

Fragen der 6a

anlässlich des Besuchs der sechsten Klassen des Carl-von-Ossietzky-Gymnasiums, Bonn-Ückesdorf, am Radioteleskop Effelsberg am Donnerstag, 6. Februar 2025. Die Antworten stammen von Norbert Junkes vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR).

Radiosignale aus dem Weltall

Von wo werden die am weitesten entfernten Signale empfangen? Wie lange sind diese unterwegs gewesen?



Abb. 1: Das Webb Deep Field mit der Rekordgalaxie JADES-GS-z14. Das Signal dieser Galaxie stammt aus einer Zeit von weniger als 300 Millionen Jahren nach der Entstehung des Universums, war also ca. 13,5 Milliarden Jahre unterwegs (Bild: JWST. Copyright: NASA, ESA, CSA, STScI).

Die am weitesten entfernten Signale, die man im Moment kennt, kommen aus Beobachtungen mit dem James-Webb-Weltraum-Teleskop (JWST). Das Signal der Rekordgalaxie JADES-GS-z14 stammt aus einer Zeit von weniger als 300 Millionen Jahren nach der Entstehung des Universums selbst.

Mit radioastronomischen Messungen kommt man aber sogar noch ein gutes Stück weiter zurück in der Geschichte des Universums, nämlich mit der kosmischen Hintergrundstrahlung, der Reststrahlung von der Entstehung des Universums selbst, die man manchmal auch das „Echo des Urknalls“ nennt. Sie kommt aus einer Zeit von nur wenigen 100.000 Jahren nach dem Urknall selbst, ist also noch bedeutend älter als die frühesten Signale von fernen Galaxien wie JADES-GS-z14.

James Webb Space Telescope, Schülerpraktikumsprojekt von Silvia Pauli (Januar 2025)
<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/8951347/silvia-pauli.pdf>

Haben Sie schon Signale von unbekannten Objekten empfangen?

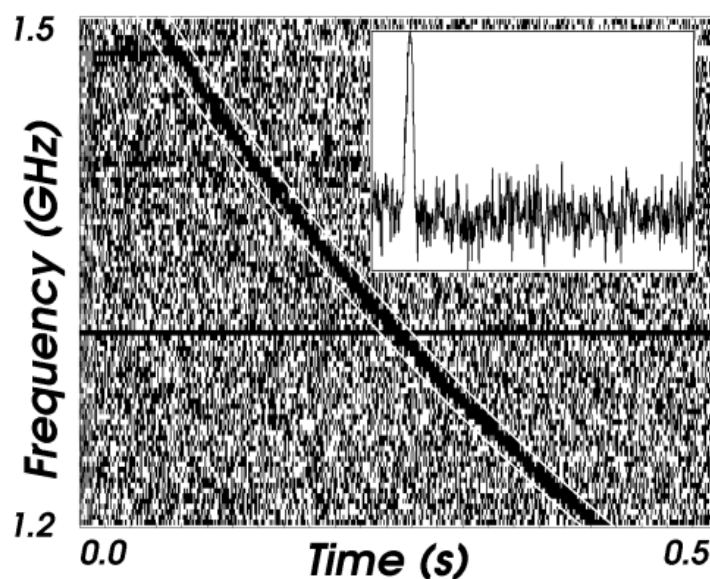


Abb. 2: Ein kurzzeitiger Radiostrahlungsausbruch von nur wenigen Millisekunden Dauer, der von Duncan Lorimer und seinem Studenten David Narcevic in Archivdaten des australischen Parkes-Radioteleskops entdeckt wurde (Bild: Duncan Lorimer, 2007).

Für ein Signal künstlichen Ursprungs lautet die Antwort „Nein“. Aber es gibt durchaus vorher unbekannte Objekte im Universum, auf deren Signale man sogar per Zufall stoßen kann.

Dem britischen Astrophysiker Duncan Lorimer ist im Jahr 2007 die Entdeckung eines völlig neuen radioastronomischen Phänomens gelungen. Er fand in Archivdaten vom Parkes-Radioteleskop in Australien einen kurzen Radiostrahlungsausbruch von nur wenigen Millisekunden Dauer, der später auch als „Lorimer-Burst“ bezeichnet wurde. Später hat man eine Reihe weiterer Strahlungsausbrüche dieser Art gefunden, die auch als „Fast Radio Bursts“ (FRBs) bezeichnet werden.

Es ist immer bemerkenswert, wenn ein neu gefundenes wissenschaftliches Phänomen nach seinem Entdecker benannt wird, der sich damit schon ein klein wenig unsterblich gemacht hat. Dazu zählt zum Beispiel der „Mößbauer-Effekt“, der von Rudolf Mößbauer im Rahmen seiner Doktorarbeit in München entdeckt wurde (und für den er später mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet wurde), oder auch die Entdeckung des Hulse-Taylor-Pulsars, des ersten in einem Doppelsternsystem gefundenen Pulsars (vgl. Abschnitt „Wird die Sonne

explodieren?“), bei dem der indirekte Nachweis von Gravitationswellen gelang. Dafür wurden die beiden Entdecker, Joe Taylor und sein damaliger Student Russell Hulse, ebenfalls mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Laura Spitler beschäftigt sich am Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) in ihrer Forschungsgruppe „*Schnelle Radioblitze als astrophysikalische Werkzeuge*“ mit der Erforschung von FRBs. Anfang 2017 ist es einem von ihr geleiteten Team von Wissenschaftlern erstmals gelungen, den Ursprung eines solchen Radiostrahlungsausbruchs in einer weit entfernten Galaxie zu identifizieren.

Fast Radio Bursts (FRBs), Schülerpraktikumsprojekts von Oskar Engelfried (Januar 2020)
<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/5043126/Oskar-Engelfried-FRBs.pdf>

Ursprung eines schnellen Radiostrahlungsausbruchs identifiziert, MPIfR-
Pressemitteilung vom 4. Januar 2017
<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemitteilungen/2017/1>

Welches war Ihre ungewöhnlichste Aufnahme?



