

A central black hole with a dark, circular event horizon. Surrounding it is a glowing accretion disk with swirling patterns of purple, blue, and yellow. The background is a deep space scene filled with numerous stars of varying brightness and colors, including yellow, orange, and white, set against a dark purple and blue cosmic backdrop.

SCHWARZE LÖCHER

LARS WEIRIG
7C6

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung / Vorwort	5
2. Definition - was ist ein Schwarzes Loch?	7
3. Arten von Schwarzen Löchern	9
4. Wie entsteht ein Schwarzes Loch?	13
5. Wer hat die Schwarzen Löcher entdeckt? Geschichte und Meilensteine	15
6. Nachweis von Schwarzen Löchern	19
7. Wie sieht es in einem Schwarzen Loch aus - Aufbau?	23
8. Was passiert, wenn man in ein Schwarzes Loch fallen würde?	27
9. Schwarze und Weiße Löcher	29
10. Schwarze Löcher - jüngste Entdeckungen	31
11. Schlussfolgerung, Ausblick und persönliche Erkenntnisse	35
12. Literatur und Bibliographie	37

1. Einleitung / Vorwort

In meinem ersten „Travail personnel“ geht es um das kosmische Phänomen „Schwarze Löcher“. Ich werde Themen wie die Entstehung oder den Aufbau der Schwarzen Löcher behandeln, aber auch versuchen, nähere Informationen zu den neuesten Erkenntnissen und jüngsten Entdeckungen auf diesem Gebiet zu liefern. Des Weiteren werde ich auch die Geschichte der Schwarzen Löcher behandeln sowie auf etwas gewagtere Theorien wie z.B. die Spaghettifizierung oder Weiße Löcher eingehen. Vieles in diesem Bereich ist nämlich derzeit noch Spekulation und muss erst abschließend bewiesen werden.

Ich habe dieses interessante Thema gewählt, weil ich mich sehr für Astronomie interessiere. Ich habe mir schon zahlreiche Dokumentarfilme über den Kosmos angesehen, mehrere Bücher dazu gelesen und war schon immer von Schwarzen Löchern fasziniert. Da dies ein sehr aktuelles Forschungsgebiet ist, war ich mir darüber hinaus ziemlich sicher, dass ich unzählige nützliche Informationen dazu finden könnte.

Auch war ich vor einigen Jahren mit meiner Familie im „NASA Space Center“ in Houston in den USA. Dort dreht sich alles um das Weltall und die Raumfahrt und ein Teil der Ausstellung war den Schwarzen Löchern gewidmet. Damals konnte ich noch nicht soviel mit dem Begriff anfangen und trotzdem hat er mich neugierig gemacht, sodass ich in den folgenden Jahren immer wieder Artikel dazu gelesen oder Sendungen angesehen habe.

Allerdings ist es nicht nur ein spannendes, sondern auch ein äußerst komplexes Thema, da fast alles auf höherer Mathematik und Physik basiert. Diese fortgeschrittenen Kenntnisse besitze ich noch nicht. Deshalb werde ich versuchen, meine schriftlichen Ausführungen so simple wie möglich zu halten, um sie am Ende des Schuljahres vorstellen zu können und eventuelle Fragen so gut wie möglich, nach meinem derzeitigen Wissenstand, beantworten zu können.

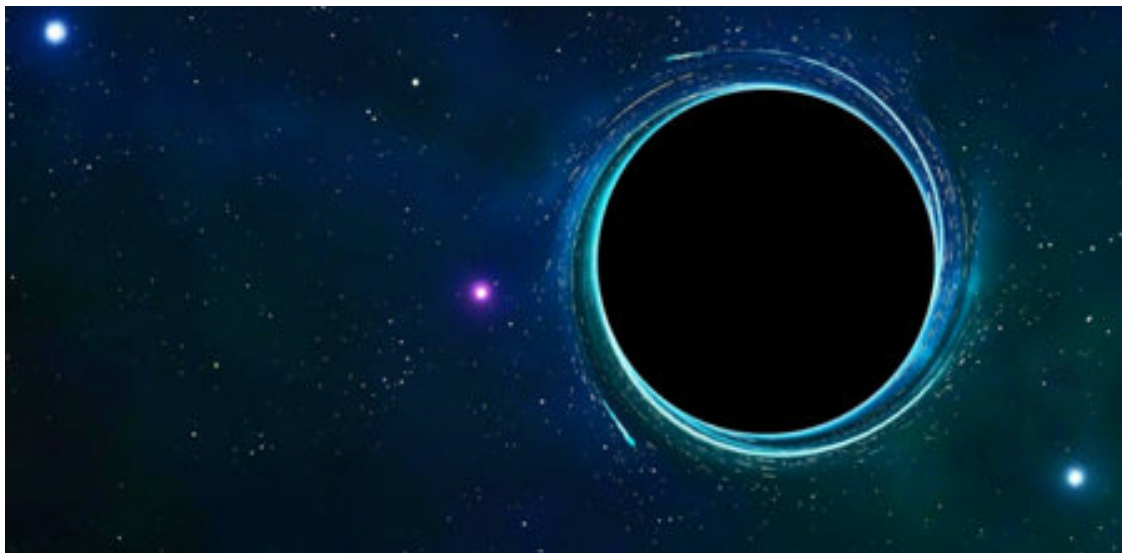
Was die Dokumentation für meine Arbeit betrifft, so möchte ich sowohl auf Bücher wie auch auf Internetseiten zurückgreifen. Im Internet sind auch zahlreiche kleine Videos zu diesem Thema vorhanden. Ich habe mir deshalb überlegt, ob es nicht sinnvoll wäre, in meine Arbeit beziehungsweise in meine Powerpoint-Präsentation Verweise auf derartige Erklärungsvideos einzubauen, wodurch das Thema noch interessanter und auf anschauliche Weise illustriert werden kann.

2. Definition - was ist ein Schwarzes Loch?

Schwarze Löcher kann man nicht sehen und sie konnten bis vor Kurzem nur indirekt nachgewiesen werden. Ein Schwarzes Loch hat keine Oberfläche wie zum Beispiel ein Planet oder ein Stern. Es ist ein Bereich im Weltraum, wo die Materie in sich zusammengefallen ist. Dadurch wird eine riesige Masse auf einem sehr kleinen Raum konzentriert. Dort ist die Anziehungskraft so stark, dass überhaupt nichts entkommen kann – noch nicht einmal das Licht. Dies ist eine **allgemeine, auch für Laien verständliche Definition**.

Man kann diese Löcher nur finden, wenn etwas Sichtbares in ihren Anziehungsbereich gelangt oder wenn beim Verschmelzen Gravitationswellen ausgesendet werden. Nirgendwo sonst ist so viel Energie auf engstem Raum konzentriert.

Die **mathematische Definition** des „Schwarzen Loches“ beruht auf der Allgemeinen Relativitätstheorie (ART) von Albert Einstein. Laut dieser Theorie ist die Gravitation eine geometrische Eigenschaft des Raumes und der Zeit. So wurde der Begriff der Raumzeit geboren. Diese Raumzeit ist ähnlich „wie ein Gebirge mit Bergen und Tälern, Höhen und Tiefen“, d. h. mit Krümmungen. Ein Schwarzes Loch ist eine spezielle Raumzeit, wobei die Krümmung von außen nach innen immer mehr zunimmt und im Zentrum des Loches unendlich wird. Dieser Ort heißt in der Relativitätstheorie Singularität. Da sich das Licht in einer gekrümmten Raumzeit in Richtung der unendlichen Krümmung bewegt, kommt es dort nicht mehr heraus. Aufgrund dieser Tatsache sind Schwarze Löcher schwarz.



Getty Images/Brand X

Eine weitere Möglichkeit der Definition ist „**Schwarze**“ und „**Weiß**e“ Löcher zu **vergleichen**:

Weiß e Löcher sind salopp gesagt das Gegenteil von Schwarzen Löchern: eine sichtbare Singularität! Die Einsteinschen Feldgleichungen sind symmetrisch in der Zeit (zeitumkehr-invariant), d. h. eine Zeitumkehrtransformation einer Lösung der Feldgleichungen ist wieder eine Lösung!

