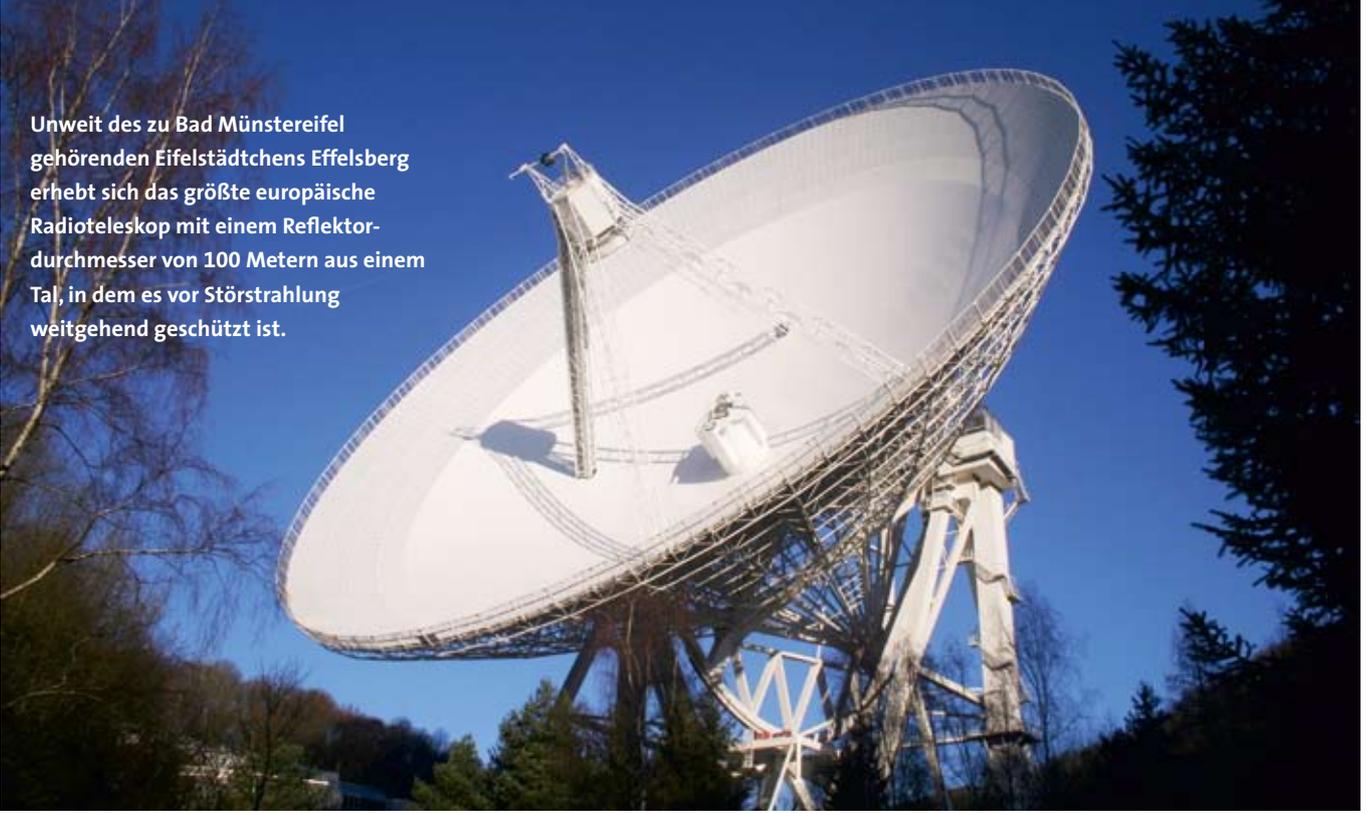


Unweit des zu Bad Münstereifel gehörenden Eifelstädtchens Effelsberg erhebt sich das größte europäische Radioteleskop mit einem Reflektordurchmesser von 100 Metern aus einem Tal, in dem es vor Störstrahlung weitgehend geschützt ist.

Norbert Junkes, MPIfR



Wasser – ein ganz besonderer Stoff im Weltall

Vor 40 Jahren ging das 100-Meter-Radioteleskop bei Effelsberg in der Eifel in Betrieb. Es wird vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie betrieben. Es half vor Jahren bei der Entdeckung des Wassermoleküls jenseits der Galaxis und mit seiner Hilfe fanden Astronomen Wasser in der größten bekannten Entfernung. Jüngst stießen die Bonner Astronomen auch auf Wasserstoffperoxid, einem Schlüsselmolekül zum Verständnis der Abläufe zur Bildung von Wasser.

