Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 41 (1983)
Heft: 194

Artikel: Das Very Large Array - VLA
Autor: Tarnutzer, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-899220

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Das Very Large Array – VLA

A. TARNUTZER

Depuis sa découverte par Jansky en 1932, la radioastronomie et son instrumentation ont fait des très grands progrès. Le Very Large Array VLA, inauguré le 10 octobre 1980, un an avant le délai, une installation de dimensions gigantesques, a été visité par un groupe de la SAS en mai 1982.

Tout d'abord, quelques principes des radiotéléscopes sont expliqués: les dipoles, les téléscopes individuels, les interféromètres et la synthèse d'antennes.

Les caractéristiques du VLA sont immenses: Dans une plaine sont situés des rails de chemin de fer en forme de Y avec des longueurs de bras de 19 et 21 km. Sur chaque bras sont disposés 9 téléscopes de 25 m de diamètre et d'un poids de 190 tonnes chaque. On peut les déplacer dans quatre positions standardisées par un engin qui pèse lui même 60 tonnes.

Les astronomes ont à leur disposition pour les observations quatre bandes de longueur d'onde entre 23 cm et 1,25 cm, le pouvoir de séparation atteignant celui des plus grands téléscopes optiques. Le poste de commande est très sophistiqué avec deux systèmes d'ordinateurs, ce qui permet un travail rapide et très efficace. Les photos en montrent quelques examples.

1. Einleitung

Anlässlich der SAG-Reise 1982 in die USA hatten wir Gelegenheit, diese neue radioastronomische Grossanlage zu besuchen, die sich recht prosaisch «Sehr grosse Aufstellung» nennt. Sie ist weltweit einfach unter dem Kurzzeichen VLA bekannt.

Fast wäre unser Besuch ins Wasser gefallen. Wir hatten eine schriftliche Bestätigung unseres Besuches für Samstag, den 29. Mai. Kurz vor unserer Abreise erreichte uns ein Telegramm, wonach man uns leider nicht empfangen könne, da das VLA für fünf Tage geschlossen sei. Aber schliesslich klappte es doch noch, und zwar am Freitag, den 28. Mai, einem Feiertag, zusammen mit einer Gruppe von Berufsastronomen, die in Socorro eine Tagung abhielt und an der wir nachher auch teilnehmen durften.

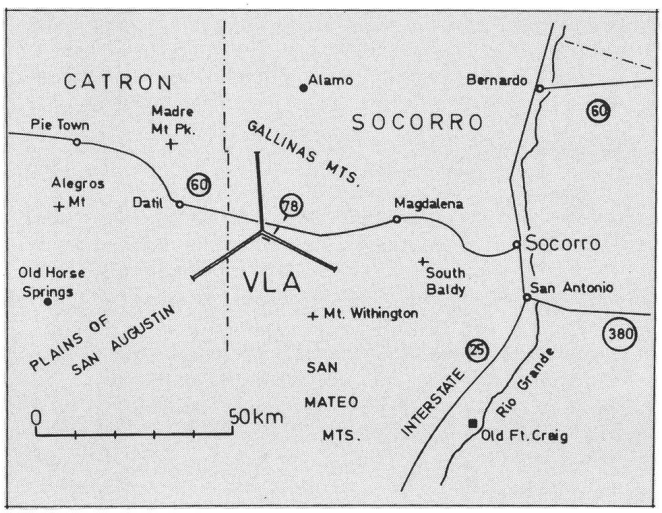


Abb. 1: Die Lage des VLA in New Mexico. Der eingezeichnete Massstab gibt einen Begriff über die Ausdehnung dieser Anlage. Die San Augustin-Ebene liegt rund 2 100 m über Meer.
Auf dem ebenfalls eingezeichneten 3 250 m hohen South Baldy (südöstlich von Magdalena) hatten wir Gelegenheit, das Langmuir Laboratory for Atmospheric Research, eine weltbekannte Gewitterforschungsstation, zu besuchen.

Dieser Bericht beruht auf den uns vom Maintenance Coordinator Mr. JONATHAN SPARGO gegebenen Erläuterungen, stützt sich aber auch auf verschiedene Publikationen ab[1]).