Abb. 3: Das Radiosignal vom Marsrover Perseverance der NASA wurde während der entscheidenden sieben Minuten der Landung auf der Marsoberfläche von den beiden weltweit größten beweglichen Radioteleskopen (Effelsberg & Green Bank/USA) aufgezeichnet. Das grünliche „Wasserfalldiagramm“ zeigt das Signal im linken Bildteil als schräg verlaufende dunkle Linie (Bilder: Norbert Junkes, NRAO/GBT).

Eine sicherlich ungewöhnliche Aufnahme war das Signal der Marssonde „Perseverance“, das am 18. Februar 2021 mit dem Radioteleskop Effelsberg (wie auch mit dem Green-Bank-Radioteleskop in den USA) aufgezeichnet wurde. Die NASA hatte für die entscheidenden und kritischen Minuten der Landung des Rovers auf der Marsoberfläche bei den beiden größten beweglichen Radioteleskopen weltweit angefragt und darum gebeten, das über die große Entfernung zwischen Mars und Erde abgestrahlte Signal direkt zu empfangen. Das war als Rückversicherung und zur Analyse gedacht, im Fall das bei der Landung etwas schiefgegangen wäre. Es war im Nachhinein gar nicht mal nötig; „Perseverance“ legte eine Bilderbuchlandung hin und ist seitdem im Einsatz auf der Marsoberfläche.

Das war übrigens bereits das zweite Mal, dass das 100-m-Teleskop für die NASA bei einer Marslandung dabei war. Drei Jahre früher, im Jahr 2019, war es die Landung von „Insight“ auf dem Mars. Für die Landung von „Insight“ waren sogar zwei Mitarbeiter der NASA zu Gast in Effelsberg.

Radioteleskop Effelsberg bringt Nasa-Rover sicher zum Mars, Bonner Generalanzeiger, 22. Februar 2021

https://ga.de/region/ahr-und-rhein/mehr-von-ahr-und-rhein/perseverance-unterstuetzt-radioteleskop-effelsberg-bringt-nasa-rover-sicher-zum-mars_aid-56389445

Exoplaneten und Aliens

Wurden schon Planeten entdeckt, auf denen es Leben gibt / geben kann?



Abb. 4: Das ist eine künstlerische Darstellung, wie man sich die Oberfläche des Exoplaneten Proxima B vorstellen könnte, der um Proxima Centauri kreist. Proxima Centauri in einem Abstand von 4,2 Lichtjahren ist der nächste Nachbarstern unserer Sonne (Bild: ESO/M. Kornmesser, 24. August 2016).

Seit im Jahr 1995 zum ersten Mal ein Planet (mit der Bezeichnung 51 Pegasi B) um einen anderen normalen Stern gefunden wurde, hat man mehr als 7400 extrasolare Planeten (Stand: Februar 2025) nachweisen können. Es fing an mit sehr massereichen Planeten, vergleichbar mit Jupiter in unserem Sonnensystem, die in sehr geringem Abstand um ihren Zentralstern kreisen („heiße Jupiter“, bei denen allein aufgrund der Oberflächentemperatur eine Existenz von Leben mehr als unwahrscheinlich wäre).

Inzwischen sind es aber ganz unterschiedliche Planeten, die man gefunden hat, eine Reihe von ihnen auch in der sogenannten „habitablen Zone“. So nennt man es, wenn der gefundene Planet genau den Abstand von seinem Mutterstern hat, dass es bei normaler Rotation des Planeten auf seiner Oberfläche Wasser in flüssiger Form existieren könnte (hier auf der Erde eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung von Leben). Mit neuen leistungsfähigen Teleskopen wie dem James-Webb-Weltraumteleskop hat man inzwischen die Atmosphären einiger extrasolarer Planeten während des Vorübergangs vor dem Mutterstern („Transit“) untersucht und dabei z.B. Wasser in der Atmosphäre nachweisen können.

Das heißt, dass unter den 7400 gefundenen Exoplaneten einige dabei sind, auf denen es Leben geben könnte. Der Nachweis von Leben außerhalb unserer Erde ist allerdings noch nicht gelungen.

Extrasolare Planeten (Rainer Kayser und Redaktion "Welt der Physik", 02. Juli 2024
<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/exoplaneten/>

Gibt es Aliens?

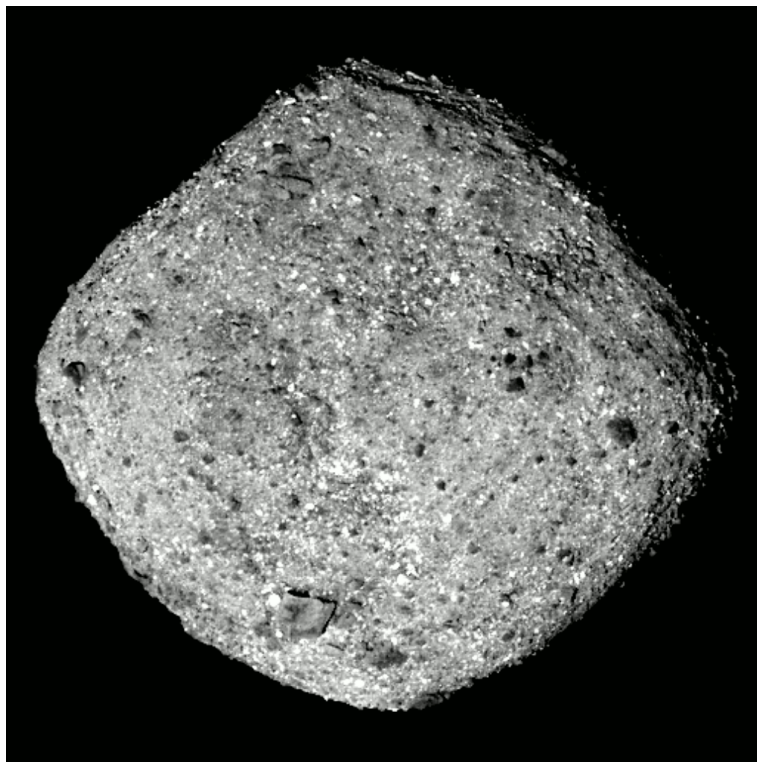


Abb. 5: Aufnahme des Asteroiden Bennu mit der Raumsonde OSIRIS-Rex, die Bodenproben dieses Asteroiden zurück zur Erde gebracht hat (Bild: NASA/Goddard/ University of Arizona).