Das 100-Meter-Radioteleskop bei Effelsberg in der Eifel spielt bei der Erforschung von Wasser im Universum eine wichtige Rolle – und das vor allem, wenn es um seinen Nachweis in sehr großen Entfernungen jenseits unserer Galaxis geht (siehe Bild oben). Im Jahr 1977 entdeckte eine Forschergruppe vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie (MPIfR) in Bonn sowie der Sternwarten in Hamburg und Meudon in Frankreich mit diesem größten Radioteleskop Europas das Wassermolekül erstmals außerhalb unseres Milchstraßensystems. Sie fanden es in der knapp drei Millionen Lichtjahre von uns entfernten Galaxie Messier 33 im Sternbild Dreieck.

Mehr als 20 Jahre später schoben Astronomen diesen Entfernungsrekord, wiederum durch Beobachtungen mit dem 100-Meter-Radioteleskop, um ein Vielfaches weiter hinaus. Diesmal wiesen sie Wasser im Zentralbereich der aktiven Galaxie 3C 403 in rund 750 Millionen Lichtjah-

ren Entfernung nach. Die Molekülstrahlung wird dabei durch den Maser-Effekt (*Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* – das Äquivalent eines Lasers im Bereich von Radiowellen) so weit verstärkt, dass sie sich auch über diese großen Entfernungen noch nachweisen lässt (siehe SuW 2/2009, S. 25). Als Quelle für Wasser-Maser in den weit entfernten Galaxien nehmen die Forscher heißes Gas und Staub an, die sich in einer Materie aufammelnden Scheibe befinden, der Akkretionsscheibe: Diese umrunden die sehr massereichen Schwarzen Löcher im Zentrum der Galaxien in geringem Abstand.

Und schließlich gelang es einer Forschergruppe unter der Leitung der italienischen Astronomin Violette Impellizzeri, die zur Zeit der Veröffentlichung Doktorandin am MPIfR war, ebenfalls mit dem Effelsberger Radioteleskop Wasser in der bisher größten bekannten Entfernung im Universum nachzuweisen (siehe Grafik rechts oben). Das Wassermolekül wurde

im Quasar MGJ0414+0534 bei einer Rotverschiebung von $z = 2,64$ gefunden. Das entspricht einer Lichtlaufzeit von rund 11,1 Milliarden Jahren, also der Rückschau in eine Zeit, als das Universum nur ein Fünftel seines heutigen Alters hatte.

Das Wasser in MGJ0414+0534 ist vermutlich Bestandteil von Gas- und Staubwolken, die auf ein extrem massereiches Schwarzes Loch im Zentrum dieses weit entfernten Quasars einströmen.

Diese Entdeckung von Wasser im frühen Universum wurde dadurch begünstigt, dass der Quasar MGJ0414+0534 am Himmel zufällig in der gleichen Richtung steht wie eine Vordergrundgalaxie in geringerer Entfernung. Diese wirkt wie ein gewaltiges kosmisches Teleskop: Ihre Schwerkraft verstärkt das Licht des Quasars und verzerrt es gleichzeitig derart, dass vier separate Abbildungen des Quasars sichtbar werden. Ohne diesen Gravitationslinseneffekt hätte das 100-Meter-Teleskop volle 580 Tage Messzeit benötigt,

um die Strahlung des Wassermoleküls sichtbar zu machen. So jedoch reichten lediglich 14 Stunden dafür aus.

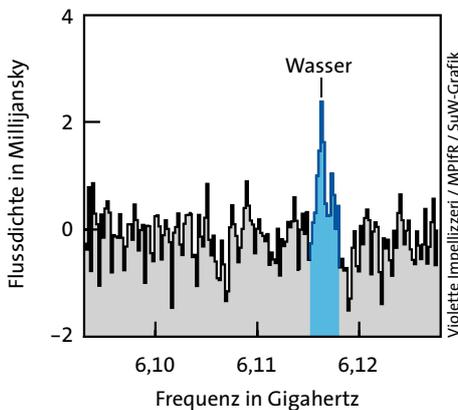
Ein weiterer glücklicher Umstand half beim erfolgreichen Nachweis von Wasser in der Galaxie MG J0414+0534: Die Rotverschiebung dieser Galaxie ist nämlich gerade so groß, dass die Strahlung des Wassermoleküls von der ursprünglichen Frequenz von 22 Gigahertz auf rund sechs Gigahertz verschoben wird, und damit in den Frequenzbereich des am Effelsberger Radioteleskop eingesetzten Sechs-Gigahertz-Empfängers gelangt.