Wie kann man sich das vorstellen?

Eine zeitliche Umkehrung eines Schwarzen Loches sähe so aus, dass aus dieser Raumzeitregion ständig Materie und Strahlung herausfließen würde! Dieses Phänomen wurde allerdings noch nie von Astronomen beobachtet, aber eine interessante Frage ist es doch, und deutlich mehr ist als eine reine „mathematische Spielerei“.

3. Arten von Schwarzen Löchern

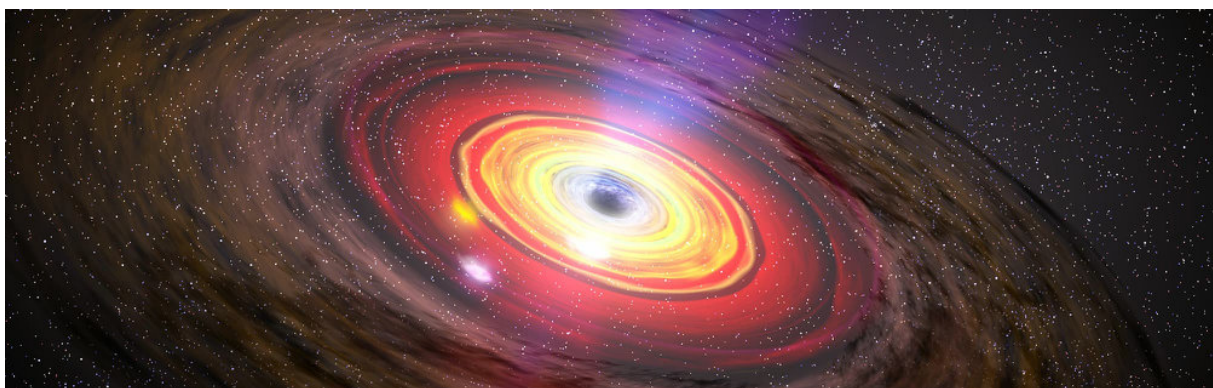
Schwarze Löcher gibt es in vielen verschiedenen Größen. Viele sind nur wenige Male größer als die Sonne.

Sie lassen sich in mehrere Kategorien einteilen:

Supermassereiche Schwarze Löcher

Supermassereiche Schwarze Löcher können die **millionen- oder milliardenfache Masse der Sonne** aufweisen. Im Zentrum der meisten Galaxien, wie auch in dem der Milchstraße, befinden sich diese supermassereichen Schwarzen Löcher. Supermassereiche (auch supermassiv genannt) Schwarze Löcher treiben außerdem aktive Galaxien und alte Galaxien, die sogenannten Quasare an. Quasare können hunderte Male heller sein als selbst die größte normale Galaxie. Sie befinden sich in der Mitte der meisten Galaxien. Das Schwarze Loch in der **Mitte** unserer Milchstraße besitzt 3,6 Millionen Sonnenmassen.

Wie diese supermassereichen Löcher entstanden sind, ist heute noch unklar und wird erforscht. Möglicherweise vereinigten sich einmal mehrere Schwarze Löcher miteinander. Oder sie schluckten im Laufe ihres Daseins so viel Materie aus ihrer Umgebung, dass sie so schwer werden konnten. Es wird vermutet, dass es erst durch das Vorhandensein eines Schwarzen Loches zur Bildung einer großen Galaxie kommen kann.



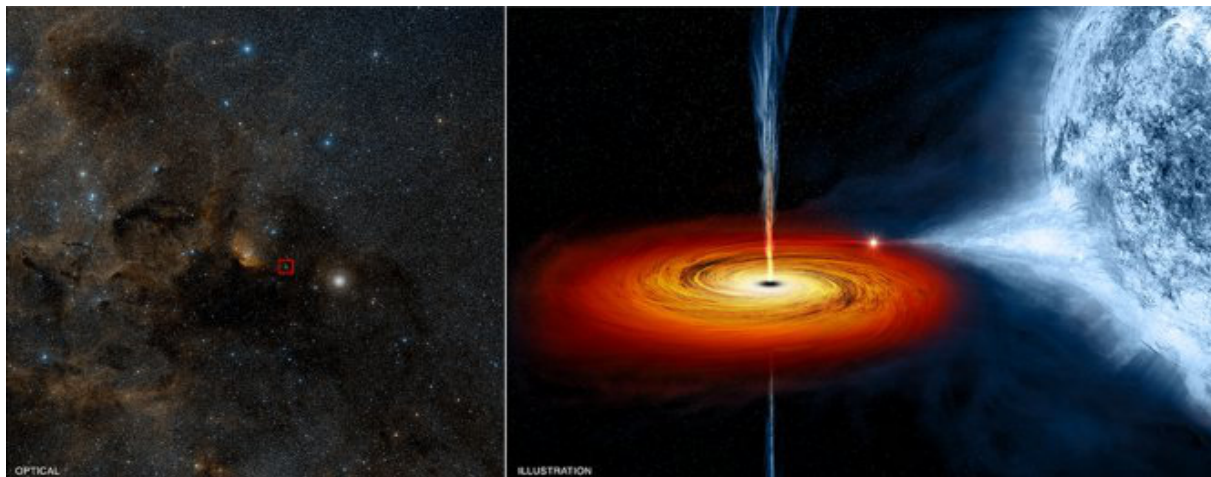
© NASA/Dana Berry, SkyWorks Digital (Ausschnitt) - Supermassereiches Loch im Zentrum der neun Milliarden Jahre alten Galaxie SAGE0536AGN. Die Masse entspricht ungefähr 350 Millionen Mal derjenigen unserer Sonne.

Mittelschwere Schwarze Löcher

Diese Himmelskörper wurden noch nicht eindeutig nachgewiesen, vielen Forscher zufolge besitzen diese Schwarzen Löcher **mehrere hundert bis einige tausend Sonnenmassen** und könnten durch Kollisionen mehrerer Sterne entstehen. Erste Hinweise fanden Forscher in Sternhaufen, Kugelsternhaufen und Zwerggalaxien.

Stellare Schwarze Löcher

Sie haben eine Masse von **wenigen bis einigen zehn Sonnenmassen**. Stellare Schwarze Löcher sind das Produkt einer **Supernova**. Sie entstehen, wenn Sterne mit mehr als zehn Sonnenmassen ihren Brennstoff endgültig verbraucht haben. Sie enden als auskühlender Sternenrest. Ein Beispiel eines stellaren Schwarzen Loches ist Cygnus X1, ein Objekt (etwa so groß wie ein großer Asteroid), das über 6000 Lichtjahre weit entfernt ist. Cygnus X1 ist 14,8 Mal schwerer als die Sonne und dreht sich 800 Mal pro Sekunde um seine Achse.



https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/multimedia/cygnusx1.html

Primordiale Schwarze Löcher

Primordiale Schwarze Löcher sind momentan noch **reine Theorie**. Im Gegensatz zu gewöhnlichen Schwarzen Löchern sollen diese hypothetischen Objekte bereits unmittelbar **nach dem Urknall** entstanden sein und nicht erst später beim Kollaps von ausgebrannten Sternen. Einigen Wissenschaftlern wie dem Nasa-Wissenschaftler Alexander Kashlinsky zufolge waren es möglicherweise primordiale Schwarze Löcher, die in dieser ersten Lebensphase des Universums für die Entstehung von Sternen gesorgt haben. Der berühmte britische Physiker Stephen Hawking hat die Theorie der primordialen Schwarzen Löcher übrigens schon 1971 formuliert.

Mini-Schwarze-Löcher

Diese Mini-Löcher könnten vielleicht bald **im Labor** erzeugt werden. Sie wiegen soviel wie Elementarteilchen. Die Mini-Löcher sind derzeit noch reine Spekulation, werden allerdings in Teilchenbeschleunigern gesucht. Solche Forschungsarbeiten finden im „**Large Hadron Collider**“, einer Maschine, um Kernteilchen zusammenstoßen zu lassen, am Europäischen Zentrum für Teilchenphysik CERN in Genf statt. Eines der Probleme ist unter anderem, dass Schwarze Mini-Löcher, wie sie in Teilchenbeschleunigern erzeugt werden könnten, fast im gleichen Moment, in dem sie entstehen, wieder verdampfen.



