

Thüringer Landessternwarte / M. Pluto

Auf dem Gelände der Thüringer Landessternwarte Tautenburg befindet sich eine der LOFAR-Stationen. Nahe dem Karl-Schwarzschild-Observatorium stehen nun 96 Lowband-Antennen (rechts) für den Frequenzbereich von 10 bis 80 Megahertz und weitere 96 Highband-Antennen für den Bereich von 120 bis 240 Megahertz. Die Kuppel im Hintergrund beherbergt das Alfred-Jensch-Teleskop, einen Schmidt-Spiegel mit zwei Meter Öffnung.

LOFAR läuft!

Die über mehrere Länder verteilte Teleskopanlage LOFAR zur Untersuchung des Radiohimmels bei Wellenlängen von zwischen 1 und 30 Meter erreicht mit Hilfe eines in Echtzeit arbeitenden Supercomputers die Auflösung optischer Teleskope und wird zehnmal so viele Radioquellen finden wie bisher bekannt sind.

Das Low Frequency Array (LOFAR) nimmt Gestalt an: Bis April 2010 wurden zwanzig Stationen vollständig aufgebaut und in technischer Hinsicht abgenommen. Sie befinden sich in den Niederlanden und in Deutschland. Effelsberg und Tautenburg sind die beiden deutschen Standorte (siehe Bild rechts und oben). Seitdem stehen die fertig gestellten Stationen den Astronomen für Testbeobachtungen zur Verfügung. Weitere Stationen sind zurzeit im Bau: In den Niederlanden arbeiten die Astronomen an 16 neuen Anlagen. In Deutschland entsteht eine weitere Station in Unterweilenbach, die das MPI für Astrophysik in Garching betreiben wird, und noch eine in Bornim, die das Astronomische Institut Potsdam baut. Eine Station in Jülich in Zusammenarbeit mit dem John von Neumann Institute for Computing (NIC) soll bis zum Jahresende folgen. Zusätzliche Stationen in Südeing-

land, Mittelfrankreich und Südschweden sind zur Zeit im Bau, weitere sind geplant (siehe Grafik rechts oben).

LOFAR ist ein Radiointerferometer, das im Frequenzbereich von 10 bis 240 Megahertz arbeitet. Dieser Radiofrequenzbereich entspricht Wellenlängen von etwa 30 bis herab zu 1 Meter. Das Qualitätskriterium für Teleskope von 1/40 der Wellenlänge bedeutet für LOFAR, dass der Untergrund für die Antennen auf etwa drei Zentimeter (1/40 von 1,25 Metern) genau planiert und stabil sein muss. Die Kernstationen in den Niederlanden errichten die Betreiber deshalb auf einem künstlichen Hügel mit etwa 300 Meter Durchmesser, dessen frisch aufgeschütteter Boden sich erst noch setzen muss. Die Wellenlänge bestimmt auch den kleinsten auflösbaren Winkel eines Teleskops, es gilt die Faustformel: 1,22 mal Wellenlänge geteilt durch Teleskopöffnung.



Max-Planck-Institut für Radioastronomie

In unmittelbarer Nähe zum 100-Meter-Radioteleskop bei Effelsberg in der Eifel entstand eine zweite LOFAR-Station. Aus luftiger Höhe vom Teleskop herab fällt der Blick auf die Lowband-Antennen im Vordergrund und die dunkle Highband-Antennenfläche im Hintergrund. Die Highband-Antenne besitzt eine Größe von 62 x 62 Metern.



Quer über Europa erstreckt sich das Radioteleskop LOFAR. Kleine Antennenfelder an Standorten in Großbritannien, den Niederlanden, Schweden, Frankreich, Deutschland, Polen, der Ukraine und Italien spannen ein großes Interferometer mit einer Basislänge von mehr als 2000 Kilometern auf. Die ersten Stationen in den Niederlanden und in Deutschland sind nun in Betrieb; die Grafik zeigt alle geplanten Stationen in Europa.