Das VLA liegt im Staate New Mexico, nahe bei der Stadt Socorro, in der San Augustin-Ebene. Diese Ebene ist fast unbewohnt, liegt rund 2 100 m über Meer und ist von schützenden Bergen umgeben. Siehe Abb. 1.

Seit 1932, als JANSKY die Radiostrahlung aus dem Weltall entdeckte, hat sich die Radioastronomie mit Riesenschritten weiter entwickelt. Es wurden, um das Auflösungsvermögen zu verbessern und schwächere Radioquellen zu erforschen, immer grössere Anlagen gebaut, die grösste, voll steuerbare mit einem Durchmesser von 100 m auf dem *Effelsberg* bei Bonn und eine feste, in eine Talmulde eingebaute Anlage mit einem Durchmesser von 300 m in *Arecibo* auf Puerto Rico. Auch wurden schon bald zwei oder mehrere Instrumente zu Interferometern zusammengebaut. Das VLA ist nun wesentlich grösser als alles Bisherige und bildet den vorläufigen Abschluss, wobei natürlich für besondere Aufgaben auch weiterhin einzelne, sehr weit auseinander gelegene Anlagen (z.B. auf verschiedenen Kontinenten) zu Interferometern zusammengeschaltet werden.

2. Einige Grundlagen der Radioteleskope

Radiowellen sind elektromagnetische Wellen, genauso wie die Lichtwellen, jedoch mit wesentlich grösseren Wellenlängen. Unsere Atmosphäre ist durchlässig für Radiowellen im Wellenlängenbereich von etwa 1 mm bis 18 m, oder was dasselbe bedeutet, für die Frequenzen von 300 GHz bis 17 MHz (1 GHz = Gigahertz = 1 Milliarde Hz = 10^9 Hz. 1 Megahertz = 10^6 Hz.)

Der Mensch hat keinen Sinn (oder Sensor) für Radiowellen, wir müssen diese indirekt nachweisen. Man bedient sich dazu einer Antenne, die die Strahlung auffängt und sie einem Empfänger zuführt, der diese verstärkt und sie in eine dem Menschen zugängliche Form verwandelt.

Die einfachste Antenne ist ein Dipol (Abb. 2a). Damit kann man aber nur ganz starke Strahlung empfangen, da er recht unempfindlich ist, denn die auffangende Fläche ist klein. Man kann die Fläche vergrössern und damit auch die Empfindlichkeit, wenn man die Radiostrahlung mit einem Parabolspiegel bündelt und dann im Brennpunkt mit einer Antenne auffängt (Abb. 2b). Man kann auch noch weiter gehen und ein Radioteleskop nach dem Cassegrain-Prinzip bauen (Abb. 2c). Je grösser die Oberfläche des Parabolspiegels ist, um so mehr Radiostrahlung wird eingefangen, um so schwächere Signale können empfangen werden.

Es gibt aber noch einen weiteren entscheidenden Grund, den Durchmesser der Radioteleskope zu vergrössern, nämlich das Auflösungsvermögen. Dieses gibt an, wie nahe sich zwei Quellen aneinander befinden dürfen, wenn sie noch als getrennt wahrgenommen werden sollen. Genau wie bei den

optischen Fernrohren gilt bei den runden Radioteleskopen die Formel

Auflösungsvermögen in Radian =

$$\frac{\text{Wellenlänge } \lambda \text{ der Strahlung}}{\text{Durchmesser des Spiegels}}$$

Dies ergibt für Teleskope von 1 m Durchmesser folgende theoretische Auflösungsvermögen:

λ = 5 000 Å (sichtbares Licht): Auflösungsvermögen rund 0,1″
λ = 5 cm: Auflösungsvermögen rund 3°
λ = 1 m: Auflösungsvermögen rund 57°

