

# Neuer Superrechner für die Erde und für Schwarze Löcher

Gemeinsam werten Radioastronomen und Geophysiker digitale Datenströme weltweiter Teleskop-Netzwerke aus. Ein neuer Hochleistungsrechner, der die schärfsten Bilder aus den Kraftwerken von Quasaren am Rand des beobachtbaren Universums liefert, aber auch winzige Änderungen der Umdrehungsgeschwindigkeit unserer Erde oder minimale Schwankungen ihrer Achse erkennbar macht, hat kürzlich im Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn offiziell den Betrieb aufgenommen. „Das lässt“, so hat MPG-Präsident **HUBERT MARKL** in seinem Grußwort geschrieben, „eine neue Epoche für die hochauflösende Radioastronomie in Bonn und für die Forschungen auf dem Gebiet der Geodäsie anbrechen“.



Beim Start des neuen Hochleistungsrechners (von links) Markus Rothacher, München, Dietmar Grünreich, Frankfurt, Hayo Hase, Wetzell, Hermann Seeger, Bad Neuenahr, Richard Wielebinski, Bonn, Anton Zensus, Bonn, und Peter Brosche, Bonn.

**B**ei der neuen Maschine – einem so genannten Korrelator – handelt es sich um einen „festverdrahteten“ Digitalrechner. Er ist 4000mal leistungsfähiger als sein Vorgänger und erreicht im Endausbau eine Rechenleistung von 25 Tausend Milliarden Instruktionen pro Sekunde.

Radioastronomen und Geophysiker werten mit dem Bonner „Mark IV-Korrelator“ digitale Daten aus, die im Rahmen der Radiointerferometrie mit großen Basislängen (englisch: Very Long Baseline Interferometry, VLBI) gesammelt werden. Bei diesem Verfahren beobachten zahlreiche,

über die gesamte Erde verteilte Radioteleskope gleichzeitig ein astronomisches Objekt. An solchen Gemeinschaftsaktionen sind typischerweise acht bis 20 einzelne Antennen beteiligt, die zwischen 100 und 10.000 Kilometer weit voneinander entfernt sein können.

Wegen dieser großen Abstände lassen sich Antennen und Korrelator während der Messungen nicht „kohärent“ (breitbandig) in „Echtzeit“ miteinander verbinden. Deshalb ist jede Station mit einem einheitlichen VLBI-System mit Geräten zur Erfassung, Speicherung, Wiedergabe und Korrelation von Signalströmen mit

hohen Datenraten, also hoher Bandbreite, ausgerüstet.

Der VLBI-Messprozess erfolgt in drei zeitlich getrennten Stufen: Jede VLBI-Station empfängt vollständig unabhängig von den anderen Beobachtern die kosmischen Radiosignale und speichert sie mit hoher Datenrate. Höchststabile Atomuhren (Wasserstoffmaser) an jeder Antenne sorgen für verzerrungsfreien Empfang (eine extreme Form von „HiFi“) und präzise Zeitmarkierung der in digitaler Form auf Magnetband aufgezeichneten Daten.

Nach Abschluss der meist mehrstündigen Messungen werden die

Bis in den Weltraum hinaus mit einer um die Erde kreisenden Antenne haben Radioastronomen ihre Beobachtungen im Rahmen der Radiointerferometrie mit großen Basislängen (VLBI) ausgedehnt. Zusammen mit erdgebundenen VLBI-Netzwerken lässt sich so ein virtuelles Superteleoskop synthetisieren, dessen Durchmesser um ein Vielfaches größer als jener der Erde ist. Wie ein Zoom machen solche VLBI-Messungen von kosmischen Objekten am Rand des Universums, etwa Schwarzen Löchern, Einzelheiten erkennbar, die um so deutlicher ausfallen, je kürzer die untersuchte Wellenlänge ist.



Ein neuer Hochleistungsrechner, der im Rahmen der Radiointerferometrie mit großen Basislängen (VLBI) sowohl für die Astronomie als auch für die Erdvermessung eingesetzt wird, hat im Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Bonn offiziell den Betrieb aufgenommen. Im Bild unten rechts (von links) Wolfgang Zinz, Kuchenheim, Richard Wielebinski, Bonn, Hermann Seeger, Bad Neuenahr, und Dietmar Grünreich, Frankfurt.



Die schärfsten Bilder der Astronomie liefern über die Erde verteilte Radioteleskope bei gleichzeitigen Beobachtungen nach der Auswertung im Korrelator-Rechner.

die Aufzeichnungsraten sogar bis auf eine Milliarde Bit pro Sekunde und mehr steigern. Zum Vergleich: Vier Millionen Bit reichen zur Verschlüsselung von 250 Schreibmaschinenseiten.

Der Korrelator bereitet die von den einzelnen Antennen im globalen VLBI-Netzwerk empfangenen Daten so auf, als wären sie von einem einzigen, virtuellen Riesenteleskop von der Größe der Erde empfangen worden. Damit lassen sich die schärfsten Bilder synthetisieren, die in der Astronomie möglich sind.

Auch von weit entfernten kosmischen Radioquellen, beispielsweise Quasaren, werden so mithilfe der VLBI-Technik Details mit Winkelauflösungen von weniger als einer Tausendstel Bogensekunde unterscheidbar – das entspricht von Deutschland aus gesehen dem Durchmesser einer Pfennigmünze in den USA. Damit bietet sich den Radioastronomen zum Beispiel die Möglichkeit, die unmittelbare Umgebung von Schwarzen Löchern direkt zu beobachten.