Das Radiobild des gesamten Himmels einer einzelnen LOFAR-Station erreicht zwar nur eine Auflösung von rund drei Grad (siehe Bild rechts unten), benötigt aber kaum eine Minute Messzeit. Soll jedoch die gleiche Auflösung wie bei einem optischen Teleskop mit nur zehn Zentimeter Durchmesser erreicht werden, so muss die effektive Öffnung des Teleskops gigantische 1000 Kilometer betragen. Dies ist nur mit vielen weitaus kleineren Stationen realisierbar, die auf interferometrischem Weg zusammengeschaltet sind. Dieses Prinzip ist nicht neu und wird bei der Interferometrie mit großen Basislängen (englisch: *Very Long Baseline Interferometry*, VLBI) mit mehreren einzelnen weltweit verteilten Radioteleskopen wie zum Beispiel dem von Effelsberg betrieben. LOFAR revolutioniert diese Beobachtungsmethode, indem es die Beobachtungsdaten aller Stationen in Echtzeit mit Hilfe eines Supercomputers verarbeitet. Jede Station sendet über speziell reservierte Leitungen Daten mit einer Rate von drei Gigabit pro Sekunde. Im Rechenzentrum in Groningen werden daraus die Himmelskarten berechnet. Zwischen- und Endprodukte gelangen in ein spezielles Datenarchiv, zu dem das Forschungszentrum Jülich die Speicherkapazität von einem Petabyte (1000 Terabyte) beisteuert, und stehen dann den Astronomen zur Verfügung.