Das ist auf jeden Fall eine spannende Frage: kann es Leben außerhalb unserer Erde geben? Und mit „Aliens“ wären wohl normalerweise nicht primitive Lebensformen wie Bakterien oder andere Einzeller gemeint, sondern eher komplexes und vielleicht intelligentes Leben, also sowas wie unsere Brüder und Schwestern im All. Die Antwort lautet, zumindest im Moment: „wir wissen es nicht“. Es wurden bisher keine Spuren von Leben im All gefunden, weder auf dem Mond oder unserem Nachbarplaneten Mars, deren Oberfläche auch schon von irdischen Raumsonden untersucht werden konnte, noch mit indirekten Mess- oder Beobachtungsmethoden weiter draußen, sei es in den Außenbereichen unseres Sonnensystems oder auf Planeten um andere Sonnen.

Bausteine des Lebens in der Art, wie wir es kennen, wurden hingegen durchaus schon gefunden: eine spannende Entdeckung waren die Bodenproben vom Asteroiden Benu, die die Raumsonde OSIRIS-Rex zurück zur Erde gebracht hat, und in denen man Aminosäuren gefunden hat, sowie Nukleinbasen, also Bausteine auch des Lebens auf unserer Erde. Das hat sogar zu Spekulationen geführt, ob die Grundlagen unseres Lebens auf der Erde selbst entstanden sind, oder vor einigen Milliarden Jahren durch den Einschlag von Asteroiden erst auf die Erde kamen.

Konkrete Belege oder Beweise für das Leben selbst konnten außerhalb der Erde noch nicht gefunden werden (und auch „E.T.“ hat sich trotz inzwischen mehr 60jähriger Suche nach Signalen künstlichen Ursprungs – Stichwort „SETI“ oder „Search for Extraterrestrial Intelligence“ noch nicht gemeldet).

Asteroid Benu beherbergt Bausteine des Lebens (Rainer Kayser und Redaktion, „Welt der Physik“, 29. Januar 2025)

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/nachrichten/2025/asteroidenmission-osiris-rex-asteroid-benu-beherbergt-bausteine-des-lebens/>

Wurmlöcher, Schwarze und Weiße Löcher

Gibt es Wurmlöcher?

Wurmlöcher sind eine interessante Konstruktion. Viele haben den Namen schon mal gehört und sind fasziniert von diesem Begriff. Und das, obwohl es bis jetzt keinen Anhaltspunkt dafür gibt, dass Wurmlöcher tatsächlich existieren könnten und mehr sind als eine mathematische Möglichkeit.

Das Ganze geht, wie vieles in der Physik, wiederum zurück auf Albert Einstein und seine Relativitätstheorie. Das ist eine Theorie der Gravitation, die zeigt, dass schwere Massen die Struktur des Raums verbiegen (Raumkrümmung), Und hieraus bastelt man sich nun ein cleveres Konzept, das durch Verbindungen der Raumzeit (eben die Wurmlöcher) die lästige Entfernungsbarriere im Universum abkürzen und damit überwinden soll. Albert Einstein selbst hat die mathematischen Grundlagen dazu vor vielen Jahren mit seinem Mitarbeiter Nathan Rosen berechnet. Daher sind Wurmlöcher auch unter dem älteren Ausdruck „Einstein-Rosen-Brücken“ bekannt.

Das Rezept ist nun folgendes: man sucht sich ein geeignetes Wurmloch, geht an einem Ende hinein, und kommt dann am anderen Ende nach kurzer Zeit viele Lichtjahre (oder sogar Millionen und Milliarden von Lichtjahren) entfernt wieder raus. Ganz praktisch, wenn man gern zu den Sternen oder anderen Galaxien reisen möchte, aber nicht unbedingt ein paar Millionen Jahre unterwegs sein will. Die Raumsonde Voyager 1, das fernste von Menschenhand gebaute Gerät und eines der schnellsten irdischen Raumschiffe, hat seit ihrem Start im Jahr 1977, also in knapp 50 Jahren, gerade mal 24 Milliarden km oder 23 Lichtstunden (Stand: Februar 2025) zurückgelegt. Bis zu den nächsten Sternen wäre Voyager 1 also noch Tausende oder sogar Zehntausende von Jahren unterwegs.

Mit anderen Worten: Wurmlöcher wären eine tolle Sache! Es gibt nur bis heute keinen einzigen Beleg für ihre tatsächliche Existenz.

Die wunderbare Welt der Wurmlöcher, mdr Wissen, 17. März 2023

<https://www.mdr.de/wissen/was-ist-ein-wurmloch-und-wie-kann-man-es-entdecken-astrophysik-100.html>

Gibt es Weiße Löcher?

Während Schwarze Löcher ganz unterschiedlicher Masse bereits im Universum gefunden werden konnten (das geht von stellaren Schwarzen Löchern mit nur einigen Sonnenmassen bis zu supermassereichen Schwarzen Löchern mit Millionen bis Milliarden von Sonnenmassen), sind die sogenannten „Weißen Löcher“ reine Theorie, das heißt mathematische Konstruktionen, für die es keinen Beleg gibt, dass sie tatsächlich existieren.