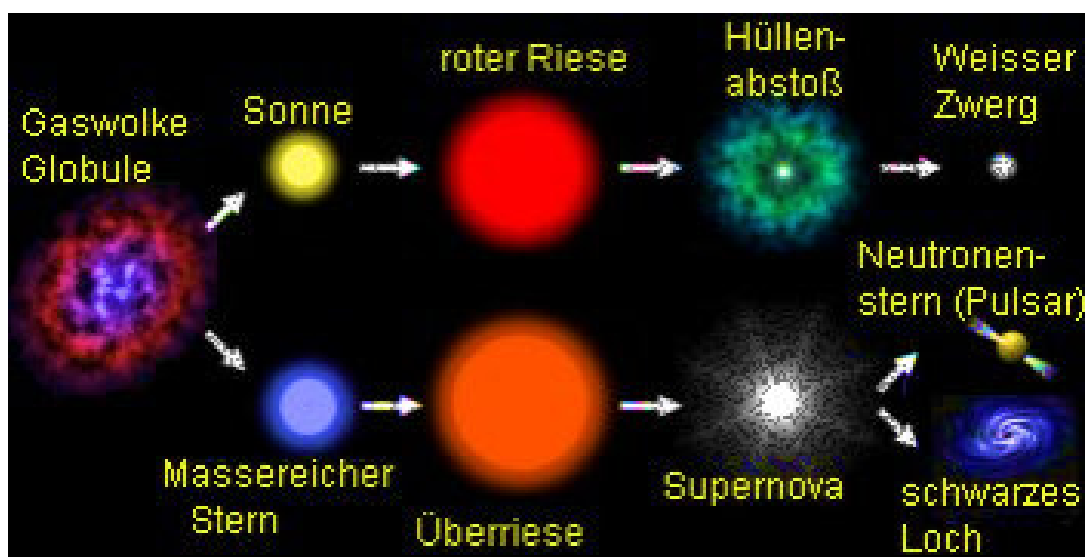
CERN: Tunnel mit dem Large Hadron Collider

Ob es winzige Schwarze Löcher im Universum gibt, ist schwer zu beantworten, weil sie nicht aufzuspüren sind.

4. Wie entsteht ein Schwarzes Loch?

Schwarze Löcher können wie folgt entstehen:

- wenn zwei Sterne miteinander **kollidieren** und ihre Massen sich vereinigen. Überschreitet diese Masse dann einen bestimmten Wert, kollabiert dieser neue Stern zu einem Schwarzen Loch;
- wenn sich massereiche blaue Sterne, die sich an **ihrem Lebensende** befinden, aufblasen und zu so genannten **Roten Riesen** oder Überriesen werden; sie enden dann als Neutronensterne, Weiße Zwerge oder eben Schwarze Löcher. Bei diesen Löchern handelt es sich um **stellare Schwarze Löcher**. Dieser Prozess wird auch auf dem nachfolgenden Bild erklärt:



<https://www.leifiphysik.de/astronomie/fixsterne>

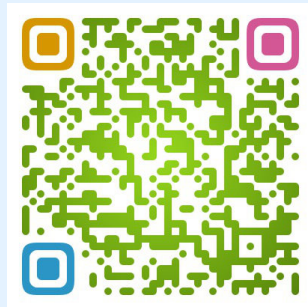
- im **frühen Universum**, direkt im Prozess des Urknalls und der unmittelbar danach erfolgenden Abkühlung als die Gebiete im heißen, dichten „Urbrei“ des frühen Universums in sich zusammenfielen. Dabei handelt es sich um die sogenannten **primordialen Schwarzen Löcher**.

4. Wie entsteht ein Schwarzes Loch?

Was die Entstehung von **supermassereichen Schwarzen Löchern** betrifft, so ist dies noch nicht vollkommen geklärt. In der Tat rätseln die Forscher wie es möglich sei, dass nach 1 Milliarde Jahren schon Schwarze Löcher mit der milliardenfache Sonnenmasse entstehen konnten. Eine Theorie besagt, dass Protogalaxien (frühe, primitive Galaxien) zusammengestoßen sind, so dass sich schnell Riesensterne gebildet haben, die wiederum kollabierten und so supermassereiche Schwarze Löcher entstanden sind.

Sehenswert ...

Scanne den nachfolgenden QRCode und beobachte was passieren würde, wenn ein winziges Schwarzes Loch neben Dir auftauchen würde.



5. Wer hat die Schwarzen Löcher entdeckt?

Geschichte und Meilensteine

Die ersten Mutmaßungen über Schwarze Löcher können auf den Pfarrer, Geologen und **Astronom John Michell** (1724 - 1793) zurückgeführt werden. Damals wurde aber der Begriff „Schwarze Löcher“ noch nicht benutzt. Er glaubte, dass es besonders dichte Körper im Kosmos geben könnte, die die gleiche Fluchtgeschwindigkeit wie das Licht haben. So könnte Licht von diesen Körpern nicht entkommen und sie müssten demnach schwarz sein.

Im gleichen Jahrhundert gab es einen weiteren Forscher, der sich für das gleiche Thema interessierte. Sein Name war **Pierre Simon de Laplace** (1749 - 1827). In seiner Veröffentlichung „Exposition du Système du Monde“ erzählt er von schweren Sternen, aus denen kein Licht entweichen kann.

Ein weiterer, sehr bekannter Forscher, der sich mit den Schwarzen Löchern befasste, war **Albert Einstein** (1879 bis 1955, Nobelpreis 1921). Er veröffentlichte 1939 in den „Annals of Mathematics“ einen Artikel, in dem er beweisen wollte, dass Schwarze Löcher nicht möglich sind, und tat dies auf der Grundlage seiner eigenen Allgemeinen Relativitätstheorie, die 1916 in den „Annalen der Physik“ erschienen war. Aber genau diese wird heute benutzt, um die Existenz von Schwarzen Löchern zu beweisen!



<https://www.tag24.de/nachrichten/garching-einstein-relativitaetstheorie-milchstrasse-schwarzes-loch-wissenschaft-705758>

Karl Schwarzschild (1873 - 1916) hat Geschichte geschrieben, indem er grundlegende Arbeiten zu dem später als „Schwarze Löcher“ bekannten Phänomen leistete. Der Astronom und Physiker hatte sich schon im Jahr 1900 gefragt, ob man das Universum auch mit einer anderen Geometrie beschreiben kann und **ob der Raum nicht gekrümmt sein könnte**. Er stützte sich bei seinen Forschungen auf die spezielle Relativitätstheorie (1905) von Einstein und bemerkte, dass die Anziehungskraft so stark werden kann, dass nicht einmal Licht entkommen kann.

Im Februar 1916 hatte Karl Schwarzschild das Problem für reale Körper durchgerechnet: in einem seiner Artikel leitete er ab, bis auf welche Größe ein Objekt zusammengepresst werden muss, um daraus ein Schwarzes Loch zu machen.

Heutzutage heißt diese Größe **Schwarzschild-Radius**. Bei unserer Sonne liegt er bei drei Kilometer. Unsere Erde muss erst auf einen Radius von neun Millimeter zusammengepresst werden, um daraus ein Schwarzes Loch entstehen zu lassen. Schwarzschild starb leider schon im gleichen Jahr 1916 an den Folgen einer Krankheit, die er sich im ersten Weltkrieg zugezogen hatte.



Karl Schwarzschild – AIP

Mit den Satelliten VELA 4A und B entdeckten Forscher 1967 kurze Strahlungsausbrüche am Himmel: Diese **Gammastrahlungsausbrüche** werden Gamma Ray Bursts (GRBs) genannt. Sie sind das hellste, was es im Kosmos gibt! Was sie mit Schwarzen Löchern zu tun haben, wird erst dreißig Jahre später klar. Mit solchen Gammablitzes werden nämlich Supernovas oder Hypernovas in Verbindung gebracht, jeweils im Zusammenhang mit der Entstehung Schwarzer Löcher.