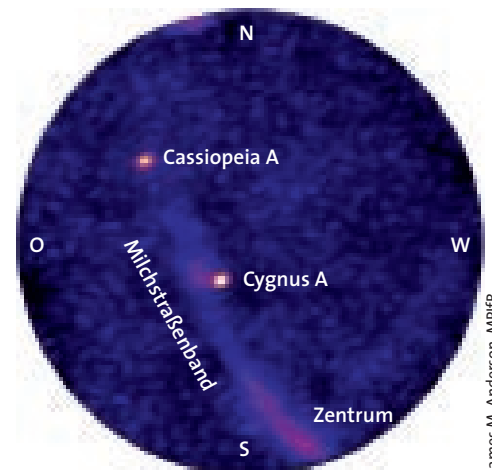
Gleichzeitig mehrere Blickrichtungen

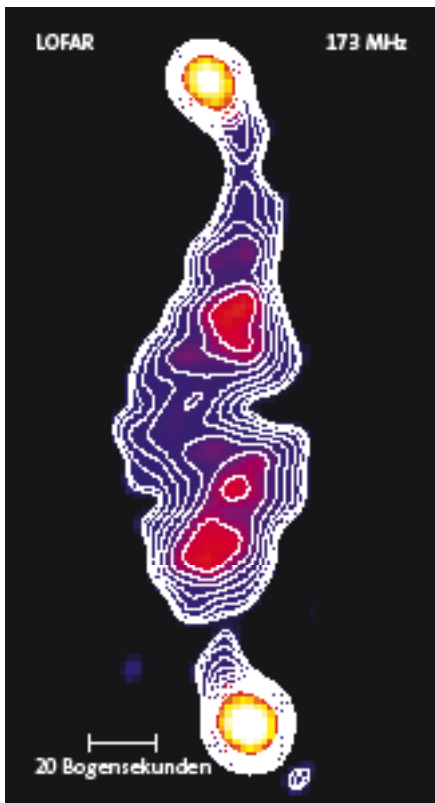
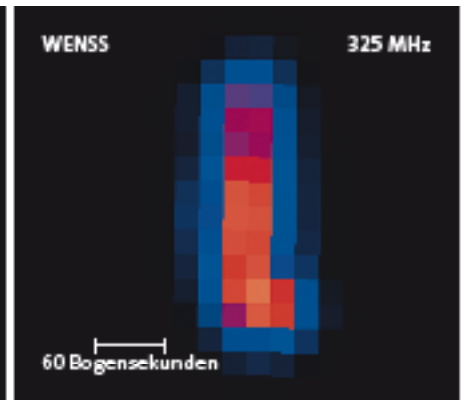
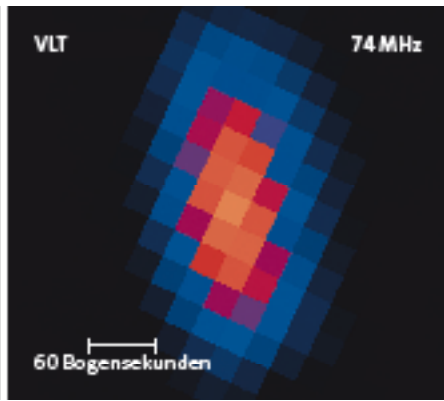
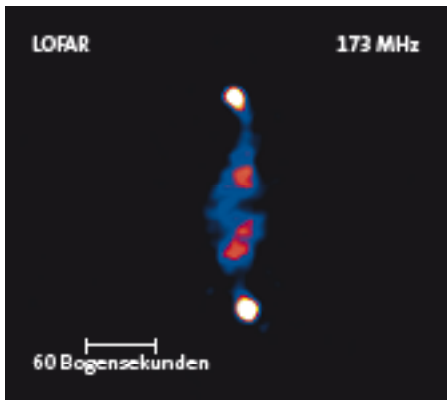
LOFAR ist ein komplett digitales Radiointerferometer. Die einzelnen Stationen sind nämlich keine Parabolantennen, die sich auf ein bestimmtes Himmelsobjekt ausrichten lassen, vielmehr bestehen sie aus vielen vergleichsweise kleinen Einzelantennen. Die Richtwirkung der Antennenfelder erreichen die Astronomen durch digitale Phasenverzögerungen. Die Richtung am Himmel, in die LOFAR schaut, wird also erst bei der Verarbeitung der Antennendaten festgelegt. Da die Anlage gleichzeitig mehrere Datenströme verarbeitet, ist es mit LOFAR möglich, zum gleichen Zeitpunkt in verschiedene Richtungen am Himmel zu schauen. Zudem

Für dieses Radiobild des gesamten Himmels am 10. November 2009 bei der Radiofrequenz 120 Megahertz benötigte die LOFAR-Station Effelsberg lediglich eine Minute Integrationszeit. Es zeigt die Milchstraße als blaues und lilafarbenes Band, ihr Zentrum und die beiden hellsten Radioquellen am Himmel, Cassiopeia A und Cygnus A.

ist LOFAR ein extrem schnelles und flexibles Instrument: Wird kurzfristig ein leuchtkräftiges Objekt registriert oder von einem anderen Teleskop gemeldet, lässt sich eine laufende Beobachtung sofort unterbrechen und LOFAR auf dieses Objekt ausrichten.

LOFAR wird für viele Bereiche der Astrophysik von großer Bedeutung sein. In einem der Schlüsselprojekte werden die Astronomen erforschen, wann und wie schnell die ersten Sterne und Galaxien entstanden. Zu dieser Zeit war der Wasserstoff, der das Universum fast gleichmäßig ausfüllt, neutral, also nicht ionisiert, und sendete Radiostrahlung mit einer Wellenlänge von 21 Zentimetern aus. Die ersten Sterne und Galaxien ionisierten den Was-





Reinout van Weeren, Universität Leiden

Das Bild links unten zeigt die Radiogalaxie 3C61.1 mit der höchsten Auflösung, die bei der Wellenlänge von 173 Megahertz je gewonnen wurde. Es beweist die Leistungsfähigkeit und das große Potenzial von LOFAR. Dem Radiobild sind Linien gleicher Helligkeit überlagert und es weist eine Auflösung von rund 10 x 10 Bogensekunden auf. Dazu war eine Gesamtbeobachtungszeit von 60 Stunden unter Verwendung von insgesamt 20 LOFAR-Stationen erforderlich. Zum direkten Vergleich ist das Bild verkleinert in der oberen Reihe aufgenommen von anderen Radioteleskopen gegenübergestellt: Das Bild in der Mitte entstand bei 74 Megahertz und stammt vom Very Large Array (VLA) in New Mexico, USA. Die Aufnahme rechts bei 325 Megahertz gelang dem niederländischen Westerbork Synthesis Radio Telescope WEST.

