

Fragen zum Radioteleskop Effelsberg

Diese Fragen wurden im Vorfeld einer Physik-Exkursion des Heinrich-Heine-Gymnasiums Köln zum Radioteleskop Effelsberg im Februar 2016 von den Exkursionsteilnehmern (Einführungsphase Physikkurse 2015/2016) gestellt und von Norbert Junkes, Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) beantwortet.



Abb. 1: *Besucherpavillon am Radioteleskop Effelsberg (Foto: N. Junkes, MPIfR).*

Wie wichtig ist das Teleskop für die Weltraumforschung und welche Fortschritte hat man durch dieses Teleskop in der Weltraumforschung erzielt?

Es ist eines der größten Radioteleskope überhaupt, und empfängt dadurch auch sehr schwache Radiostrahlung aus großen Entfernungen im Universum. Beim Weltraumteleskop „RadioAstron“ ist das 100m-Teleskop wegen seiner großen Sammelfläche das wichtigste der teilnehmenden bodengebundenen Radioteleskope:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2016/1>

Wie lange hat es gedauert das Teleskop zu bauen?

3,5 Jahre, zwischen 1968 und 1971

Kann das Teleskop über die Milchstraße hinaus "schauen"?

Ja – sogar ziemlich weit über die Grenzen der Milchstraße hinaus. Die RadioAstron-Messungen von BL Lac in 900 Millionen Lichtjahren Entfernung (s.o.) sind ein gutes Beispiel. Bereits für die Kalibrations- oder Eichmessungen mit dem 100-m-Teleskop werden Quasare (aktive Galaxienkerne) in mehreren Milliarden Lichtjahren Entfernung angepeilt. Einige davon, wie 3C 295, 3C 48 und 3C 286 sind auch Stationen auf unserem Galaxienweg in Effelsberg:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/effelsberg/besucher/galaxienweg>