Der Relativist und Astronom **John Archibald Wheeler** (1911-2008) **erfindet 1967 den Begriff Schwarzes Loch** (engl. black hole). Dieser neue Begriff ersetzt die bis dahin gebräuchlichen Namen gefrorener Stern der östlichen Hemisphäre und kollabierter Stern der westlichen Hemisphäre. Ein halbes Jahrhundert nach ihrer Entdeckung erhalten Schwarze Löcher ihren heutigen Namen.

Auf Wheeler geht auch die Theorie zurück, dass Schwarze Löcher nur maximal drei Eigenschaften haben: Masse, Drehimpuls und Ladung.

Der bekannte Kosmologe **Stephen W. Hawking** (1942-2018) entdeckt 1970, dass die „Oberfläche“ eines Schwarzen Loches, der Horizont, immer weiter wächst.

G. Chapline, E. Hohlfeld, R.B. Laughlin und D.I. Santiago verbinden **Ende 2000** Konzepte der Quantentheorie mit der Theorie Schwarzer Löcher. Sie verwenden dazu ähnliche Formeln, wie in der Beschreibung von Bose-Einstein-Kondensaten und erwarten einen Quantenphasenübergang am Horizont Schwarzer Löcher. Wesentliche Folgen dieses Konzepts sind eine neue Beschreibung des Inneren Schwarzer Löcher.

Anfang der 2000er gelingt Gravitationsforschern am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik (Albert-Einstein-Institut, AEI) in Golm erstmals die **Simulation einer Kollision** zweier Schwarzer Löcher. Die aufwendige Simulation zeigt, dass das kollabierende Binärsystem Gravitationswellen emittiert. Die Schwarzen Löcher umkreisen sich auf immer enger werdenden Bahnen und verschmelzen schließlich in einer finalen Kollision zu einem einzigen Loch. Mit dieser Simulation weisen die Theoretiker der Gravitationswellenastronomie den Weg, denn noch sind diese „Erschütterungen der Raumzeit“ nie direkt beobachtet worden.

Es gibt **2002 eine schwache Evidenz für massereiche Schwarze Löcher** in den Zentren von Kugelsternhaufen. Sie sollen gerade Massen zwischen stellaren und supermassereichen Schwarzen Löchern aufweisen und damit die bisher beobachtete „große Massenlücke“ füllen.

Ende 2002 entdecken Röntgenastronomen des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (MPE) in Garching in der Galaxie NGC 6240 (32 Millionen Lichtjahre von der Milchstraße entfernt) zum ersten Mal ein **doppeltes supermassereiches Schwarzes Loch**.

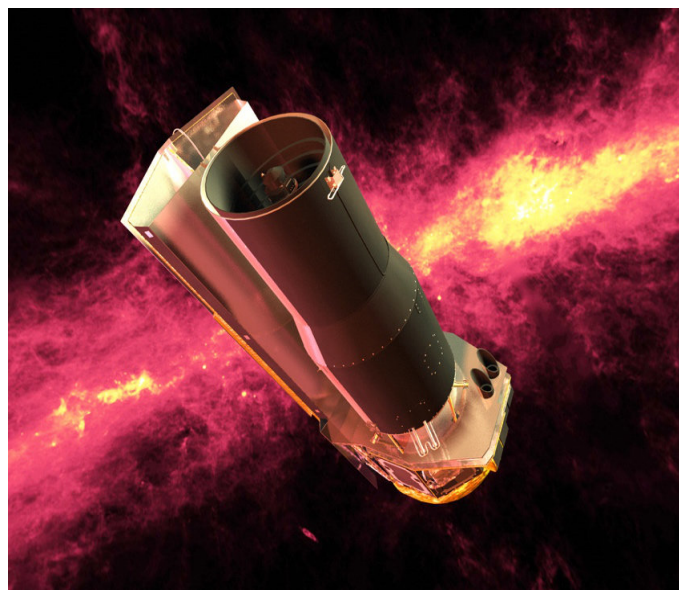
Die Infrarotastronomen des MPE Garching beobachten in den Folgejahren weiterhin das Zentrum der Milchstraße mit dem leistungsfähigen **Very Large Telescope** (VLT). Dabei deuten die Sternbewegungen auf ein schwereres Schwarzes Loch von etwa 3 Mio. Sonnenmassen hin. Blitze im Nahinfrarotbereich legen sogar den Verdacht nahe, dass das superschwere Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße rotiert. Diese Beobachtung ist die **bis dahin beste gefundene Evidenz** für die **Rotation** eines Schwarzen Loches!



Max-Planck-Institut in Garching

Die Existenz von mittelschweren Schwarzen Löchern mit Massen zwischen 100 und einer Million Sonnenmassen ist auch im Sommer 2005 in der Fachwelt noch umstritten.

Astronomen entdecken immer mehr ULX-Kandidaten (ULX - ultraluminous X-ray source: bezeichnet eine ultraleuchtkräftige Röntgenquelle). Doch es bleibt unklar, ob ULXs stellare oder mittelschwere Schwarze Löcher oder beides sind. 2007 macht das Infrarot-Weltraumteleskop Spitzer bei einer Tiefenfeldbeobachtung ein Foto der ersten Quellen - entweder die ersten, supermassereichen Sterne oder die ersten Schwarzen Löcher oder beides. Die Entfernung dieser Objekte betrug etwa 13 Milliarden Lichtjahre.



Spitzer-Weltraumteleskop NASA/JPL-Caltech -
<http://www.spitzer.caltech.edu/images/3072-SIRTf-Spitzer-Rendered-against-an-Infrared-100-Micron-Sky>

6. Nachweis von Schwarzen Löchern

Bis 2019 war der Nachweis von Schwarzen Löchern nicht einfach und nur indirekt möglich. Die Forscher benutzten zum Nachweis entweder die **enorme Schwerkraft**, die von Schwarzen Löchern auf sie umgebende Sterne und Gaswolken ausgeübt wird, oder auch **energiereiche Strahlung**, die abgegeben wird, wenn Objekte in ein Schwarzes Loch gesogen werden.

Schwarze Löcher kann man wie folgt indirekt nachweisen, indem man Folgendes beobachtet:

1. schnell fluktuierende Röntgenstrahlung;
2. sehr energiereiche Strahlung;
3. Gravitationswellen.

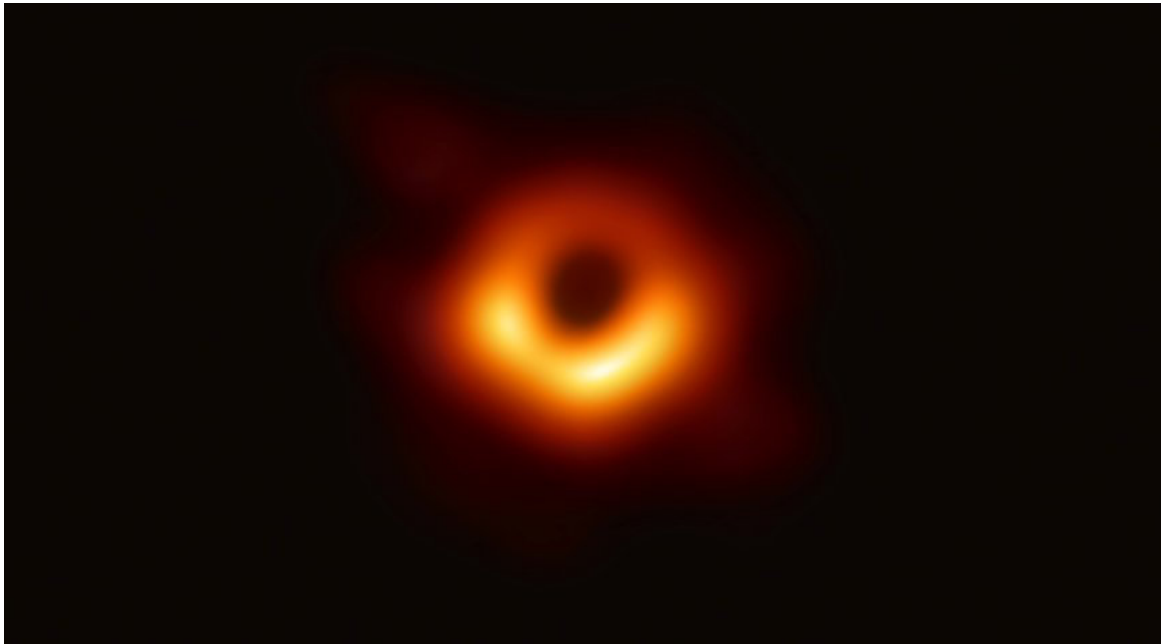
Astronomen wie Loeb und seine Kollegen zum Beispiel haben Bewegungen von Pulsaren untersucht, um so die mittelschweren Schwarzen Löcher nachzuweisen. Dabei entdeckten sie 2017, dass sich im Zentrum des Kugelsternhaufens „47 Tucanae“ ein Schwarzes Loch mit der 2200-fachen Masse unserer Sonne befindet.