Das Konzept ist dabei folgendes: ähnlich wie Schwarze Löcher sind auch Weiße Löcher mathematische Lösungen der Relativitätstheorie von Einstein, beide mit einem sogenannten Ereignishorizont, der eine Grenze darstellt, deren andere Seite nicht zugänglich ist. Ein Weißes Loch wäre dabei das genaue Gegenteil eines Schwarzen Lochs: während beim Schwarzen Loch Materie nur von außen nach innen gelangen kann, könnte bei einem Weißen Loch Materie nur von innen nach außen gelangen; es müsste also Materie ausstoßen. So etwas ist allerdings noch nie beobachtet worden.

Weiße Löcher, Lexikon der Astronomie, Spektrum-Verlag

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

Wie nah ist das nächste Schwarze Loch?

Das kommt darauf an, von welcher Klasse von Schwarzen Löchern man spricht. Es gibt stellare Schwarze Löcher mit nur einigen Sonnenmassen, die die Endstadien der Entwicklung von extrem massereichen Sternen darstellen (siehe Abschnitt „*Wird die Sonne zu einem Schwarzen Loch?*“), es gibt mittelschwere Schwarze Löcher mit einigen 1000 Sonnenmassen, wie man sie z.B. in Kugelsternhaufen gefunden hat, und es gibt die supermassereichen Schwarzen Löcher mit Millionen oder Milliarden Sonnenmassen. Die findet man in den Zentren von vielen Galaxien, wobei die Zentralquelle unserer Milchstraße, Sagittarius A*, mit einer Entfernung von ca. 26.000 Lichtjahren das bei weitem nächste supermassereiche Schwarze Loch darstellt.

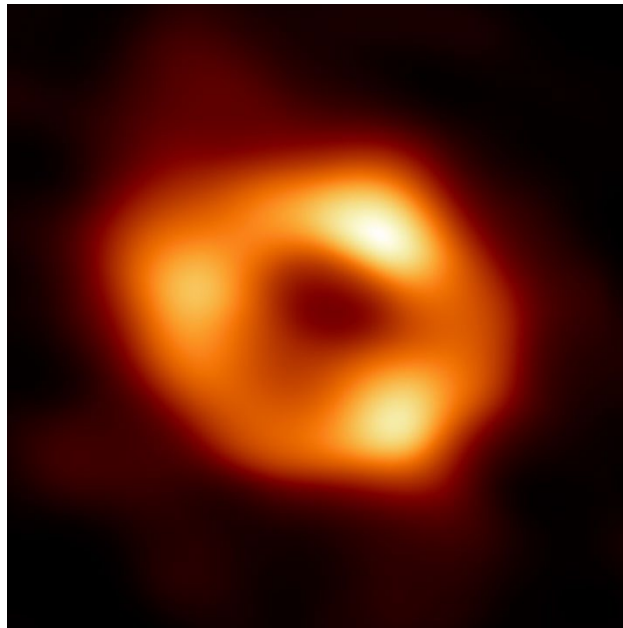


Abb. 6: Am 12. Mai 2022 wurde dieses Bild von Sagittarius A* im Zentrum unserer Milchstraße veröffentlicht. Es zeigt den Schatten eines Schwarzen Lochs, 4,4 Millionen mal schwerere als die Sonne, der mit dem weltumspannenden Event Horizon Telescope (EHT) gemessen wurde. (Bild: EHT Collaboration).

Etwas näher, nämlich rund 18.000 Lichtjahre entfernt, ist das nächstgelegene mittelschwere Schwarze Loch mit 8200 Sonnenmassen, das unsere Heidelberger Kollegen vom Max-Planck-Institut für Astronomie (MPIA) im Kugelsternhaufen Omega Centauri gefunden haben. Vom gleichen Institut wurde bereits zwei Jahre davor die Entdeckung des nächsten stellaren Schwarzen Lochs in einer Entfernung von weniger als 1600 Lichtjahren bekanntgegeben. Das von ihnen in Daten des Gaia-Satelliten gefundene Mehrfachsternsystem Gaia-BH1 enthält vermutlich ein stellares Schwarzes Loch mit der 10fachen Masse der Sonne.

Astronomen enthüllen erstes Bild des supermassereichen Schwarzen Lochs im Herzen der Milchstraße, MPIfR-Pressemitteilung vom 12. Mai 2022

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2022/8>

Schwarzes Loch in Omega Centauri: das uns nächste massereiche Schwarze Loch

MPIA-Pressemitteilung vom 10. Juli 2024

<https://www.mpia.de/aktuelles/wissenschaft/2024-10-omega-cen-imbh>

Das nächstgelegene Schwarze Loch

MPIA-Pressemitteilung vom 4. November 2022

<https://www.mpg.de/19439207/1103-astr-das-der-erde-naechste-schwarze-loch-150980-x>

Was passiert, wenn die Erde in die Nähe eines Schwarzen Lochs kommt?

Das ist eine eher theoretische Frage. Es würde sicher nicht gut ausgehen, aber genauso könnte man fragen, was passiert, wenn die Erde in die Nähe der Sonne kommt, oder in die Nähe eines Nachbarplaneten wie Jupiter. Schon die Kollision unserer Erde mit einem

vergleichsweise winzigen Objekt wie dem „Dinosaurier-Asteroiden“ mit weniger als 20 km Durchmesser, der vor ca. 65 Millionen Jahren auf der mexikanischen Halbinsel Yucatan eingeschlagen ist, hat bereits zu katastrophalen Folgen für das Leben auf der Erde geführt.

Es fügt sich gut, dass die großen Planeten im Sonnensystem auf geordneten Bahnen die Sonne umkreisen, und dass auch von den Nachbarsternen unserer Sonne in wenigen Lichtjahren Entfernung sich keiner auf Kollisionskurs mit dem Sonnensystem befindet.

Bei einem Abstand von 1600 Lichtjahren für das nächste bekannte Schwarze Loch kann man also durchaus Entwarnung geben.