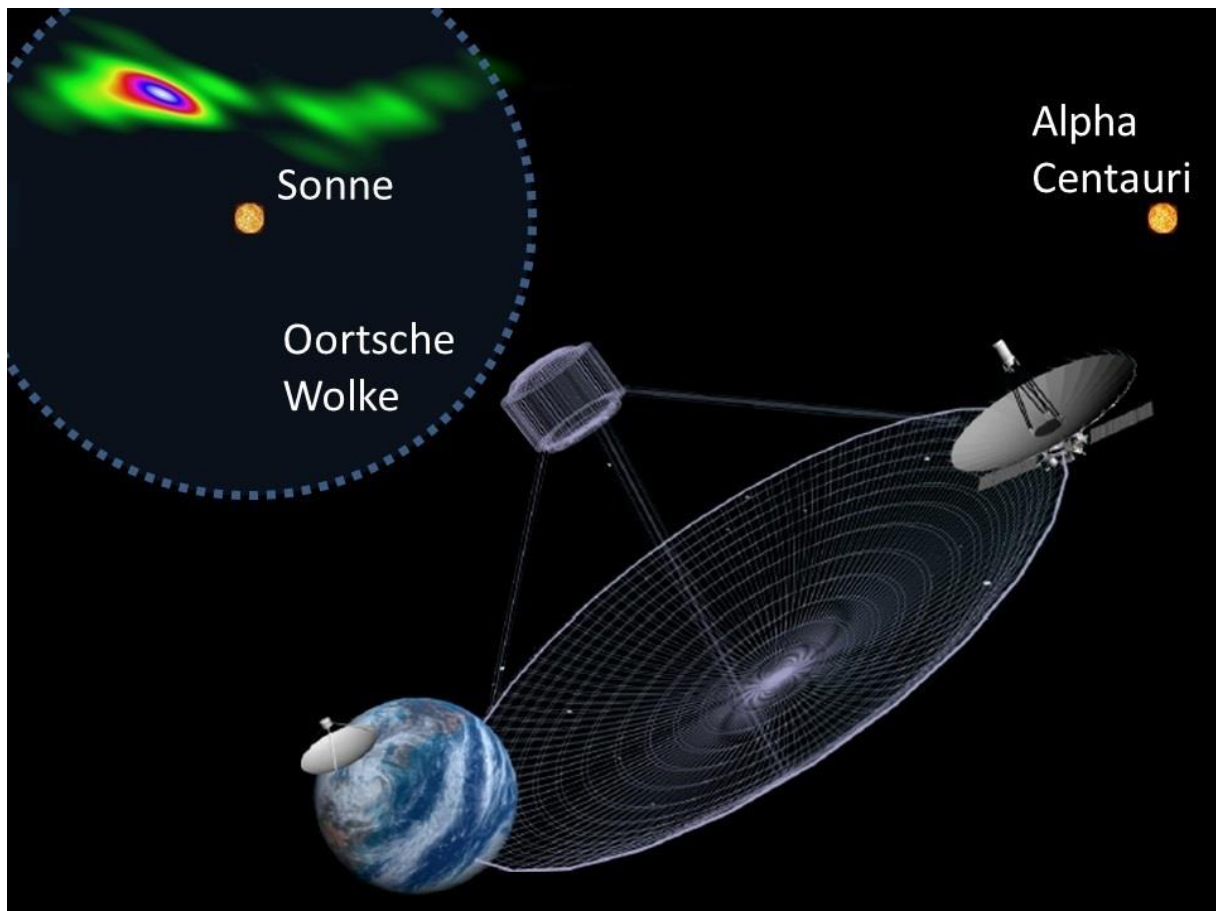


Abb. 2: RadioAstron-Beobachtung der Galaxie BL Lac (PR MPIfR vom 25. Januar 2016).

Wie weit kann man mit dem Teleskop schauen?

Bis zum „Rand des Universums“. Mit dem Radioteleskop Effelsberg sind Quellen mit sehr starker Radiostrahlung auch bei sehr hohen Rotverschiebungen, d.h. großen Entfernungen beobachtet worden. Die letzte Station des Galaxienwegs (Link s.o.), die Galaxie J1148+5251 hat eine Rotverschiebung von ca. 6,5; das entspricht einer (Lichtlaufzeit-) Entfernung von 12,85 Milliarden Lichtjahren. Die Strahlung kommt also aus einer Zeit von weniger als 1 Milliarde Jahren nach dem Urknall.

In welchen Frequenzbereichen arbeitet das Teleskop und was genau es alles aufzeichnen kann bzw. wo die Grenze des Teleskopes liegt?

Der Frequenzbereich liegt zwischen 300 MHz und 96 GHz (vgl. Empfängerliste):

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

Das entspricht Wellenlängen zwischen 1 m und 3,5 mm. Für Radiostrahlung von 96 GHz ist die Atmosphäre nur noch bei extrem gutem Wetter (klare Sicht, geringe Wassersäule) für den Standort des 100-m-Teleskops (320m über NN) durchlässig.