Bis 2019 war es aber nie gelungen, ein Foto eines Schwarzen Loches zu machen.

Am 10. April 2019 ist schließlich der Durchbruch erfolgt und Astronomen konnten erstmals der Öffentlichkeit ein Bild und somit einen direkten Nachweis präsentieren: **ein Netzwerk von Radioteleskopen hat den Schatten eines schwarzen Lochs „fotografiert“.**

Zu diesem Zweck war eine jahrelange Vorarbeit nötig, um ein virtuelles Teleskop (Event Horizon Telescope - EHT), das aus einem Verbund von acht Teleskopen besteht und wie ein einziges Beobachtungsinstrument funktioniert, auf die Beine zu stellen.

Die revolutionäre Aufnahme stammt aus dem Inneren der Galaxie Messier 87, kurz M87, die 55 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt ist.



Schwarzes Loch in der Galaxie Messier 87

Das Foto ist eine echte Sensation. Folgendes ist auf dem Bild vom Schwarzen Loch genau zu sehen:

- ein heller Ring, der eine elliptische schwarze Fläche umgibt. Der Ring besteht aus interstellaren Gas- und Staubbmassen, die von der Gravitation des Schwarzen Lochs angezogen werden. Bevor die Materie darin verschwindet, heizt sich das Material durch Reibung auf sehr hohe Temperaturen auf und sendet in allen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums Strahlung aus;
- die dunkle Scheibe darin ist der Schatten des Schwarzen Lochs, jener Bereich, aus dem kein Licht mehr entkommen kann und der deshalb schwarz erscheint. Mit ungefähr 40 Milliarden Kilometer Durchmesser ist er $\pm 2,5$ mal kleiner als der Ereignishorizont, der das zentrale Objekt umgibt. Dieser „Schatten“ wurde bereits in Albert Einsteins Relativitätstheorie vorhergesagt.

Anton Zensus, Direktor am Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR), hat zu diesem Foto Folgendes gesagt: „Wir waren ehrlich gesagt überrascht, wie gut der beobachtete dunkle Fleck mit der aus unseren Computersimulationen vorhergesagten Struktur übereinstimmt.“

Die Forscher sehen sich demnach in ihren bisherigen Untersuchungen und Voraussagen bestätigt.

Randnotiz ...

Schwarzes Loch im Zentrum von M87 fotografiert, aber wie?

Das Event Horizon Telescope ist kein traditionelles Teleskop. Der Name bezieht sich auf eine Gruppe von acht Radioteleskopen, die auf fünf Kontinenten stationiert sind und alle im April 2017 neun Tage lang den gleichen Bereich des Weltraums beobachteten.

Es hat im Nachhinein ganze zwei Jahre gedauert, bis Forscher alle Daten der Observatorien tatsächlich auspacken und analysieren konnten. Sie waren für eine digitale Übertragung einfach zu groß. Festplatten mussten physisch überbrückt werden, damit

Wissenschaftler sie über mehrere Supercomputer verarbeiten könnten.



Forscher brauchten acht Teleskope, um das erste Bild eines Schwarzen Lochs aufzunehmen

Das legendäre Bild wurde aus Datenmengen von 5.000 Petabyte millionenfach komprimiert. Ein Petabyte entspricht etwa 5.000 Jahren MP3-Dateien oder der gesamten Selfie-Sammlung von 40.000 Menschen im Laufe ihres Lebens, sagte das Team. Die Schärfe scheint dennoch nicht die zu sein, die wir uns erhofft hatten. Die Qualität könnte durch verschiedene zukünftige Ansätze verbessert

werden, nämlich durch den Einsatz neuer Algorithmen und den Anbau weiterer Teleskope mit höherer Frequenz. Diese Vorgehensweisen sind Astrophysikern nicht unbekannt. Beispielsweise war das erste Foto vom Zwergplaneten Pluto nach heutigen Maßstäben ein absolutes Durcheinander. Es dauerte 85 Jahre bis zum Vorbeiflug von New Horizons, sodass wir endlich seine dunstige Atmosphäre, Felsformationen und Oberflächenfarben sehen konnten.

Quelle: <https://freshideen.com/hi-tech/schwarzes-loch-fotografiert.html>

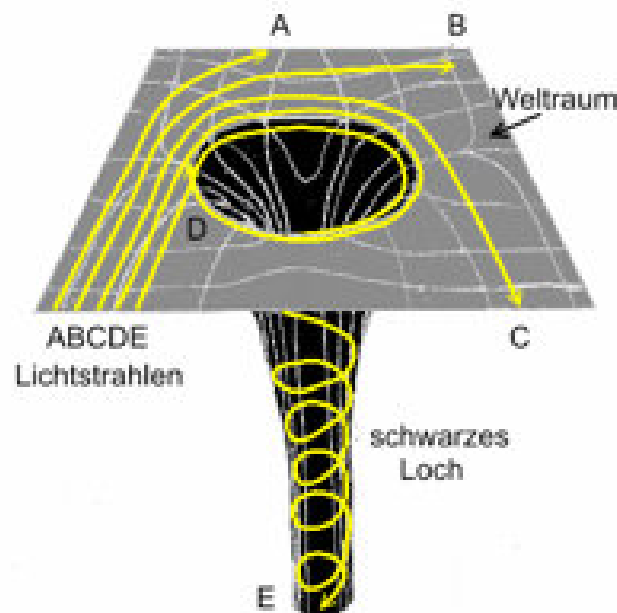
7. Wie sieht es in einem Schwarzen Loch aus - Aufbau?

Damit der Aufbau eines Schwarzen Loches verständlich erklärt werden kann, gilt es zunächst einige wichtige Begriffe zu erläutern, die in diesem Zusammenhang immer wieder auftauchen: Ereignishorizont, Raumzeit und Singularität.

Ereignishorizont (engl. event horizon): Der Ereignishorizont ist die Grenze, ab der man schneller als das Licht sein müsste, wenn man dem Schwarzen Loch entkommen wollte, was nach den Ergebnissen der Allgemeinen Relativitätstheorie unmöglich ist. Der Ereignishorizont ist allerdings nur eine mathematische Fläche, die nicht einer festen Oberfläche entspricht.

Singularität (engl. singularity): Im Zusammenhang mit den Schwarzen Löchern ist mit Singularität ein unendlich kleiner, unendlich dichter Punkt gemeint.

Raumzeit (engl. room-space): Die Raumzeit besagt, dass Raum und Zeit zusammenhängen. Man kann sich die Raumzeit als Tuch vorstellen; wenn man eine Masse (Kugel) auf dieses Tuch legt, krümmt sich diese.