Die Zukunft der Sonne

Lebensdauer der Sonne

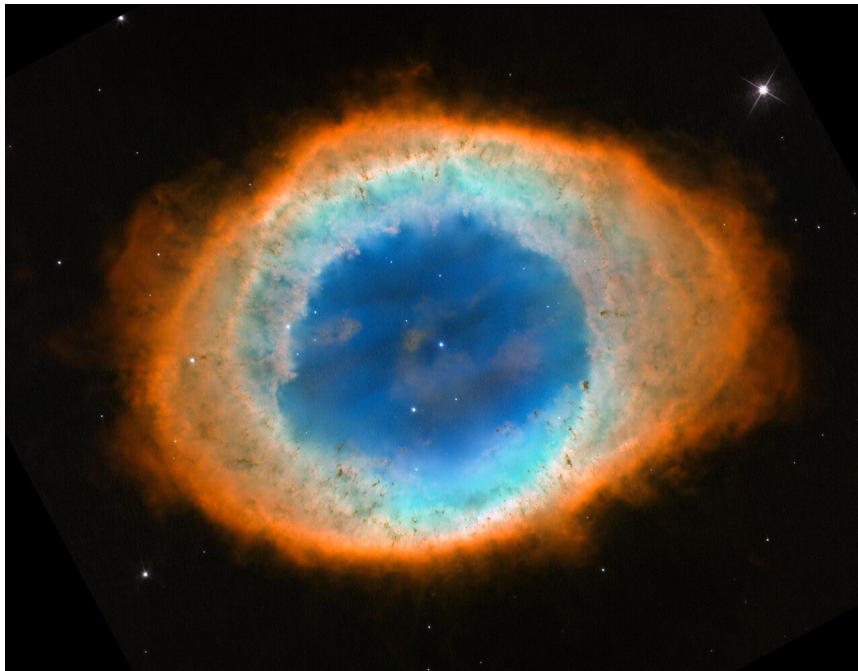


Abb. 7: Bild des Planetarischen Nebels M57 im Sternbild Leier, aufgenommen mit dem Hubble-Teleskop. So wird unsere Sonne gegen Ende ihrer Entwicklung nach weiteren sieben Milliarden Jahren auch einmal aussehen: eine abgestoßene farbenprächtigt leuchtende Hülle und im Zentrum ein Weißer Zwergstern (Copyright: NASA, ESA, and C. Robert O'Dell, Vanderbilt University).

Ein Stern mit der Masse der Sonne (das ist ganz schön viel: $1,989 \cdot 10^{30}$ bzw. knapp zwei Quintillionen Kilogramm; das entspricht über 330.000 mal der Masse der gesamten Erde) ist ein recht normaler Stern (man sagt sogar: massearmer Stern), der dafür aber eine sehr lange Lebensdauer hat. Die längste Phase im Leben eines Sterns ist das „Wasserstoffbrennen“, genauer gesagt eine Kernfusion von Wasserstoff zu Helium, bei der im Sternzentrum bei Temperaturen von einigen Millionen Grad Energie erzeugt wird. Der Wasserstoffvorrat der Sonne reicht dabei für ca. 10 bis 12 Milliarden Jahre, wobei sie noch nicht einmal die Hälfte dieser Zeit hinter sich hat. Vor ziemlich genau 4,6 Milliarden Jahren ist die Sonne und damit

auch unser gesamtes Sonnensystem mit acht großen Planeten und jeder Menge kleinerer Himmelskörper (Asteroiden, Kometen etc.) entstanden. In weiteren gut sechs Milliarden Jahren wird der Wasserstoffvorrat im Zentrum der Sonne komplett aufgebraucht sein. Sie wird sich dann zu einem sogenannten Roten Riesenstern aufblähen und fast das 100fache ihres heutigen Durchmessers erreichen und mit ihrer Oberfläche recht nahe an die Erde herankommen. Nochmals später wird sie ihre äußere Hülle abstoßen und im Inneren bleibt ein hochverdichteter Kern, ein sogenannter Weißer Zwergstern, übrig. Die Dichte ist dann so hoch, dass ein Kubikzentimeter Materie von einem Weißen Zwerg über eine Tonne wiegt.

Alte Sterne von der Masse der Sonne, zusammen mit ihrer abgestoßenen Hülle, können als Planetarische Nebel ein prächtiges Schauspiel am Himmel bieten.

Wie endet die Sonne? Tobias Hürter & Max Rauner, Zeit-Dossier: Das Ende von allem (Seite 4 von 8), Februar 2010

<https://www.zeit.de/zeit-wissen/2010/02/Dossier-Kosmos/seite-4>

Wird die Sonne explodieren?

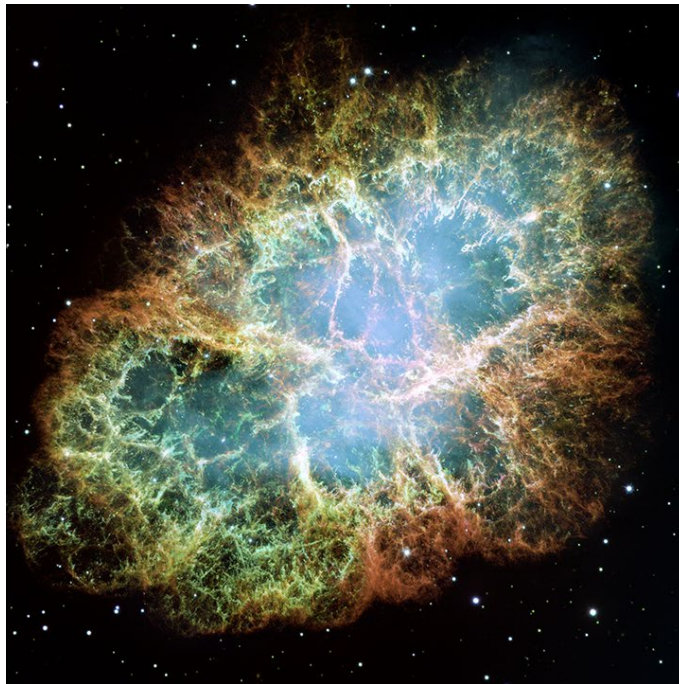


Abb. 8: Bild des Crabnebels M1 im Sternbild Stier, aufgenommen mit dem Hubble-Teleskop. Das ist der Überrest einer Supernovaexplosion, die von chinesischen Astronomen im Jahr 1054 unserer Zeitrechnung beobachtet wurde. Im Zentrum des Nebels befindet sich ein extrem dichter Neutronenstern, der als Pulsar beobachtet wird und sich 30mal pro Sekunde um die eigene Achse dreht (Copyright: NASA, ESA, STScI).