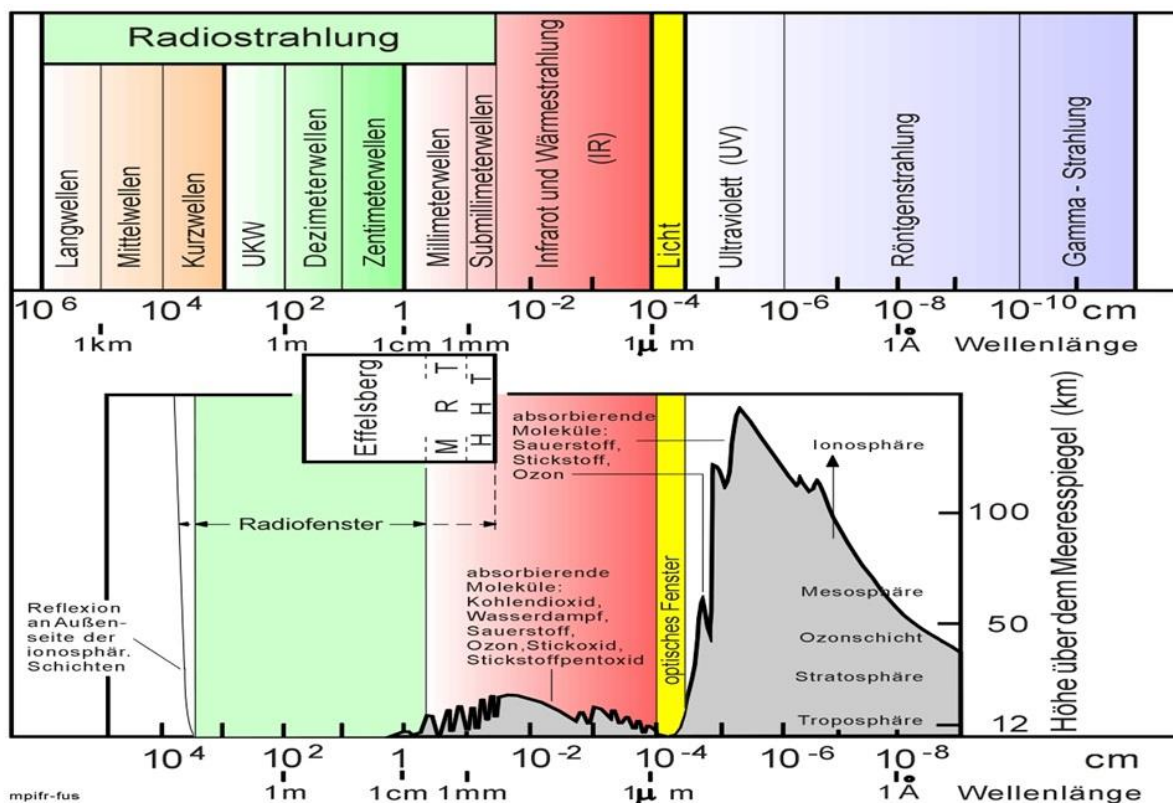


Abb. 3: Spektrum elektromagnetischer Strahlung von Radio- bis Gammawellenlängen. Der Arbeitsbereich des Radioteleskops Effelsberg liegt bei Wellenlängen zwischen 1 m und 3,5 mm (Bild: MPIfR).

Wie genau funktioniert die Arbeit mit dem Teleskop?

Der Parabolspiegel von 100 m Durchmesser lenkt die Radiowellen um; im Brennpunkt (Primär- oder Sekundärfokus) sitzen Empfangssysteme, die die Radiowellen aufnehmen, verstärken und zur Weiterverarbeitung über 300 m Kabelstrecke zum Kontrollzentrum des Radio-Observatoriums leiten:

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

Warum wurde dieses Teleskop errichtet?

Um das Weltall im Frequenzbereich der Radiowellen zu untersuchen. Radiostrahlung ermöglicht einen Blick ins kalte Universum, also nicht so sehr die Sterne selbst, sondern vielmehr das „kalte“ Material zwischen den Sterne – Sternentstehungsgebiete, oder auch Überreste von gewaltigen Supernova-Explosionen:

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412938/nico_lengauer

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict_hoeger.pdf

Wie teuer war es das Teleskop zu bauen?

Nach damaligem Geld 34 Millionen DM; das wären nach heutigem Geld ungefähr 100 Millionen Euro. Und damit ist es genauso teuer wie der teuerste Fußballspieler von Real Madrid (Gareth Bale oder Cristiano Ronaldo). Nicht wirklich teuer für so ein großes Teleskop mit 100 m Durchmesser, 3200 Tonnen schwer und seit über 40 Jahren erfolgreich im Einsatz.

Wie könnte man das Teleskop noch verbessern oder was ist schon nicht mehr ausbaufähig?

Es wurde in den inzwischen 45 Betriebsjahren ständig verbessert – ein großer Umbau betraf z.B. den neuen Subreflektor im Jahr 2006, durch den das Teleskop und der Betrieb (Umschalten zwischen verschiedenen Empfängern) noch vielfältiger wurde:

<http://www.ingenieur.de/Themen/Forschung/Die-grosse-Schuessel-besser>

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/219149/jubilee?seite=2>

Wie unterscheidet sich das Effelsberg Teleskop von anderen Teleskopen?

Unter den großen Radioteleskopen der Welt ist es das einzige, das nach dem Prinzip der „homologen Verformung“ gebaut wurde:

<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/wie-entwirft-man-ein-radioteleskop/1064254>

Hans-Jürgen Kärcher beschreibt das in seinem Artikel für „Sterne und Weltraum“ – und nur dadurch war es möglich, einen Spiegel von 100 m Durchmesser so genau zu konstruieren, dass man ihn bis 3,5 mm Grenzwellenlänge (s.o.) einsetzen kann.

Die Tragestruktur des Spiegels ist derart aufgebaut, dass er bei Verformungen, sei es durch Wind, Temperatur oder auch Schwerkraft die Form eines Paraboloids trotzdem auf weniger als 0,5 Millimeter genau einhält.

Wie lang braucht man um das Teleskop zu säubern?

Das macht der Regen – mit jeweils etwas Farbe werden auch Schmutzpartikel mit abgewaschen. Die Farbe muss allerdings in einem langjährigen Prozess erneuert werden. Ein kompletter Zyklus der Malerarbeiten dauert über 15 Jahre!



Abb. 4: Radioteleskop Effelsberg und Zugangsweg vom Besucherpavillon zum Aussichtplateau (Foto: N. Junkes, MPIfR).

Könnte man das Teleskop transportieren?