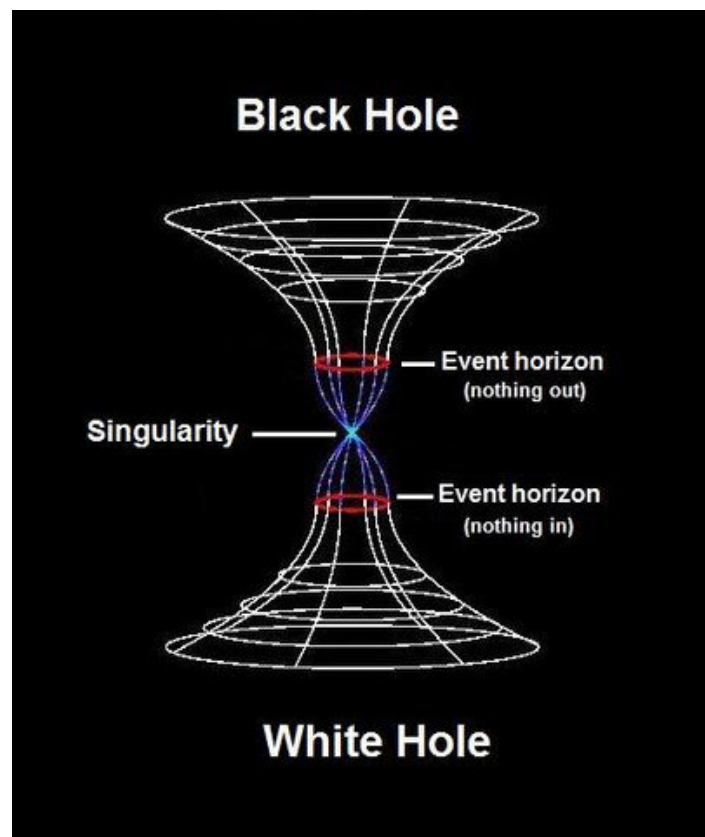


<https://astrokramkiste.de/schwarzes-loch>

Was geschieht mit den oben dargestellten Strahlen, die unterschiedlich weit vom Schwarzen Loch entfernt sind:

- Strahl A wird nur leicht von seiner Bahn abgelenkt.
- Strahl B wird schon stärker beeinflusst und deutlich abgelenkt.
- Strahl C ändert seine Bewegungsrichtung so stark, dass er umgelenkt wird.
- Strahl D wird auf eine Umlaufbahn um das Schwarze Loch gezwungen.
- Strahl E kommt dem Einflussbereich des Schwarzen Loches so nahe, dass es für ihn kein Entkommen mehr gibt. Seine Photonen überschreiten den Ereignishorizont und fallen ins Loch hinein.

Die Gravitation eines Schwarzen Loches ist so groß, dass die Fluchtgeschwindigkeit (die Geschwindigkeit, die ein Körper braucht, um einen größeren verlassen zu können), nicht wie auf der Erde nur 7,8 km/s, sondern mehr als die Lichtgeschwindigkeit beträgt.



<https://futurism.com/what-is-the-difference-between-a-black-hole-and-a-white-hole>

Der Ereignishorizont trennt das Beobachtbare von Unbeobachtbaren. Er ist der „Ort ohne Wiederkehr“ (engl. point of no return): Alles, was sich einem Schwarzen Loch bis zum Ereignishorizont nähert, wird notwendigerweise in die Singularität stürzen.

Hier, in der Singularität, wird die gesamte Materie, die in das Schwarze Loch hineingezogen wird, auf ein Volumen von 0 komprimiert.

8. Was passiert, wenn man in ein Schwarzes Loch fallen würde?

Die Menschheit wird noch für sehr lange Zeit nicht Gefahr laufen, in ein Schwarzes Loch zu fallen. Schwarze Löcher waren einmal Sterne und genau wie diese sind sie **einfach zu weit weg**. Um ein Schwarzes Loch zu erreichen und damit kollidieren zu können, muss erst eine machbare Methode der interstellaren Raumfahrt entwickelt werden und das wird noch lange dauern. Wir müssen uns also keine Sorgen machen, was mit uns passiert, wenn wir auf so ein Objekt treffen. Aber hypothetisch wäre es interessant zu wissen, was passieren würde, wenn wir hineinfallen...

Stephen Hawking hat darüber in seinem Buch „Eine kurze Geschichte der Zeit“ Folgendes geschrieben: Bei der Annäherung an das Loch sorgt die starke Gravitation dafür, dass man wie eine Spaghetti gestreckt wird. In der Nähe eines Schwarzen Lochs wird die Gravitation bei jeder Annäherung so rasant so viel stärker, dass an Füßen und Kopf andere Kräfte wirken und einen so immer weiter strecken – wie eine lange Nudel. Diesen Prozess nennt man **Spaghettifizierung**. Wie ein Pilot beim Looping bekommst die Person einen Blackout und wird ohnmächtig.



Bild: ESO, ESA/Hubble, M. Kornmesser

Der Zeitablauf von Geschehnissen in der Umgebung wird immer mehr beschleunigt, während sich die Person dem Loch annäherst. Schaut sie geradeaus, dann sieht sie, wie sich die Raumzeit um sie krümmt. Dabei nähert sie sich immer mehr dem Ereignishorizont. Das ist die Grenze, hinter der die Anziehungskraft des Schwarzen Lochs so stark wird, dass nichts mehr entweichen kann. Dies ist allerdings eine imaginäre Grenze, kein konkretes Objekt. Von außerhalb ist es nicht möglich, hinter den Ereignishorizont zu blicken.

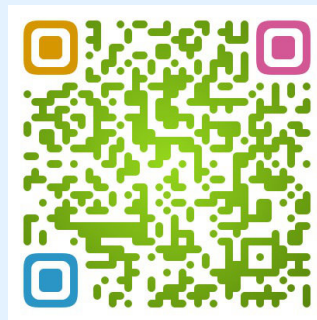
8. Was passiert, wenn man in ein Schwarzes Loch fallen würde?

Schließlich wird die besagte Person zerrissen und in ihre elementaren Bestandteile zersetzt.

Sicher ist auf jeden Fall: **Wenn man einen bestimmten Punkt überschritten hat, kommt man nie wieder raus.**

Sehenswert ...

Scanne den nachfolgenden QRCode und beobachte, was passieren würde, wenn ein Beobachter von einem Schwarzen Loch angezogen würde.



9. Schwarze und Weiße Löcher

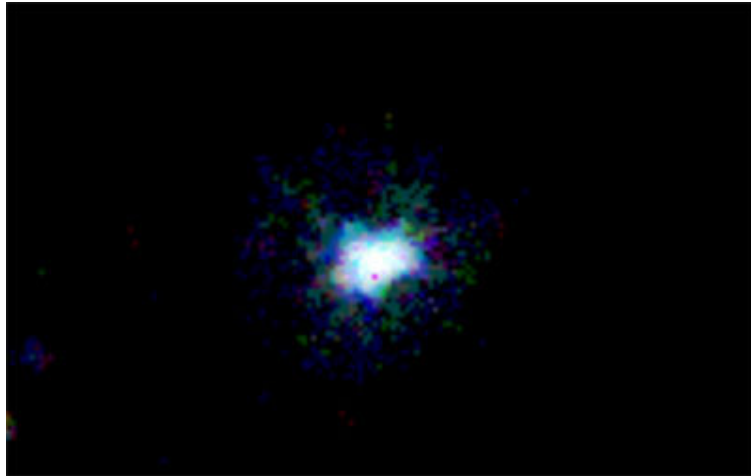
Weiße Löcher sind kurz gesagt genau das Gegenteil von Schwarzen Löchern. Sie haben wie ihre schwarzen Verwandten einen Ereignishorizont, er funktioniert aber genau umgedreht. Während beim Schwarzen Loch Materie angezogen wird und nicht mehr herauskommt, schießt beim Weißen Loch Materie heraus, kommt aber nicht wieder herein. Man kann die beiden Arten von Löchern mit einem Staubsauger und einem Gartenschlauch vergleichen.

Es gibt Forscher, die davon ausgehen, dass Schwarze und Weiße Löcher **Wurmlöcher** sind. Das heißt, dass beide eine Art Tor zu einer anderen Dimension wären (man würde ins Schwarze Loch hineinfliegen und später von einem Weißen Loch wieder ausgespuckt werden). Dies birgt jedoch zwei Probleme: erstens wäre so ein Flug einer ins Ungewisse und würde höchstwahrscheinlich tödlich enden, zweitens sind Weiße Löcher noch nicht nachgewiesen und **bisher nur reine Theorie**.