Die Explosion eines massereichen Sterns am Ende seiner Entwicklung nennt man „Supernova“. Dafür reicht die Masse unserer Sonne einfach nicht aus. Wir können durchaus froh sein, mit unserer Sonne einen ziemlich massearmen aber dafür langlebigen Stern im Zentrum unseres Sonnensystems zu haben. Wäre die Masse der Sonne viel größer (sagen wir: um mehr als das Achtfache), würde sie ihren Brennstoffvorrat im Inneren (den Wasserstoff für die Kernfusion) viel schneller verbrauchen und wären schon nach wenigen Millionen von Jahren am Ende ihres Wasserstoffvorrats. Diese massereichen Sterne werden dann schließlich

als Supernovae explodieren und einen gehörigen Teil ihres Materials in Form eines Supernovaüberrests hinausschleudern. Im Zentrum bleibt ein extrem dichter Kern übrig. Je nach Masse kann das ein Neutronenstern, oder bei den allerschwersten Sternen sogar ein Schwarzes Loch sein. Neutronensterne haben die Masse unserer Sonne mit einem Durchmesser von gerade mal 20 km. Das heißt, sie haben eine Dichte von 100 Millionen Tonnen pro Kubikzentimeter! Im Vergleich heißt das, dass ein Zuckerwürfel Neutronenstern ungefähr soviel wiegt wie der komplette Kölner Dom mit sämtlichen Fundamenten. Und das 5500mal!

Merkblatt: Lebensweg der Sterne, Unterrichtsmaterial, Planetarium Mannheim
[https://www.planetarium-mannheim.de/fileadmin/Bilder/Schule/Unterrichtsmaterial/Merkblatt - Lebensweg der Sterne.pdf](https://www.planetarium-mannheim.de/fileadmin/Bilder/Schule/Unterrichtsmaterial/Merkblatt_-_Lebensweg_der_Sterne.pdf)

Wird die Sonne zu einem Schwarzen Loch?

Nein, die Sonne wird sich nicht zu einem Schwarzen Loch entwickeln. Nur extrem schwere Sterne mit hoher Anfangsmasse nehmen diesen Verlauf. Das beschreibt Markus Pössel („Haus der Astronomie“, Heidelberg) im Abschnitt „Das dramatische Ende massereicher Sterne“ in seinem Blog:

„Für sehr massereiche Sterne kann es sein, dass selbst der Neutronenstern-Zustand nicht stabil ist. Sie dürften zu Objekten werden, die so kompakt sind, dass ihrer Schwerkraft noch nicht einmal Licht entkommen kann: Schwarzen Löchern, abgekapselten Raumbereichen, aus denen nichts, was einmal hineingeraten ist, je wieder hinausgelangen kann.“

Bei Sternen mit mehr als der achtfachen Masse unserer Sonne geht man davon aus, dass sie am Ende ihrer Entwicklung als Supernova explodieren und dass im Zentrum ein extrem kompakter Neutronenstern übrigbleibt. Einige dieser Neutronensterne, die sich extrem schnell um ihre Achse rotieren, können mit Radioteleskopen als Pulsare beobachtet werden.

Bei mehr als 25facher Sonnenmasse eines Sterns könnte dann am Ende ein Schwarzes Loch übrigbleiben.

Das Leben der Sterne. Astronomisches Grundwissen, Teil 5 (Markus Pössel), Blog: scilogs.de, 7. Februar 2013
<https://scilogs.spektrum.de/relativ-einfach/astronomisches-grundwissen-5/>

Das Radioteleskop Effelsberg

Wie alt ist das Teleskop?

Das Radioteleskop Effelsberg ist inzwischen mehr als 50 Jahre alt. Seit der offiziellen Einweihung im Mai 1971 sind fast 54 Jahre vergangen, in denen das Teleskop im wissenschaftlichen Einsatz war. Dabei wurden eine Reihe von wichtigen Entdeckungen gemacht, aber auch große Bereiche des von Effelsberg aus zugänglichen Nordhimmels kartiert, zum Beispiel im Licht der Wasserstofflinie und damit des häufigsten Elements im Universum. Ein Highlight aus dem Jahr 2008 war das Aufspüren des damals entferntesten

Wassers im ganzen Universum, in einem Sternsystem (Galaxie), das so weit entfernt ist, dass selbst das Licht oder die Radiostrahlung von dieser Galaxie mehr als 11 Milliarden Jahre unterwegs war, bevor sie die Erde und damit auch das Radioteleskop Effelsberg überhaupt erreicht hat.



Abb. 9: Sonderbriefmarke „50 Jahre 100m-Radioteleskop Effelsberg“ vom 1. April 2021 (Herausgeber: BMF. Gestaltung: Michael Menge, Duisburg.).

Das Radioteleskop Effelsberg wird 50 Jahre alt (Einweihung am 12. Mai 1971):
<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/mitteilungen/2021/7>

Das Radioteleskop Effelsberg wird 50 Jahre alt (Ausgabe einer Sonderbriefmarke zum 50jährigen Bestehen):
<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/mitteilungen/2021/3>

Welche Empfänger werden am Teleskop betrieben?