3200 Tonnen – der Hubschrauber und der Kran dafür müssten erst noch gebaut werden. Tatsächlich wurde aber das komplette Teleskop mit seinen über 3000 Tonnen Gewicht im Jahr 1996 um 20 cm angehoben:

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/219149/jubilee?seite=2>

Das war zum Auswechseln der Schiene, die die komplette Last des Teleskops trägt. Die Schiene ist ein Kreisring von 64 m Durchmesser; sie wurde an Ort und Stelle zu einem Stück verschweißt und dann ins Betonlager eingelassen. Dazu musste das Teleskop vorher angehoben werden.

Wer darf es alles benutzen?

Astronomen aus dem In- und Ausland. Das Ganze funktioniert so: man schreibt einen Beobachtungsantrag für das 100-m-Teleskop, ein Gutachtergremium bewertet die Anträge und die besten davon setzen sich durch und erhalten Beobachtungszeit am 100-m-Teleskop. Die aktuelle Aufforderung („Call for Proposals“) für Februar 2016 ist übrigens gerade herausgegangen:

<http://issuu.com/effelsbergnewsletter/docs/ebn-2016jan>

Um wie viel können die Linsen des Teleskops vergrößern?

Das Radioteleskop hat keine Linsen, sondern Spiegel, die die eintreffenden Radiosignale umlenken. Mit dem 100-m-Teleskop alleine kann man gar nicht so stark „vergrößern“ – bei 3 cm Wellenlänge schaut man mit einem Radioteleskop von 100 m Durchmesser zum Beispiel genauso scharf hin wie wir mit unseren Augen (Pupille: 5 mm Durchmesser) im sichtbaren Licht. Mit der neuen RadioAstron-Beobachtung von BL Lac wurde mit Weltraum-VLBI aber in der Tat ein neuer Weltrekord erzielt:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2016/1>

Es wurde eine Winkelauflösung von 21 Mikro-Bogensekunden erreicht. Da man mit bloßem Auge eine Winkelauflösung von ungefähr einer Bogenminute erzielt, entsprechen 21 Mikro-bogensekunden einer fast dreimillionenfachen „Vergrößerung“.

Wurden neue Sterne mit diesem Teleskop entdeckt? Wenn ja, wie viele?

„Neue Sterne“ wären Novae oder gar Supernovae, also gewaltige Sternausbrüche, bei denen die Helligkeit kurzzeitig fast um das Milliardenfache gesteigert werden kann. Die werden meist im optischen in fernen Galaxien entdeckt (Supernova-Suchprogramme). Wenn sie allerdings so tief im Inneren von Staubwolken in einer anderen Galaxie stecken, dass sie im Optischen unsichtbar bleiben, werden sie im Radiobereich als Erstes gesehen.

So geschehen vor einigen Jahren in der Galaxie M82 im Sternbild Großer Bär in ca. 12 Millionen Lichtjahren Entfernung:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2009/6>

Bei den Messungen im weltweiten Netzwerk (VLBI) war Effelsberg beteiligt, und Andreas Brunthaler, ein Kollege aus unserem Institut, war Erstautor der Veröffentlichung.

Auf die nächste Supernova in unserer Milchstraße warten wir aber schon seit über 400 Jahren (Keplers SN 1604 war die letzte). Literarisch ist z.B. der rote Stern Beteigeuze im Orion als Supernova explodiert und wurde am Radioteleskop Effelsberg als erstes beobachtet – siehe Kapitel 2 in Thomas Thiemeyers Buch „Magma“:

http://www.thiemeyer.de/?page_id=347

Welche besonderen Entdeckungen wurden schon mit dem Teleskop gemacht?

Da ist auch einiges auf den Stationen unseres zukünftigen „Zeitreisewegs“ (oder Jubiläumswegs) dargestellt:

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/219149/jubilee?seite=2>

Dazu gehören Magnetfelder in nahen Galaxien (Andromeda aus dem Jahr 2003), Erstentdeckungen von Molekülen wie Wasser und Ammoniak in nahen Galaxien (1977/79), die Kurzzeitvariabilität extragalaktischer Radioquellen in weniger als einem Tag (Intraday Variability, IDV, 1987), die Entdeckung von Präzession in der Rotationsachse eines Pulsars, oder auch der Nachweis von Wasser in der – damaligen – Rekordentfernung von 11 Milliarden Lichtjahren (2008).