Das Signal entspricht einer Leuchtkraft vom 10 000-fachen der Sonnenleuchtkraft, und das in nur einer einzigen Spektrallinie. Man kennt solche astrophysikalischen Maserquellen aus Gebieten mit heißem dichten Staub und Gas. Der Nachweis des Wassers in MG J0414+0534 zeigte erstmals eine derart dichte Gaswolke in der Frühzeit des Universums. Die Bedingungen zur Bildung und zum Fortbestehen des Wassermoleküls mussten also bereits zu einer Zeit nur 2,5 Milliarden Jahre nach dem Urknall vorgelegen haben.

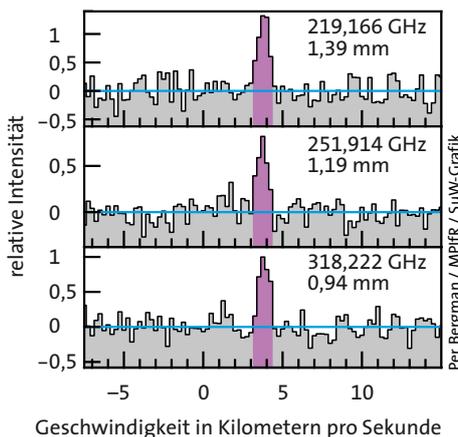
Der Quasar MG J0414+0534 ist übrigens die vorletzte Station des öffentlich zugänglichen Galaxienwegs am Radioteleskop Effelsberg, des dritten und abschließenden der dort angelegten astronomischen Wanderwege zu Entfernungen im Universum. Er erstreckt sich über eine Gesamtlänge von 2,6 Kilometern und stellt kosmische Entfernungen in bis zu 13 Milliarden Lichtjahren Distanz dar (siehe www.mpifr.de/public/galweg.html).

Wasserstoffperoxid

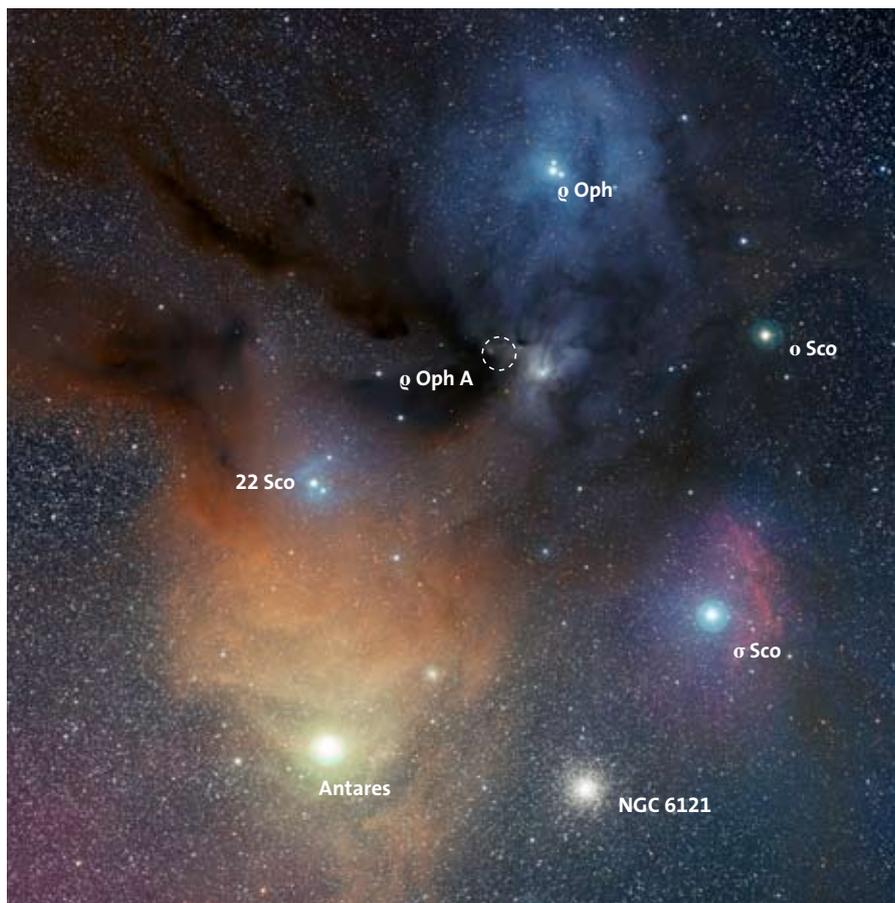
Die Erforschung von Wasser im Universum ist nicht zuletzt für die Entstehung des Wassers auf unserer Erde von Interesse. Die Wissenschaftler nehmen an, dass ein überwiegender Anteil des irdischen Wassers im Weltall entstanden ist, und sie sind sehr daran interessiert zu verstehen, wie dieser Prozess ablief. In diesem Zusammenhang stellt Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ein Schlüssel-molekül sowohl für Astronomen als auch für Chemiker dar. Seine Bildung ist eng mit zwei anderen, sehr vertrauten Molekülen verbunden, nämlich molekularem Sauerstoff (O_2) und Wasser (H_2O). Beide Moleküle wiederum sind unverzichtbare Voraussetzungen für die Entstehung von Leben, zumindest solchem, wie wir es auf der Erde kennen. Zum ersten Mal ließen sich nun Moleküle von Wasserstoffperoxid