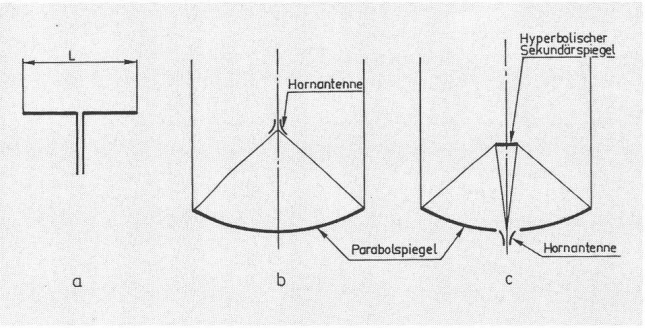


Abb. 2a: Das Dipol. Seine grösste Empfindlichkeit hat es bei der Länge L = λ/2 λ = Wellenlänge

Abb. 2b: Ein Dipol oder eine Hornantenne im Brennpunkt eines Parabolspiegels. Dadurch grössere Auffangfläche für die ankommende Strahlung und somit grössere Empfindlichkeit.

Abb. 2c: Cassegrain-Radioteleskop.

Beim optischen Fernrohr wird das theoretische Auflösungsvermögen wegen der Luftunruhe allerdings nicht erreicht, während die Radioteleskope durch diese nur wenig gestört werden.

Für ein bestimmtes Beobachtungsprogramm ist die Wellenlänge meist vorgegeben und kann somit nicht verändert werden. Will man das Auflösungsvermögen vergrössern, so bleibt nichts anderes übrig, als den Durchmesser des Spiegels zu vergrössern. Dem stehen aber bald technische Schwierigkeiten entgegen: Genau wie bei den optischen Fernrohren darf die Abweichung des Spiegels von seiner theoretischen Form nicht mehr als rund ein Zehntel der Wellenlänge betragen. Einen in alle Richtungen voll steuerbaren Spiegel von 100 m Durchmesser zu bauen, ist schon eine grossartige technische Leistung. Will man damit aber im Wellenlängenbereich von 1 cm beobachten, so darf der Formfehler 1 mm nicht überschreiten. Dies ist bei einem so grossen Spiegel praktisch nicht durchführbar, um so mehr als sämtliche Deformationen durch unterschiedliche Durchbiegungen in den verschiedenen Stellungen des Spiegels, durch Winddruck und Sonneneinstrahlung in diesem Formfehler eingeschlossen sein müssen.

Es gibt aber eine einfache Methode, das Auflösungsvermögen zu verbessern, ohne die Fläche zu vergrössern, nämlich dadurch, dass man den wirksamen Spiegeldurchmesser künstlich vergrössert. Man stellt zwei Spiegel weit auseinander auf, richtet sie auf die gleiche Himmelsgegend und verbindet beide Antennen mit einem gemeinsamen Empfänger. Man erhält so ein *Interferometer,* dessen Auflösungsvermögen demjenigen eines Spiegels entspricht, dessen Durchmesser dem *Abstand* der beiden Spiegel entspricht.

Abb. 3 verdeutlicht die Wirkungsweise des Interferometers. In Abb. 3a sind die beiden Spiegel mit dem Durchmesser D im Abstand E gezeichnet. Eine unendlich weit entfernte Radioquelle Q möge so stehen, dass sein Strahlenbündel aus Richtung g eintrifft: Die Amplituden der die beiden Spiegel treffenden Wellen sind phasengleich und addieren sich. Bewegt sich nun die Radioquelle, bis das Strahlenbündel aus Richtung h kommt, so sieht man, dass die Amplituden der die beiden Spiegel treffenden Wellen in Gegenphase stehen und sich gegenseitig auslöschen. Wird während des Vorüberganges der Radioquelle Q die Intensität der empfangenen Strahlung laufend gemessen, so ergibt sich das in Abb. 3b ausgezogene Diagramm. Der höchste Punkt weist auf die Richtung der Radioquelle hin. Im Vergleich dazu ist gestrichelt das entsprechende Diagramm für einen einzelnen Spiegel angegeben. Der Gewinn an Auflösungsvermögen des Interferometers ist gewaltig!

Das Interferometer erzielt sein volles Auflösungsvermögen aber nur, wenn die Radioquelle und die beiden Spiegel in derselben Ebene liegen. In einer dazu senkrecht stehenden Ebene wirkt es gleich wie ein einzelner Spiegel, da dann die Entfernungen von der Radioquelle zu den beiden Spiegeln gleich lang sind.