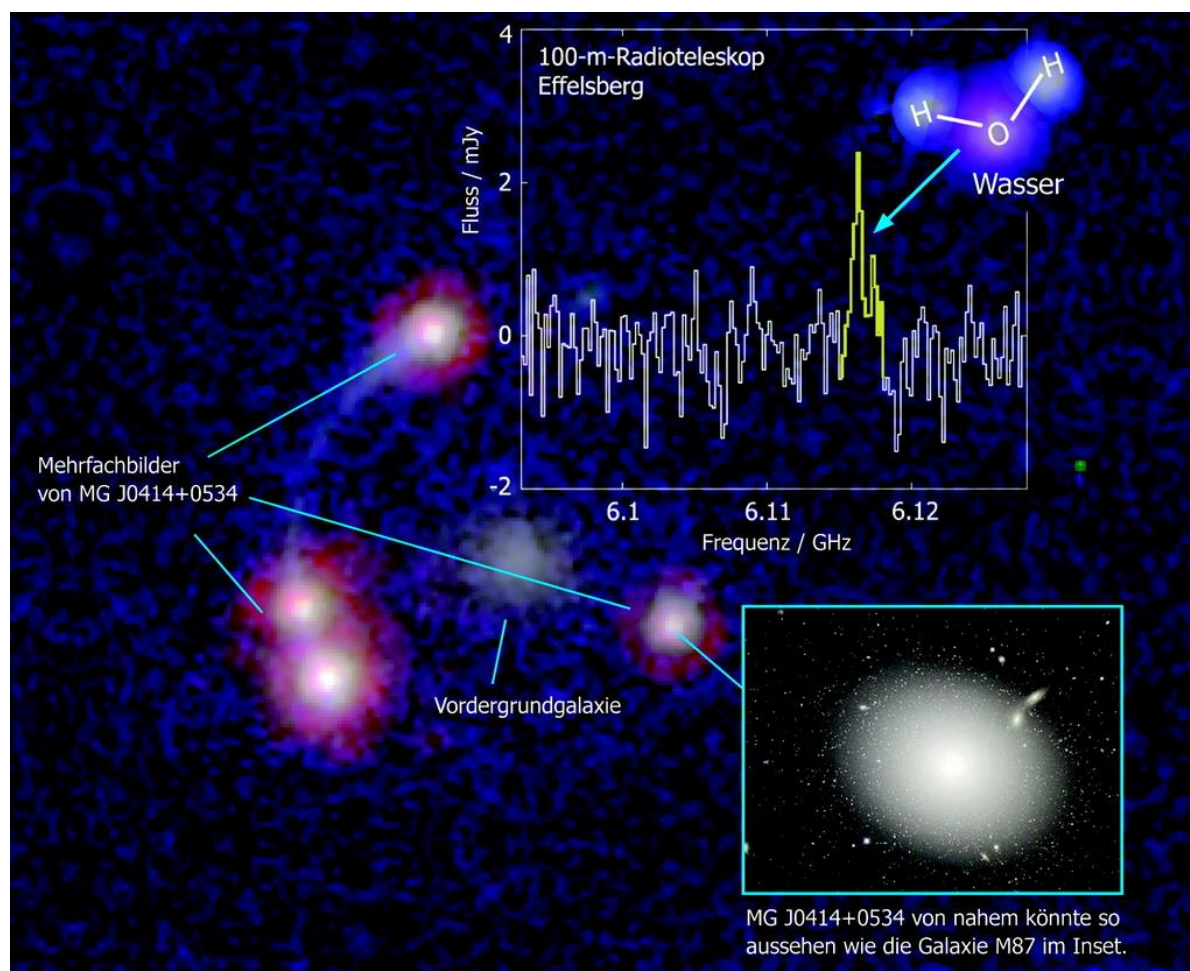


Abb. 5: Nachweis von Wasser (H₂O) in einer Rekordentfernung von 11 Milliarden Lichtjahren (PR MPIfR vom 18. Dezember 2008).

Welchen Durchmesser hat das Teleskop?

Der Durchmesser des Parabolspiegels beträgt 100 m. Bei senkrechter Stellung des Teleskops liegt das Dach der Fokuskabine 98 m über Grund.

Welche Informationen bekommt man durch das Teleskop?

Um das Weltall im Frequenzbereich der Radiowellen zu untersuchen. Radiostrahlung ermöglicht einen Blick ins kalte Universum, also nicht so sehr die Sterne selbst, sondern vielmehr das „kalte“ Material zwischen den Sterne – Sternentstehungsgebiete, oder auch Überreste von gewaltigen Supernova-Explosionen:

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/412938/nico_lengauer

http://www.mpifr-bonn.mpg.de/311266/benedict_hoeger.pdf

(Antwort identisch zu „Warum wurde dieses Teleskop errichtet“)

Wann und wo wurde die parabolisch geformte Metallfläche für die Bündelung der Radiostrahlen am Radioteleskop Effelsberg hergestellt?