Es ist eine ganze Reihe von Empfängern (zur Zeit über 20), die an zwei verschiedenen Stellen am Radioteleskop Effelsberg zum Einsatz kommen und einen Wellenlängenbereich von 1 m bis 3,5 mm abdecken (das entspricht Radiofrequenzen zwischen 300 Megahertz und fast 100 Gigahertz).

Durch den Vergleich der Messergebnisse bei unterschiedlichen Frequenzen erhalten die Forscherinnen und Forscher Informationen über die Art der Radiostrahlung von den untersuchten Himmelsobjekten, ob es sich nun Sternentstehungsgebiete in unserer Heimatgalaxie, der Milchstraße handelt, oder die Überreste gewaltiger Sternexplosionen (Supernovae), die das Leben von ganz schweren oder massereichen Sternen beenden. Aber vielleicht sind es auch Radiosignale aus noch viel größeren Entfernungen von Millionen oder gar Milliarden von Lichtjahren, aus denen die energiereiche Strahlung aus den Zentren aktiver Galaxien im direkten Bereich ihrer zentralen supermassereichen Schwarzen Löcher die Erde erreicht.



Abb. 10: *Spiegeloberfläche des Radioteleskops Effelsberg, zusammengesetzt aus 2360 Einzelteilen (den sogenannten Paneelen) mit insgesamt über 9000 Quadratmeter Fläche. Von der Schüssel aus führen vier Stützbeine ca. 30 m hoch bis zur Fokuskabine, die sich in waagerechter Position fast 100 m über dem Boden befindet. Dort kommt eine Reihe von Empfängern zum Einsatz. Es ist aber auch möglich, die Radiostrahlung durch einen zweiten Spiegel (Subreflektor von 6,50 m Durchmesser) nochmals umzulenken in die zweite Empfängerkabine im Zentrum des großen Spiegels. (Foto: Norbert Tacke/MPIfR).*

Empfangssysteme (Schülerpraktikumsprojekt von Daniel Verscharen, Januar 2002)

https://www.mpifr-bonn.mpg.de/412729/daniel_verscharen

Receivers for the Effelsberg 100-m Telescope (komplette Empfängerliste; nur für Fachleute!)

https://eff100mwiki.mpifr-bonn.mpg.de/doku.php?id=information_for_astronomers:rx_list

Wie lange dauerte der Bau?

Es hat 1318 Tage oder gut dreieinhalb Jahre gedauert, das Radioteleskop Effelsberg aufzubauen, vom ersten Spatenstich im Jahr 1967 bis zur feierlichen Einweihung am 12. Mai 1971. Der „Baufilm“, der an einer Stele vor dem Besucherpavillon am Radioteleskop jederzeit per Touchpanel gestartet werden kann, zeigt Filmaufnahmen vom Bau des Teleskops, von der Arbeit an den Fundamenten bis zur Montage der Spiegeloberfläche, wobei zuletzt ein riesiger Kran von 130 m Höhe zum Einsatz kam.

Der „Zeitreiseweg“ ist ein Rundweg, der auf gut 5 km Länge um das Radioteleskop herumführt (Start/Ziel am Besucherpavillon). Er beschreibt auf 20 Informationstafeln die inzwischen über 50jährige Erfolgsgeschichte des Teleskops, mit einigen Highlights aus dem Forschungsbetrieb, aber auch technischen Entwicklungen im Lauf der Jahre.

Die ersten 1318 Tage (Baufilm Radioteleskop Effelsberg):

<https://www.youtube.com/watch?v=2Xf2ZqtI6oM>

Zeitreiseweg am Radioteleskop Effelsberg (Stationen aus der über 50jährigen Erfolgsgeschichte):

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/effelsberg/besucher/zeitreiseweg>

Wie groß ist das Radioteleskop?

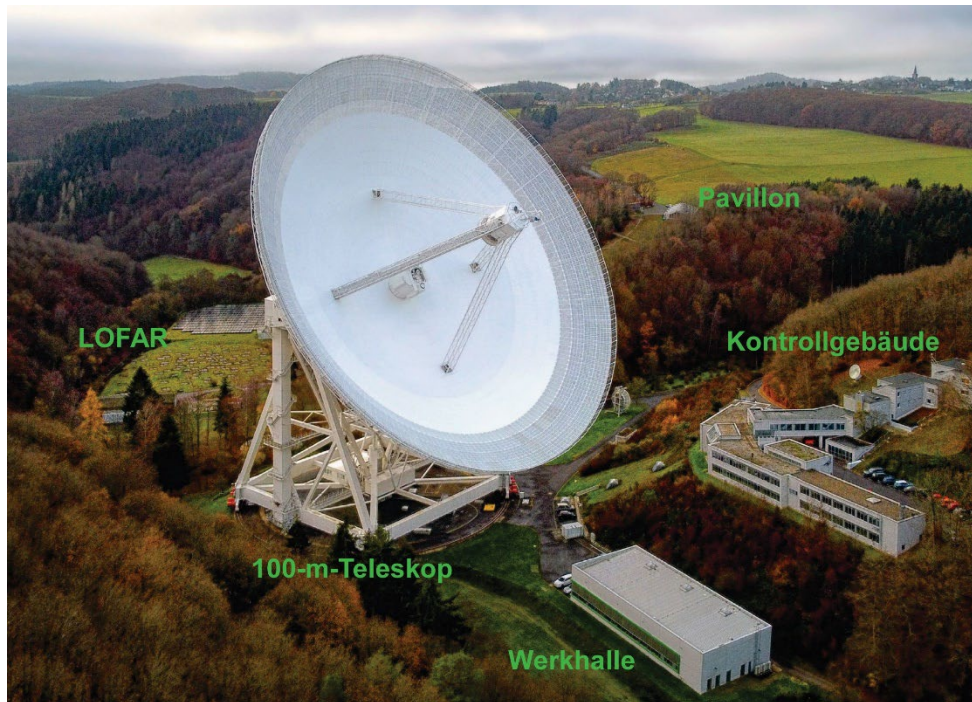


Abb. 11: Das Bild zeigt das Gelände des Radio-Observatoriums Effelsberg mit dem 100-m-Teleskop, der Effelsbergstation des europäischen LOFAR-Teleskopnetzwerks, dem Observatoriumsgebäude mit Steuerraum, der Werkhalle im Vordergrund und dem Besucherpavillon hinten rechts (Foto: Norbert Tacke/MPIfR).