serstoff in ihrer Umgebung und erzeugten dabei typische Muster. Diese so genannte Epoche der Reionisation begann vermutlich nur einige hundert Millionen Jahre nach dem Urknall. Die Wellenlänge der Strahlung wurde auf dem Weg zu uns durch die kosmische Expansion vergrößert und sollte heute eine Wellenlänge von etwa zwei Metern aufweisen – genau dafür ist LOFAR konzipiert.

An allen LOFAR-Schlüsselprojekten sind Wissenschaftler deutscher Institute beteiligt. Das Projekt »Radiostrahlung der Sonne und Weltraumwetter« wird vom Astrophysikalischen Institut Potsdam (AIP) geleitet. Das Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn kümmert sich um das Projekt zum Nachweis von kosmischen Magnetfeldern in der Milchstraße, in Galaxien und im intergalaktischen Raum. Hierzu hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) eine eigene

Forschergemeinschaft eingerichtet, an der acht deutsche Institute beteiligt sind.

In dem niedrigen Frequenzbereich, in dem LOFAR arbeitet, existieren bislang nur mäßig gute Karten des Radiohimmels mit verhältnismäßig niedriger Empfindlichkeit und Auflösung. Die Synchrotronemission vieler Radioquellen nimmt zu niedrigen Frequenzen hin stark zu. Synchrotronemission rührt her von elektrischen Ladungen, denen ein Magnetfeld eine Richtungsänderung aufzwingt, wobei die Ladungen Radiowellen ausstrahlen. Auch Grote Reber, einer der Pioniere der Radioastronomie, kam im Jahr 1938 der von Karl Jansky fünf Jahre zuvor entdeckten kosmischen Radiostrahlung erst dann auf die Spur, als er einen Empfänger für niedrige Frequenzen bei 160 Megahertz benutzte. LOFAR führt uns also zu den Wurzeln der Radioastronomie zurück, allerdings mit enorm gesteigerter Empfindlichkeit. Aktu-

ellen Schätzungen zufolge wird LOFAR etwa zehnmal so viele Radioquellen finden wie bisher bekannt sind.

Welche Auflösung mit LOFAR möglich ist, zeigt eine Beobachtung der Radiogalaxie 3C61.1 (siehe die Bilder auf dieser Seite). Ein aktiver Kern in dieser Galaxie sendet durch Magnetfelder gebündelte Strahlen von energiereichen Elektronen und Protonen, so genannte Jets, aus. Im Gegensatz zu anderen Aufnahmen in diesem Frequenzbereich werden in der LOFAR-Aufnahme die beiden so genannten Hot Spots, das sind die Punkte, an denen die Jets von dem umgebenden Medium gebremst werden, sehr gut aufgelöst.

Zur offiziellen Eröffnung von LOFAR am 12. Juni 2010 erwarten wir Wissenschaftler und Politiker aus allen beteiligten Ländern. An diesem Termin wird das Radioteleskop formal den Astronomen zur Nutzung übergeben. Auch wenn zu diesem Zeitpunkt noch nicht alle geplanten Stationen aufgebaut sind und noch nicht jedes Softwaremodul funktionieren wird, so zeigen schon die bisherigen Ergebnisse, dass auch mit Teilen von LOFAR spektakuläre Himmelsaufnahmen möglich sind.

MATTHIAS HOEFT, RAINER BECK

MATTHIAS HOEFT forscht im Team der LOFAR-Station an der Thüringer Landessternwarte Tautenburg, RAINER BECK ist Mitglied im Team der LOFAR-Station des Max-Planck-Instituts für Radioastronomie in Bonn.

Literaturhinweis

Falcke, H., Beck, R.: Per Software zu den Sternen. In: Spektrum der Wissenschaft 7/2008, S. 26–34.

Weblinks zum Thema:

www.astronomie-heute.de/artikel/1030152