Ende der 1960er Jahre in Deutschland. Die beiden Firmen Krupp Antennentechnik in Mülheim an der Ruhr und MAN Antennentechnik in Mainz-Gustavsburg waren die Hauptauftragnehmer:

<http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/wie-entwirft-man-ein-radioteleskop/1064254>

Wie viel Zeit nimmt es in Anspruch das Teleskop einmal um die eigene Achse zu drehen?

Knapp 15 Minuten für eine Drehung von 360 Grad; es sind maximal 480 Grad in Azimut möglich.

Kann man das Alter eines Sterns mit einem Radioteleskop bestimmen oder nur wenn bestimmte Ereignisse eines Sterns auftreten (z.B. Sonneneruption)?

Nein. Die Altersbestimmung bei Sternen ist ein sehr komplexer Prozess, der im wesentlichen über spektroskopische Untersuchungen und Bestimmung der Elementhäufigkeit im Optischen erfolgt. Eine gute Beschreibung dazu findet man z.B in dem Buch „Auf der Suche nach den ältesten Sternen“ der deutschen Astrophysikerin Anna Frebel, die sich damit in ihrer Doktorarbeit befasst hat:

<http://www.spektrum.de/rezension/auf-der-suche-nach-den-aeltesten-sternen/1180774>

Seit wann gibt es dieses Radioteleskop und wie kam es dazu?

Erbaut in den Jahren 1968-1971 als Großprojekt für ein bundesdeutsches Radioteleskop. Zum Betrieb davon wurde auch eigens ein Institut, das Max-Planck-Institut für Radioastronomie, neu gegründet.

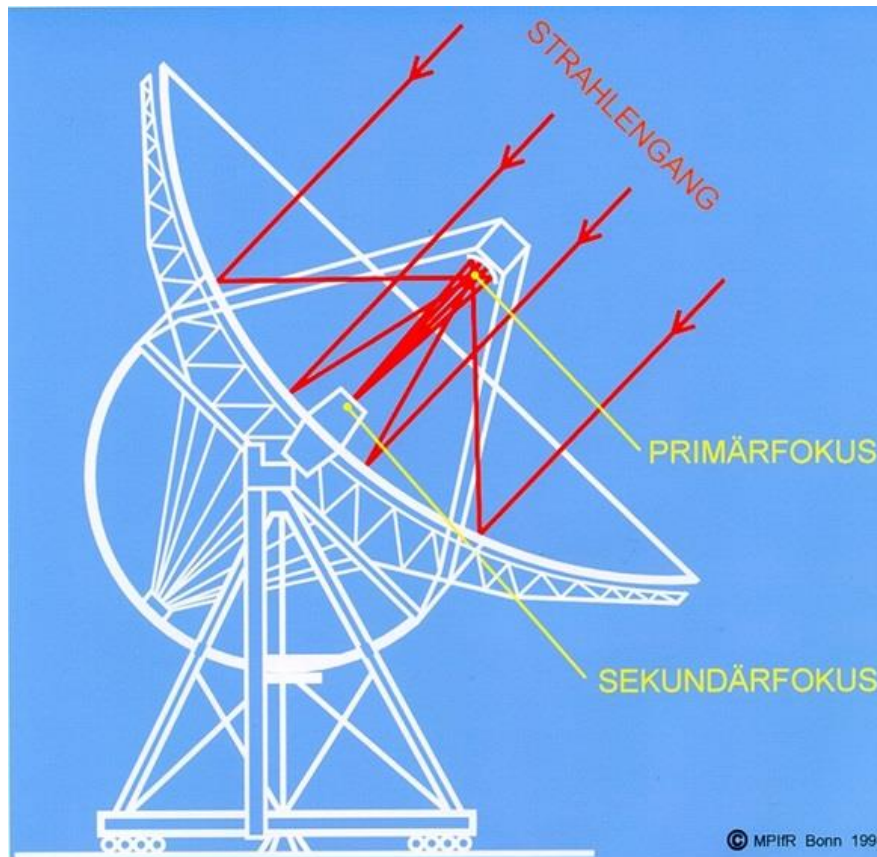


Abb. 6: Strahlengang des 100-m-Radioteleskops mit Empfangssystemen im Primär- und im Sekundärfokus (Bild: MPIfR).