Nun kann man die beiden Spiegel auch fahrbar ausführen, auf zwei zueinander senkrecht stehenden Schienensträngen, siehe Abb. 4. Beobachtet man nacheinander in sehr vielen verschiedenen Stellungen der Spiegel, so erhält man verschiedene Interferometer, die verschiedene Interferenzkurven ergeben und die man auf Magnetband aufnehmen kann. Mit Hilfe eines Grossrechners kann man anschliessend diese Interferenzkurven auswerten und erhält so ein Auflösungsvermögen, das demjenigen eines einzigen Spiegels vom Durchmesser E entspricht. Durch die Auswertung erreicht man somit nachträglich eine Art Zusammensetzung der einzelnen Spiegelstellungen (Synthese) zu einem einzelnen grossen Spiegel. Man spricht dann von *Antennen-Synthese.*

3. Das Very Large Array VLA

1961 begann das National Radio Astronomy Observatory NRAO mit den Planungsstudien für ein Radioteleskop, das ähnlich wie bereits in Europa vorhandene mit Antennen-Synthese arbeitet, aber wesentlich mehr leisten sollte. Aus dem daraus resultierenden Pflichtenheft seien hier nur einige der wichtigsten Eigenschaften aufgezählt:

- Das Auflösungsvermögen soll demjenigen der grössten vorhandenen optischen Instrumente entsprechen. So wurde bei der Wellenlänge von 6 cm ein Auflösungsvermögen von 0,6 Winkelsekunden verlangt. Dazu wäre ein voll steuerbarer Spiegel von 21 km Durchmesser nötig, was undurchführbar ist. Es musste also zwangsläufig zur Antennen-Synthese gegriffen werden.
- Der Durchmesser des «Gesichtsfeldes» soll mindestens einige Winkelminuten betragen.
- Der Polarisationsgrad der empfangenen Strahlung soll messbar sein.
- Man soll spektroskopische Beobachtungen machen können, d.h. es soll ein grösserer Bereich von Wellenlängen zur Verfügung stehen.
- Der ganze Himmel bis zu $-20°$ Deklination soll beobachtbar sein.
- Die Beobachtungen sollen in vernünftig kurzer Zeit durchführbar sein.