Das mit dem 100-Meter-Radioteleskop gewonnene Spektrum der Galaxie MG J0414+0534 zeigt bei 6,115 Gigahertz deutlich die Emissionslinie des Wassermoleküls (blau). Seine Frequenz ist von ursprünglich 22 Gigahertz auf 6,115 Gigahertz verringert – das entspricht der Rotverschiebung $z = 2,48$.



In Richtung des Sternentstehungsgebiets Rho Ophiuchi fanden Radioastronomen erstmals das Wasserstoffperoxid-Molekül H_2O_2 . Im Entdeckungsspektrum sind Spektrallinien bei drei unterschiedlichen Frequenzen, 219, 252 und 318 Gigahertz, eindeutig identifizierbar (violett). Unterhalb der Frequenzangabe ist jeweils die zugehörige Wellenlänge notiert. Entlang der horizontalen Achse sind die Radialgeschwindigkeiten relativ zum Zentrum der untersuchten Stelle bei Rho Ophiuchi A aufgetragen.



Rund 400 Lichtjahre von der Erde entfernt steht die Sternentstehungsregion Rho Ophiuchi im Sternbild Schlangenträger. An der markierten Stelle fanden Astronomen des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie erstmals Moleküle von Wasserstoffperoxid H_2O_2 .



In der extrem trockenen Chajnantor-Ebene in der chilenischen Atacama-Wüste in 5100 Meter Höhe steht APEX, das »Atacama Pathfinder Experiment«. Das Teleskop mit zwölf Meter Durchmesser arbeitet im Bereich der Millimeter- und vor allem Submillimeter-Radiostrahlung.

im interstellaren Raum nachweisen (siehe Grafik auf S. 21). Das Forscherteam um den Schweden Per Bergman und Béregère Parise vom MPIfR identifizierte die charakteristische Signatur von Wasserstoffperoxid im rund 400 Lichtjahre von der Erde entfernten Sternentstehungsgebiet Rho Ophiuchi im Sternbild Schlangenträger (siehe Bild auf S. 21 unten).

Die Forscher nutzten zur Beobachtung das Submillimeterteleskop APEX (*Atacama Pathfinder Experiment*). Das MPIfR betreibt es zusammen mit dem schwedischen Onsala Space Observatory und der Europäischen Südsternwarte ESO in 5100 Meter Höhe in Chile (siehe Bild oben).