Wie genau funktioniert ein Radioteleskop?

Bei höheren Frequenzen im Gigahertz-Bereich: ein Parabolspiegel lenkt die Radiowellen um; im Brennpunkt des Radioteleskops sitzen Empfangssysteme, die die Radiowellen aufnehmen, verstärken und zur Weiterverarbeitung an einen Computer leiten:

(fast identisch zu „Wie genau funktioniert die Arbeit... s.o.)

Bei niedrigen Frequenzen im Megahertz-Bereich sind es auch klassische Antennen (Dipole), die diese Funktion übernehmen. Das europäische Niederfrequenz-Radioteleskop LOFAR, von dem wir auch eine Station in Effelsberg haben, ist dafür ein gutes Beispiel:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/lofar>

Brauchen wir heutzutage noch Radioteleskope oder sind Satelliten besser? Machen beide das gleiche?

Es ist ein „sowohl als auch“. Das Satelliten-Radioteleskop RadioAstron war mit nur 10 m Spiegeldurchmesser schon schwierig genug in den Erdorbit zu bringen (der Teleskopspiegel war zusammengefaltet in der Ladebucht der Startrakete und hat sich erst im Orbit entfaltet).

Für extrem hohe Winkelauflösung braucht man die Weltraumteleskope im Verbund mit bodengebundenen Radioteleskopen, für Frequenzen der elektromagnetischen Strahlung, die überhaupt nicht oder nur teilweise durch die Erdatmosphäre kommen, braucht man Weltraumteleskope (Röntgenbereich) oder Flugzeug-Observatorien (Infrarotbereich), aber die großen Radioteleskope und Teleskopverbände auf der Erde sind nach wie vor unverzichtbar.



Abb. 7: Das amerikanisch-deutsche Flugzeug-Observatorium SOFIA zur Beobachtung von Infrarotstrahlung in 13-14 km Höhe. Der Spektroskopie-Empfänger GREAT wurde in Deutschland gebaut (MPIfR, Univ. Köln). (Bild: NASA/DLR).

Wie verändert sich die Strahlung mit der Zeit?

Es gibt veränderliche Quellen am Himmel (Sterne, Galaxienkerne etc.), bei denen man zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Strahlung empfängt. Dazu kann Strahlung auch im dazwischenliegenden Material verändert werden (z.B. beim Durchgang durch eine dicke kosmische Staubwolke, oder auch durch die Erdatmosphäre). Das kann sogar dazu führen, dass Strahlung bei bestimmten Wellenlängen (z.B. im Infraroten) gar nicht bis zum Erdboden durchdringt.

Kann man mit dem Radioteleskop die Existenz von Schwarzen Löchern beweisen?

Indirekt ja – von unserem Institut aus gibt es auch eine neue Initiative, das Projekt „BlackHoleCam“, um Schwarze Löcher und speziell das extrem massereiche Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße zu untersuchen:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/mitteilungen/2013/8>

Kann man mit dem Teleskop den Gravitationslinseneffekt beobachten und dadurch evtl. konkrete Schlüsse auf die Existenz Dunkler Materie schließen?

Ja – durch den Gravitationslinseneffekt wurde es z.B. erst möglich, Wasser in einer Rekordentfernung von 11 Milliarden Lichtjahren nachzuweisen:

<http://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressemeldungen/2008/11>

Das Signal des Quasars wurde durch die dazwischenliegende Galaxie als Gravitationslinse erst derart verstärkt, dass es über diese gewaltige Entfernung (nach 15 Stunden Beobachtungs- oder Integrationszeit) für das 100-m-Teleskop sichtbar wurde.

Das sind aber ausgewählte Beobachtungen, so dass (statistische) Schlüsse auf die Existenz und Verteilung der Dunklen Materie immer noch schwierig sind. Die stärksten Hinweise auf deren Existenz sind nach wie vor die Rotationskurven von Galaxien sowie die Bewegungen von Galaxien in Galaxienhaufen.

Man findet immer wieder Angaben (Internet etc.) über das Alter des Universums (Aufgrund der Expansion etc.), doch heißt es eigentlich, dass das Universum unendlich sei oder?

