichnis

- BRITZEN, SIKLE/MÜLLER, ANDREAS: Direkter Blick ins Schwarze Loch. In: Sterne und Wissenschaft, 6/2019

10. – Quellenverzeichnis

- BANNER, TANJA: Forscher präsentieren das erste Bild von schwarzem Loch. Aus: <https://www.fr.de/wissen/event-horizon-telescope-foto-schwarzes-loch-12174070.html>, Stand: 12.03.2021
- Bild auf dem Deckblatt: https://cdn.prod.www.spiegel.de/images/2c72a953-0001-0004-0000-000001415495_w948_r1.77_fpx49.52_fpy48.99.jpg
- Doku: Black Hole Hunters – Jäger des Schwarzen Lochs
- Eine Aufnahme von Messier 87 mit dem Very Large Telescope. Aus: <https://www.eso.org/public/germany/images/eso1907b/>, Stand: 12.03.2021
- Forscher fotografieren erstmals Jet eines Schwarzen Lochs. Aus: <https://www.sueddeutsche.de/wissen/schwarzes-loch-jet-1.4870864>, Stand: 12.03.2021
- FREISTETTER, FLORIAN: Das erste Bild von einem schwarzen Loch. Aus: <https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2019/04/10/das-erste-bild-von-einem-schwarzen-loch/>, Stand: 12.03.2021
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonneneruption>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Raumzeit#:~:text=Raumzeit%20oder%20Raum%2DZeit%2DKontinuum,wird%20in%20der%20Relativit%C3%A4tstheorie%20benutzt>
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Ereignishorizont#:~:text=Ein%20Ereignishorizont%20ist%20in%20der,sich%20diesseits%20der%20Grenzfl%C3%A4che%20befinden>
- Interferometrie mit sehr langer Grundlinie - Very-long-baseline interferometry. Aus: https://de.qaz.wiki/wiki/Very-long-baseline_interferometry, Stand: 12.03.2021
- MÜLLER, ANDREAS: Schwarze Löcher – Das dunkelste Geheimnis der Gravitation. Aus: https://www.spektrum.de/astrowissen/astro_sl_obs.html#obs, Stand: 12.03.2021
- Radiointerferometrie (VLBI). Aus: https://www.bkg.bund.de/DE/Observatorium-Wetzell/Messverfahren/Radiointerferometrie/radiointerferometrie_cont.html, Stand 12.03.2021
- Schwarzes Loch. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch, Stand: 12.03.2021
- Schwarzes Loch. Aus: https://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch, Stand: 12.03.2021
- Schwarze Löcher. Wie aus viel Masse ein Loch wird. Aus: <https://abenteuer-universum.de/stersterne/bl2.html>, Stand: 12.03.2021
- [www.spektrum.de/lexikon/astronomie/gezeitenkraefte/144#:~:text=In%20der%20Theorie%20I%C3%A4sst%20sich,tidal%20disruption\).&text=stellar%20tidal%20disruption](https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/gezeitenkraefte/144#:~:text=In%20der%20Theorie%20I%C3%A4sst%20sich,tidal%20disruption).&text=stellar%20tidal%20disruption)