Zudem erlaubt es das VLBI-Verfahren, die Position von kompakten Radioquellen im Weltraum unerreicht

genau festzulegen. Diese präzisen Ortsangaben nutzen die Geophysiker als kosmische Referenzpunkte, um auf der Erde beispielsweise die Entfernungen der Kontinente zueinander oder aber auch die Orientierung der Erdachse millimetergenau zu messen. Damit lassen sich Bewegungen von Teilen der Erdkruste, wie Verschiebungen kontinentaler Schollen, ebenso verfolgen wie Änderungen der Achse oder der Drehgeschwindigkeit der Erde und damit der Tageslänge – Variationen, die im Lauf von Tagen, Wochen, Monaten und längeren Zeiträumen stattfinden.

#### WELTWEIT VIER MASCHINEN IN BETRIEB

Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Frankfurt/Main, hat sich an der Finanzierung des jetzt im Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie in Betrieb genommenen „Mark IV-Korrelators“ mit einem Betrag von rund fünf Millionen Mark beteiligt. Der neue Superrechner soll zu etwa gleichen Anteilen vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie und dem Geodätischen Institut der Universität

FOTOS: MPI FÜR RADIOASTRONOMIE

Bonn für astronomische und geophysikalische Messungen eingesetzt werden. Entwickelt hat den Bonner VLBI-Korrelator das Massachusetts Institute of Technology, Beiträge dazu leisteten NASA, USNO (United States Naval Observatory) und das Smithsonian Institute in den USA sowie BKG, JIVE (Joint Institute for VLBI in Europe) und NFRA (Netherlands Foundation for Research in Astronomy) in Europa. Insgesamt vier dieser Maschinen, je zwei in den USA und Europa, sind bisher weltweit in Betrieb.

Seit dem Jahr 1973 nutzen die Bonner Astronomen und Geophysiker gemeinsam mit internationalen Forschungsinstituten das 100 Meter im Durchmesser große Max-Planck-Radioteleskop bei Bad Münstereifel-Effelsberg für astronomische und geodätische VLBI-Messungen. Mittlerweile arbeitet die astronomische VLBI-Gruppe des Bonner Max-Planck-Instituts unter Leitung von

Dr. Anton Zensus, Direktor am Institut, daran, nach dem Zentimeterbereich für VLBI-Messungen zu erschließen. Dafür sind noch einige technische Herausforderungen zu überwinden. Doch die Millimeterwellen-VLBI eröffnet spektakulär genaue Detailbeobachtungen mit Winkelauflösungen von nur wenigen Millionstel Bogensekunden: Damit lässt sich – theoretisch – von der Erde aus ein zehn Zentimeter großer Stein auf dem Mond erkennen.

Mittlerweile haben die Radioastronomen die VLBI-Technik bis in den Weltraum erweitert. 1997 hat Japan eine acht Meter im Durchmesser große Radioantenne mit dem Namen HALCA in eine Bahn um die Erde gebracht. Zusammen mit erdgebundenen VLBI-Netzwerken lässt sich damit die „Synthese“ eines 30.000 Kilometer-Supertelekops verwirklichen. Das ist drei- bis viermal größer als die mit einem VLBI-Verbund auf

der Erde maximal erreichbare virtuelle Antenne.

Auch bei dieser Entwicklung ist das Max-Planck-Institut für Radioastronomie von Anfang an dabei und wird sich bei dem weiteren Ausbau der Weltraum-VLBI verstärkt beteiligen. Das 100-Meter-Radioteleskop des Max-Planck-Instituts spielt dabei eine wichtige Rolle. Mit seiner ungewöhnlich genauen und gleichzeitig großen Sammelfläche gilt es als eines der empfindlichsten Interferometer-Instrumente im internationalen VLBI-Netzwerk – sowohl bei Beobachtungen im Zentimeter- als auch im Millimeter-Wellenlängenbereich. Das trifft auch für das 30-Meter-Radioteleskop in Südspanien bei Granada zu: Zusammen mit spanischen und französischen Partnern ist das Max-Planck-Institut für Radioastronomie an dem vom „Institut für Radioastronomie im Millimeterwellenbereich“ (IRAM) betriebenen weltweit größten Einzelteleskop für Millimeterwellen beteiligt.

#### ÜBERWACHUNG DER ERDROTATION

Der Forschungsschwerpunkt der von Prof. James Campbell geleiteten geodätischen VLBI-Gruppe der Universität Bonn richtet sich auf die regelmäßige Messung und Überwachung der Schwankungen der Erdrotation. Diese Arbeiten sind in die deutsche Forschungsgruppe Satellitengeodäsie (FGS) und in den International VLBI Service (IVS) als Zulieferer zum Internationalen Erdrotationsdienst (IERS) eingebunden.

Den Hauptanteil der geodätischen VLBI-Beobachtungen trägt das 20-Meter-Radioteleskop der Fundamentaltation Wettzell im Bayerischen Wald. Gelegentlich wird auch das 100-Meter-Radioteleskop in Effelsberg mit einbezogen – vor allem, wenn es um das Messen kleinster Bewegungen der Erdkrusten im Bereich des Oberrheingrabens bis zur Niederrheinischen Bucht geht: Dieses Gebiet gilt als Westeuropas tektonische „Schwächezone“ und macht sich mit gelegentlichen Erdbeben bemerkbar. ●