Nein, genau das heißt es nicht! Es gibt eine ganz einfache Beobachtung, die zeigt, dass das Universum nicht unendlich in Raum und Zeit sein kann. Nämlich die Tatsache, dass es nachts dunkel ist. Wäre das Universum unendlich, gäbe es unendlich viele Sterne und Galaxien. Deren Helligkeit nimmt zwar ab (mit dem Quadrat der Entfernung), aber ihre Anzahl nimmt auch zu (ebenfalls mit dem Quadrat der Entfernung). Es müssten also überall, in jede Richtung, Sterne zu sehen sein, und kein dunkler Bereich dazwischen. Das geht unter dem Stichwort „Olbersches Paradoxon“ auf den Bremer Arzt Wilhelm Olbers vor 200 Jahren zurück:

https://de.wikipedia.org/wiki/Olbersches_Paradoxon

Aus der Rotverschiebung von Galaxien und aus der Analyse der kosmischen Hintergrundstrahlung kann man darüber hinaus auf das Alter des Universums zurückschließen. Der aktuelle Bestwert (aus den Daten des europäischen Planck-Satelliten) liegt bei 13,8 Milliarden Jahren.

Wie schafft man es mit Teleskopen die Entfernung zu bestimmten Himmelskörpern bzw. Sternen zu errechnen?

Das Thema „Entfernungen im Universum“ ist ziemlich kompliziert – und könnte eine ganze Vorlesungsreihe für ein Semester abdecken. Je nach Abstand sind es unterschiedliche Methoden – bei nahen Sternen z.B. Trigonometrie mit der Basislinie Erde-Sonne; das reicht bis ungefähr ein paar Hundert Lichtjahre Abstand. Zur Zeit sind es die systematischen Beobachtungen mit dem Positionssatelliten „GAIA“, die dazu eine Fülle von neuen Daten liefern werden. Weiter weg sind es die hellsten Sterne in einer Galaxie, Kugelsternhaufen und Planetarische Nebel sowie auch Supernova-Explosionen in fernen Galaxien, mit denen man weiter kommt. Ein bestimmter Typ Supernovae (SN Ia) dient dabei als „Standardkerze“ für die Ableitung kosmischer Entfernungen in großem Maßstab.

Dieser Typ Supernovae führte übrigens auch zur Entdeckung der „Dunklen Energie“ – nachzulesen beim Physik-Nobelpreis für das Jahr 2011:

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2011/

Kann man mit dem Effelsberg-Teleskop auch Bilder aufnehmen und wenn, reagiert es dann mit einer Art Selbstauslöser auf Sternschnuppen?

Das 100-m-Radioteleskop arbeitet mit Radiowellen, und das sind erstmal keine Bilder, sondern die empfangenen Signale werden erst später am Computer in Bilder umgesetzt. Sternschnuppen strahlen im optischen Bereich; dafür ist eine systematische Kameraüberwachung im sichtbaren Licht viel eher geeignet (und das wird ja auch so gemacht!)

Kann man mit dem Teleskop die Geschwindigkeit verschiedener Objekte erfassen?

Indirekt ja: es gibt den Dopplereffekt, der dazu führt, dass ein Signal auf den Beobachter zu in der Frequenz erhöht und vom Beobachter weg in der Frequenz erniedrigt wird (der Martinshorn Effekt: wenn der Krankenwagen auf den Beobachter zubewegt, wird der Ton höher, und wenn er wieder wegfährt, wird der Ton niedriger). Das macht man sich bei spektroskopischen oder Linienbeobachtungen kosmischer Objekte zunutze: wenn die Gaswolke sich auf das Teleskop zubewegt, wird die Frequenz der Radiostrahlung höher, wenn sie sich wegbewegt niedriger als die zum Vergleich genommene „Laborfrequenz“ des Atoms oder Moleküls. Damit kann man die Bewegungsgeschwindigkeit kosmischer Objekte (aber nur die Komponente in Blickrichtung) bestimmen.

Im Universum befinden sich alle Galaxien und Galaxienhaufen etc. Wie können wir wissen wie groß es wirklich ist und was ist dahinter bzw. war vor Beginn des Universums, insofern es einen Anfang hat? Und wie nennt man das, was davor war?

Das ist ein weiteres Paradoxon: es gibt kein „davor“ oder „außerhalb“. Mit der Entstehung unseres Universums haben auch Raum und Zeit begonnen. Und die beobachtete Rotverschiebung von Galaxien bedeutet NICHT, dass sich Materie IM Raum ausbreitet, sondern es ist der Raum selber, und damit auch das Metermaß, das größer wird. Das ist allerdings etwas, das wir Menschen uns so überhaupt nicht vorstellen können...



Abb. 8: Hauptgebäude des Radio-Observatoriums Effelsberg, fotografiert aus 50 m Höhe. Hinter der großen Frontscheibe befindet sich der Steuerraum für das 100-m-Radioteleskop (Foto: N. Junkes, MPIfR).