Im Sternentstehungsgebiet Rho Ophiuchi befinden sich mit einer Temperatur von rund -250 Grad Celsius extrem kalte und dichte Gas- und Staubwolken, in denen neue Sterne geboren werden. Diese Wolken bestehen überwiegend aus Was-

serstoff und sind versetzt mit Spuren anderer Elemente und Chemikalien. Dadurch stellen sie erstklassige Zielorte bei der Jagd nach Molekülen im interstellaren Raum dar. Der Nachweis von Wasserstoffperoxid ist extrem schwierig, da von Laborexperimenten zwar bekannt ist, bei welcher Wellenlänge dieses Molekül strahlt (rund 22 Gigahertz), aber seine Häufigkeit liegt nur bei einem Zehnmilliardstel der Häufigkeit von Wasserstoffmolekülen. Zur Entdeckung solch geringer Spuren waren daher sehr sorgfältige Messungen erforderlich.

Den gängigen Theorien nach bildet sich Wasserstoffperoxid im Weltraum auf der Oberfläche von Staubkörnern, also sehr feinen Partikeln, die Sand oder Ruß ähneln. Dabei verbindet sich atomarer Wasserstoff (H) mit Sauerstoffmolekülen (O_2). Eine weitere chemische Reaktion des Wasserstoffperoxids mit Wasserstoff kann dann zur Entstehung von Wasser (H_2O)

führen. Allein schon der Nachweis von Wasserstoffperoxid trägt somit zum besseren Verständnis der Entstehung von Wasser im Universum bei. Seine Entdeckung mit APEX dürfte belegen, dass kosmischer Staub die bisher fehlende Zutat in diesem Prozess darstellt.

Zurzeit ist noch nicht bekannt, wie sich einige der wichtigsten irdischen Molekülarten im Weltraum bilden. Béregère Parise beschäftigt sich im Rahmen ihrer Emmy-Noether-Forschungsgruppe zur Sternentstehung und Astrochemie damit, auf welche Weise sich die Prozesse zur Entstehung dieser wichtigen Moleküle miteinander in Verbindung bringen lassen.

Vermutlich werden auch in Zukunft Beobachtungen mit beiden Teleskopen des Bonner Max-Planck-Instituts für Radioastronomie, dem 100-Meter-Radioteleskop in der Eifel und dem Zwölf-Meter-Teleskop APEX in Chile, für die Erforschung solcher Prozesse von Bedeutung sein.

NORBERT JUNKES ist Astrophysiker und Referent für Öffentlichkeitsarbeit am Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn.

40 Jahre Radioteleskop Effelsberg – Tag der offenen Tür

Das 100-Meter-Radioteleskop Effelsberg ist das Hausinstrument des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn. Es lässt sich in einem weiten Wellenlängenbereich zwischen 35 Zentimeter und 3,5 Millimeter einsetzen. Zum Schutz vor Störstrahlung wurde es in einem Tal errichtet, das sich in der Nähe der Ortschaft Bad Münstereifel-Effelsberg befindet, rund 40 Kilometer südwestlich von Bonn. Nach gut dreijähriger Bauzeit nahm das Teleskop im Mai 1971 seinen Beobachtungsbetrieb auf und feiert in diesem Jahr sein 40-jähriges Jubiläum.

Das Max-Planck-Institut für Radioastronomie veranstaltet aus Anlass des Jubiläumsjahrs am Samstag, dem 10. September 2011, von 10 bis 17 Uhr am Standort des Radioteleskops einen Tag der offenen Tür. Besucher sind eingeladen, das Betriebsgelände und das Kontrollzentrum des Radioteleskops zu besichtigen und dürfen das Teleskop bis zur Plattform der Elevationsmotoren in 20 Meter Höhe besteigen.

Weitere Informationen: Radio-Observatorium Effelsberg, Max-Planck-Str. 28, D-53902 Bad Münstereifel, Tel.: 02257 30 1101, <http://www.mpifr.de/public/tdot2011.html>

Literaturhinweise

Churchwell, E. et al.: Detection of H_2O maser emission in the galaxy M 33. In: *Astronomy and Astrophysics* 54, S. 969–971, 1977

Tarchi, A. et al.: Discovery of a luminous water megamaser in the FR II radiogalaxy 3C 403. In: *Astronomy and Astrophysics Letters* 407, S. 33–36, 2003

Impellizzeri, V. et al.: A gravitationally lensed water maser in the early universe. In: *Nature* 456, S. 927–929, 2008

Bergman, P. et al.: Detection of interstellar hydrogen peroxide. In: *Astronomy & Astrophysics Letters* 531, L8, S. 1–4, 2001