© YouTube • SciShow Space

Im Juni 2006 beobachtete der Satellit Swift einen Gammastrahlenausbruch, der rund eineinhalb Minuten anhielt. Als dann keine Supernova folgte, was in der Regel der Fall ist, schlussfolgerten die Forscher, dass es sich um ein neues Objekt handeln könnte. Viele renommierte Forscher gehen davon aus, dass es sich möglicherweise um ein Weißes Loch handelt. **Weiße Löcher wären allerdings enorm instabil** und würden irgendwann explodieren. Solch eine Explosion wurde vielleicht vom Satelliten Swift im Jahr 2006 registriert.



Gammastrahlen-Ausbruch im Röntgenlicht © Phil Evans / University of Leicester

Die Entstehung der Weißen Löcher ist bisher unbekannt. Eine Theorie besagt, dass es beim Urknall zu unbekannten Phänomenen kam und sich aus ihnen Weiße Löcher bildeten.

Die theoretischen Physiker Hal Haggard und Carlo Rovelli entwickelten an einer französischen Universität eine Theorie, die besagt, dass Weiße Löcher aus Schwarzen Löchern entstehen würden, die die Materie ausspucken, die sie vorher aufgesaugt haben. Bei dieser Theorie stützen sich die Forscher auf die sehr komplizierte Quantentheorie.

Weiße Löcher bleiben vorerst eine **mathematische Spekulation**, könnten aber in den kommenden Jahren nachgewiesen werden. Es könnte aber auch sein, dass sie gar nicht existieren. Wir können also gespannt sein!

10. Schwarze Löcher - jüngste Entdeckungen

Gigantisches Schwarzes Loch entdeckt! (2015)

2015 hat ein internationales Forscherteam am Ende des sichtbaren Universums ein Schwarzes Loch mit 12 Milliarden Sonnenmassen gefunden. Der Quasar erhielt die Nummer SDSS J0100+2802. Er liegt in einer Galaxie die 420 Billionen Mal heller scheint als ein Stern. Diese Galaxie ist 12,8 Milliarden Lichtjahre von uns entfernt, das heißt, dass das Licht des Quasars seine Reise begann, als das Universum erst 900 Millionen Jahre alt war. Dies war die Zeit wo sich die ersten Sterne bildeten. Dieses Schwarze Loch ist demnach das Massereichste und hellste Objekt, das uns bekannt ist.



(<https://www.n-tv.de/wissen/Monstroeses-Schwarzes-Loch-gibt-Raetsel-auf-article14590816.html>)

Schwarze Löcher im Dutzend (2017)

Im Zentrum der Milchstraße haben Forscher, unter der Leitung von Charles Hailey, ein Dutzend kleine Schwarze Löcher gefunden, die um gewöhnliche Sterne kreisen. Sie vermuten, dass 300-500 solcher Doppelsysteme und 10.000 isolierte Schwarze Löcher im Zentrum der Milchstraße existieren könnten.

Die Forscher gehen davon aus, dass sich um das supermassereiche Schwarze Loch im Zentrum der Milchstraße viele kleinere Schwarze Löcher gesammelt haben, die aus dem Kollaps massereicher Sterne entstanden sind. Hailey und seine Kollegen schätzen, dass es 20.000 solcher Schwarzer Löcher im zentralen Bereich gibt.

Das hungrigste Schwarze Loch des Universums entdeckt (2018)

Ein Team von australischen Forschern hat ein Schwarzes Loch gefunden, das innerhalb von zwei Tagen die Masse der Sonne isst. Dabei wird soviel Strahlung freigesetzt, dass dieses Schwarze Loch tausend Mal heller strahlt als eine Galaxie. Das Schwarze Loch besitzt Materie von 20 Milliarden Sonnenmassen. Es ist das Objekt, das am schnellsten wächst im ganzen Universum. Um dieses Monstrum zu finden, brauchten die Forscher viel Geduld und die neuste Technik, schlussendlich hat ein Satellit der ESA das Schwarze Loch gefunden.

Wenn das Supermassereiche Schwarze Loch im Zentrum unserer Galaxie so groß und so hell sein würde, könnten wir es, theoretisch, als punktförmiges Objekt mit der Helligkeit von 10 Vollmonden sehen. Praktisch könnten wir gar nichts sehen, denn die Strahlung, die von dem Schwarzen Loch ausgehen würde, würde das Leben auf der Erde unmöglich gestalten (wir würden alle ziemlich schnell sterben).



(<https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/schwarzes-loch-forscher-wollen-erstes-foto-zeigen-a-1261940.html>)

Verräterische Röntgenblitze: wie sie Rotation und andere Dinge über die Schwarzen Löcher verraten (2018)

Die meisten der Schwarzen Löcher sind eher inaktiv und machen sich nur dann bemerkbar, wenn sie starke Strahlenausbrüche ins All schleudern. Dieses Phänomen passiert, wenn eine Gaswolke oder ein Stern dem Schwarzen Loch zu nahekommt und dieses Objekt verschlungen wird.

Ein solches Schauspiel konnten Astronomen **am 24. November 2018** beobachten: ein Supermassereiches Schwarzes Loch, das in einer 300 Millionen Lichtjahre entfernten Galaxie liegt, verschlang einen nah vorüberziehenden Stern. Das aufgeheizte Material des Sterns gab starke Röntgenstrahlung ab, die aus einer Region nahe des Ereignishorizonts zu sein scheint und mehr als 12 Monate anhielt.

So ein Ereignis nennt man „Disruption Flares“, das sind Strahlenausbrüche, die entstehen, wenn Objekte wie Sternenstaub durch die enormen Gezeitenkräfte am Schwarzen Loch zerrissen werden. In diesem Fall war die Strahlung jedoch nicht kontinuierlich, sondern blitzt alle 131 Sekunden auf.

Das Interessante ist, dass man durch diese Beobachtungen erfährt, **dass sich Schwarze Löcher drehen und wie schnell**. Um die Geschwindigkeit der Rotation messen zu können, muss die Strahlung aus der innersten Region des „Strudels“ stammen. Das ist glücklicherweise hier der Fall, da das Sternenmaterial unmittelbar am Ereignishorizont kreist und kurz vor dem Verschlungen werden steht.



© NASA/CXC/M. Weiss

Aus dem Takt der Röntgenblitze und der geschätzten Größe des Ereignishorizonts wird ermittelt wie schnell sich das Schwarze Loch dreht. Bei unserem Beispiel beträgt die Geschwindigkeit 50% der Lichtgeschwindigkeit. Das ist nicht mal so ungewöhnlich schnell, es gibt Schwarze Löcher die sich mit 99% der Lichtgeschwindigkeit drehen. Das Aufregende ist, dass es hier das erste Mal war, dass Forscher die Rotationsgeschwindigkeit anhand des Disruption Flares bestimmen konnten.

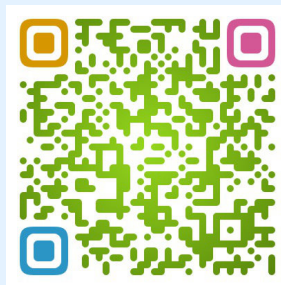
Das Merkwürdige ist jedoch, dass die Röntgenblitze extrem stark waren, viel stärker als bei so einem Schwarzen Loch zu erwarten. Die Forscher fanden heraus, dass möglicherweise nicht der Sternenstaub, sondern ein Weißer Zwerg im innersten Kreis um das Schwarze Loch kreist. Als dann glühendes Sternenmaterial auf den Weißen Zwerg fiel, strahlte er förmlich auf. Lange wird aber auch der Weiße Zwerg den Tanz mit dem Schwarzen Loch nicht überleben. In plus minus hundert Jahren wird auch er in den Ereignishorizont fallen.



(Foto: X-ray: NASA/CXC/University of Alberta/A.Bahramian et al.) Computergrafik eines Weißen Zwergs (l.) in der Umlaufbahn um ein Schwarzes Loch.

Sehenswert ...

Scanne den nachfolgenden QRCode und beobachte, was passieren würde, wenn alle Schwarzen Löcher im Universum kollabieren würden.