Das Radioteleskop Effelsberg hat einen Durchmesser von 100 Metern. Die Oberfläche des Parabolspiegels („Schüssel“) ist mit mehr als 9000 Quadratmetern größer als ein Fußballfeld, und es ist ein Gewicht von mehr als 3000 Tonnen, das sich millimetergenau auf einer kreisförmigen Schiene von 64 Metern Durchmesser bewegt. Sechzehn Antiribsmotoren von jeweils 17,5 kW oder 23 PS Leistung bewegen das Teleskop auf der Schiene, mit vier gleichstarken weiteren Motoren kann die Schüssel um bis zu 90 Grad gekippt werden, von waagerechter bis fast in senkrechte Position.

Das Radioteleskop in Effelsberg – Der Blick hinter die Kulissen (Sternstunde: Paul Hombach im Gespräch mit Norbert Junkes):

<https://www.youtube.com/watch?v=2Xf2ZqtI6oM>

Mit Ewan am Radioteleskop (#MINTmagie mittendrin, Folge 1):

<https://www.youtube.com/watch?v=lbKn67-zYIM>

Was kostet der Betrieb am Tag?

Eine Stunde Messbetrieb mit dem 100-m-Radioteleskop, bezogen auf das ganze Jahr, liegt bei ungefähr 400 Euro. Da das Teleskop rund um die Uhr im Einsatz ist, entweder für astronomische Messprogramme oder für die erforderlichen Wartungszeiten, käme also ein Tagesbetrag von knapp 10.000 Euro für eine Zeit von 24 Stunden heraus.

Eine interessante Zahl in diesem Zusammenhang sind die Gesamtkosten für den Bau des Radioteleskops vor über 50 Jahren. Das waren seinerzeit 34 Millionen DM (zu der Zeit war die Währung in der Bundesrepublik Deutschland die Deutsche Mark (DM), der Euro als europäische Gemeinschaftswährung kam erst später).

Anfang der 2000er Jahre haben wir das Ganze mal in Euro umgerechnet, und den Preisanstieg durch Inflation mit eingerechnet. Damit ergab sich ein Betrag von ca. 60 Millionen Euro. Mit diesem Betrag war das Teleskop genauso teuer wie der zu dieser Zeit zweitbeste Fußballspieler von Real Madrid (die Ablösesumme von Luis Figo). Herr Figo ist inzwischen längst in Rente, während das Teleskop in Effelsberg immer noch in der Champions League von Radioteleskopen mitspielt.

Mitarbeiter am Radioteleskop Effelsberg

Wie viele Mitarbeiter gibt es?

Am Radioobservatorium Effelsberg sind insgesamt ca. 40 Mitarbeiter beschäftigt. Es ist die Außenstelle des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn, in dem mehr als 300 Mitarbeiter zu finden sind. Neben der Außenstelle Effelsberg betreibt das Institut mit APEX (dem „Atacama Pathfinder Experiment“) auch noch ein weiteres Radioteleskop an einem ganz besonderen Standort: in Chile, in der Atacamawüste, auf einer Höhe von 5100 m über dem Meeresspiegel. Das APEX-Teleskop wird im Schülerpraktikumsprojekt von Inka Hammer beschrieben.

Radioteleskope für Wellenlängen vom Zentimeter- bis zum Submillimeterbereich

(Schülerpraktikumsprojekt von Inka Hammer aus dem Jahr 2004):

https://www.mpifr-bonn.mpg.de/412834/inka_hammer

Welche Aufgaben / Jobs haben sie?

Die Mitarbeiter am Radio-Observatorium Effelsberg arbeiten in einer Reihe von unterschiedlichen Betriebsgruppen. Es gibt eine mechanische Betriebsgruppe mit Werkstatt, zu deren Aufgaben auch die Koordination der jährlich im Sommer stattfindenden Korrosionsschutzarbeiten gehört. Dann sind für ca. acht Wochen tagsüber die Maler am Teleskop, zum Teil mit Autokränen in sehr luftiger Höhe von 70 bis 80 m über dem Boden. Die elektrische Betriebsgruppe ist verantwortlich für die Stromversorgung und Kabelverlegung am Teleskop. Es sind zwei verschiedene Stromkreise und zusätzlich noch ein Dieselgenerator, der das Teleskop bei im Notfall bei Stromausfall immer noch in eine sichere Position bringen kann.



Abb. 12: Das Bild zeigt den Steuerraum des Radio-Observatoriums Effelsberg. Von dort aus werden die Messungen mit dem 100-m-Teleskop gestartet und überwacht. Das ist der Arbeitsplatz des Operators, der das Radioteleskop steuert und der auch für die Sicherheit des Teleskops (z.B. bei Sturm, Gewitter oder Schneefall) verantwortlich ist. Die Operateure am Radioteleskop Effelsberg arbeiten im Drei-Schicht-Betrieb von jeweils acht Stunden Dauer rund um die Uhr. (Foto: Norbert Tacke/MPIfR).

Die Mitarbeiter der Systemgruppe kümmern sich um Empfängerwechsel und die Wartung der Empfangssysteme; sie sind auch recht häufig in der Fokuskabine ganz oben an der Spitze der vier Stützbeine zu finden. Spektrummanagement, Reinigungskräfte, Verwaltung und schließlich als größte Einzelgruppe die Operateure, die im Dreischichtbetrieb rund um die Uhr arbeiten. Der diensthabende Operateur ist dann jeweils für die Koordination der Arbeiten am Teleskop und vor allem auch für die Sicherheit des Radioteleskops zuständig.