11. Schlussfolgerung, Ausblick und persönliche Erkenntnisse

Auch wenn schon seit vielen Jahrzehnten unzählige Forscher, darunter so bekannte Persönlichkeiten wie Einstein oder Hawking, sich mit dem Thema der Schwarzen Löcher befassen, sind weiterhin noch viele Fragen offen wie z. B. welchen Zustand Materie in einem Schwarzen Loch hat. Das ist mir ganz besonders bei meinen Nachforschungen aufgefallen. Eine ganze Reihe von Hypothesen und Vermutungen müssen noch geklärt werden, unter anderem das Rätsel um die Weißen Löcher. Durch die neuen Supercomputer und die Fortschritte bei Teleskopen und anderer technischer Ausstattung können Simulationen in Zukunft noch genauere Erkenntnisse liefern.

Viele Forscher glauben im Übrigen, dass Schwarze Löcher etwas mit dem Urknall zu tun haben oder sogar, dass wir in einem gigantisch großen Schwarzen Loch leben. Erst neulich hörte ich z.B. die Theorie, dass der Urknall entstanden ist, weil in dem Universum zuvor Schwarze Löcher alles auffraßen und schließlich alle miteinander kollidierten. Alle diese Theorien sind sehr faszinierend und werden in Zukunft wohl weiterhin diskutiert und vielleicht sogar eines Tages bewiesen werden. Ich habe deshalb versucht, unterschiedliche Aspekte in meiner Arbeit zu behandeln: sowohl bereits nachgewiesene Fakten, als auch Hypothesen und jüngste Erkenntnisse, die es noch näher zu beobachten und zu beweisen gibt.

Eine weitere Feststellung meinerseits ist Folgende: Schwarze Löcher sind ein sehr aktuelles Thema, wo es gefühlt jeden Monat eine bahnbrechende Neuigkeit gibt, wie am 10. April dieses Jahres. Dabei handelt es sich vielleicht um den größten Meilenstein überhaupt in der Forschung rund um die Schwarzen Löcher, nämlich das erste Foto eines Schwarzen Loches. Um dieses Projekt zu realisieren, mussten 8 Teleskope rund um die Welt auf einen Punkt gerichtet werden und es steht außer Frage, dass dieses Foto in jedem Jahresrückblick seinen Platz unter den Top 3 sicher hat.

In Filmen werden die Schwarzen Löcher eigentlich immer nur als schwarzer Ball bzw. als eine Art Monstrum dargestellt, das wie ein gigantischer Staubsauger einfach alles aufsaugt. Viele Menschen, die sich nicht intensiver mit dem Thema befassen und nur diesen Science-Fiction-Filmen Glauben schenken, haben deshalb einen falschen Eindruck von den Giganten unseres Universums und fürchten, dass sie eine reale Bedrohung für die Erde darstellen könnten. Aus meiner Arbeit geht hervor, dass dies in absehbarer Zukunft nicht der Fall sein wird.

Mir hat das Schreiben dieser schriftlichen Aufgabe keine großen Schwierigkeiten bereitet, denn, wie vermutet, habe ich besonders im Internet sehr viele nützliche Informationen gefunden. Es gibt zahlreiche seriöse Seiten, die sich mit dem Thema befassen. Das schwierigste war, dieses Thema so einfach wie möglich zu erklären, so dass es für meine Klassenkameraden oder auch für Lehrer, die sich bis dato nicht näher mit dem Thema beschäftigt haben, verständlich und logisch ist.

Ich möchte auch im nächsten Schuljahr ein Thema aus der Astronomie bearbeiten und hätte da auch bereits die eine oder andere Idee. Mich würde z. B. reizen, zu untersuchen, ob und wie Menschen dauerhaft auf dem Mars überleben könnten und ob der „rote Planet“ eine Option ist, um eine zu stark verschmutzte Erde als neuen Heimatplaneten abzulösen. Es wäre nicht so ein komplexes, jedoch trotzdem anspruchsvolles und herausforderndes Thema. Aber auch „Spacemining“ wäre eine Idee, da Luxemburg derzeit viele Anstrengungen unternimmt, um eine weltweit führende Rolle in diesem Sektor zu übernehmen.

Hoffentlich wird mir meine nächste persönliche Arbeit genauso viel Spaß bereiten und Wissen vermitteln wie dieses Projekt über die „Schwarzen Löcher“!

**Black holes ain't as black
as they are painted. They are not
the eternal prisons they
were once thought. Things can get
out of a black hole both
on the outside and possibly to
another universe. So if you
feel you are in a black hole,
don't give up—there's a way out.**



STEPHEN HAWKING

12. Literatur und Bibliographie

http://www.esa.int/esaKIDSde/SEMF76BE8JG_OurUniverse_0.html

https://www.deutschlandfunk.de/karl-schwarzschilds-brillante-idee-der-erfinder-des.732.de.html?dram:article_id=342204

<http://www.mpia.de/aktuelles/wissenschaft/2018-01-schwarzes-loch-sternentstehung>

<https://www.max-wissen.de/Fachwissen/show/4116.html>

<https://www.max-wissen.de/public/downloads/maxheft4352.pdf>

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/schwarzes-loch/429>

<https://www.spektrum.de/lexikon/astronomie/weisse-loecher/524>

<https://astrokramkiste.de/schwarzes-loch>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/schwarze-loecher/entstehung-schwarzer-loecher/>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/doppeltes-schwarzes-loch-beobachtet/>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2018/schwarze-loecher-im-dutzend/>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2017/schwarzes-loch-mittlerer-masse-entdeckt/>

<http://www.saveyerkes.com/schwarzes-loch>

<https://www.galileo.tv/science/was-passiert-wenn-ein-mensch-in-ein-schwarzes-loch-faellt/>

<http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2012/07/19/was-passiert-wenn-man-in-ein-schwarzes-loch-fallt/>

<https://blog.zeit.de/teilchen/2015/08/14/schwarzes-loch-relativitaetstheorie-quantenmechanik-cern/>

<https://motherboard.vice.com/de/article/bmvqy5/was-passiert-wenn-du-in-ein-schwarzes-loch-faellst-111>

<https://www.n-tv.de/wissen/Monstroeses-Schwarzes-Loch-gibt-Raetsel-auf-article14590816.html>

<http://www.sternwarte-eberfing.de/Fuehrung/Objekbeschreibung/schwLoch.html>

<https://www.nationalgeographic.de/wissenschaft/leben-wir-einem-schwarzen-loch>

<https://www.weltraum-aktuell.de/index.php/nachrichten2/709-wie-supermassereiche-schwarze-loecher-entstehen>

<https://www.spektrum.de/news/schwarzes-loch-sprengt-alle-dimensionen/1367554>

<http://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2011/11/23/das-schwarze-loch-von-cygnus-x1/>

<https://www.spektrum.de/news/wenn-schwarze-loecher-weiss-werden/1305488>

<https://www.scinexx.de/news/kosmos/roentgensignale-vom-ereignishorizont/>

<http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/schwarze-loecher-wie-schwerkraftmonster-sterne-zerfetzen-a-1247443.html>

<https://www.tagesspiegel.de/wissen/astronomie-pulsare-liefern-beweis-fuer-schwarze-loecher/19365136.html>

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/schwarzes-loch-fotografiert-forscher-zeigen-weltweit-erstes-bild-a-1260884.html>

https://www.focus.de/wissen/weltraum/odenwalds_universum/wissenschaftliche-sensation-foto-von-schwarzem-loch-m87_id_10576481.html

<https://www.heise.de/newsticker/meldung/Erstes-Bild-eines-Schwarzen-Lochs-zeigt-Zentrum-der-Galaxie-M87-4370277.html>

<https://freshideen.com/hi-tech/schwarzes-loch-fotografiert.html>

Schwarze Löcher - Das dunkelste Geheimnis der Gravitation - Dr. Andreas Müller, 2007

Was ist Was, Band 6, Sterne – Wunder des Weltalls. Tessloff

Memo- Wissen entdecken Clever Weltall DK Das schlaue Taschenlexikon 2012

Einstein & die Schwarzen Löcher http://www.lsw.uni-heidelberg.de/users/mcamenzi/HD_BH.pdf

Im schwarzen Loch ist der Teufel los - Ulrich Walter - Komplett-Media

Space - Das Weltraum-Magazin 1/2019

Spektrum der Wissenschaft Highlights 1.18 - Rätsel Kosmos