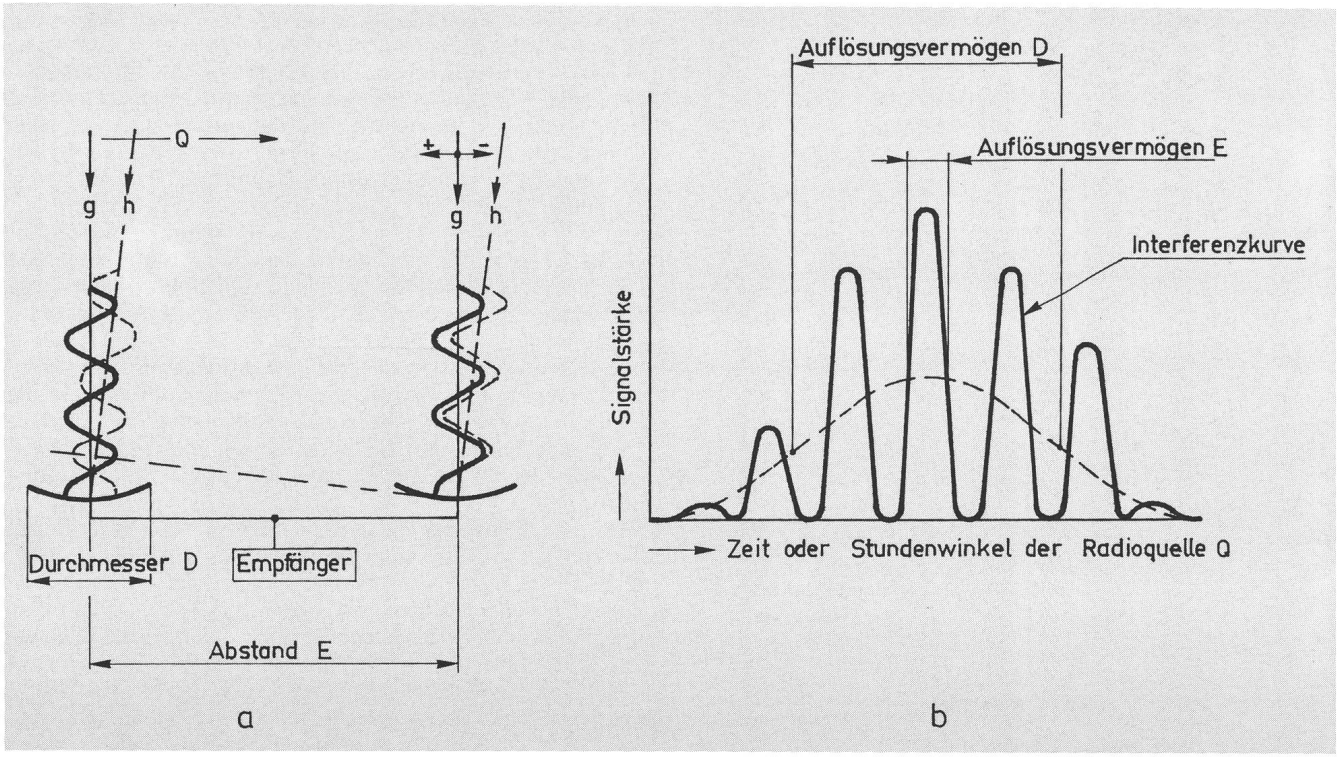


Abb. 3: Das Interferometer.
a Zwei zusammengeschaltete Radioteleskope ergeben ein Interferometer. Aus Richtung «g» ankommende Wellen (voll ausgezogen) summieren sich, da sie bei beiden Teleskopen in ihrem positiven Maximum auftreffen. Aus Richtung «h» ankommende (gestrichelt) löschen sich aus, da die eine in positiver, die andere hingegen in negativer Phase auftrifft.
b Die Signalstärke beim Vorübergang einer Radioquelle Q vor dem Teleskop
———— beim Interferometer
---------- beim Einzelteleskop
Das Auflösungsvermögen beträgt beim - Interferometer: λ/ Abstand der Spiegel E
- Einzelteleskop: λ/ Spiegeldurchmesser D

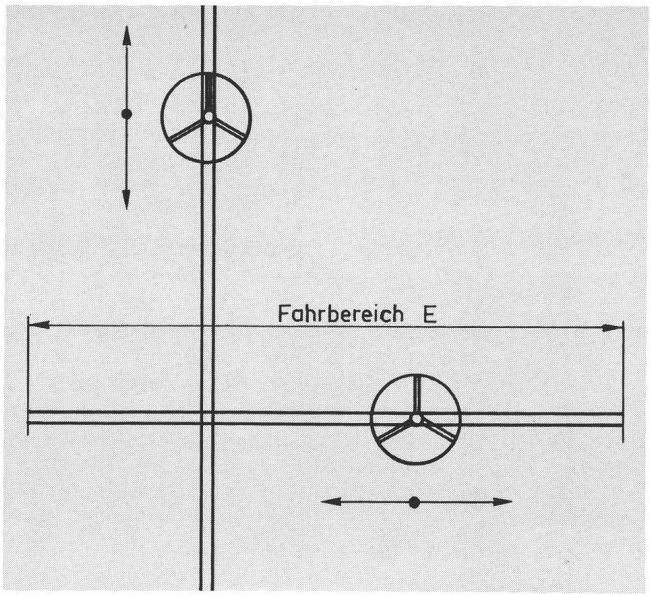


Abb. 4: Antennen-Synthese. Durch mehrfaches Verstellen von zwei Teleskopen werden verschiedene Interferometer gebildet. Die jeweiligen Messresultate werden nachträglich zusammen verarbeitet und ergeben ein Auflösungsvermögen, das einem Spiegel mit Durchmesser E entspricht.

Um diese Bedingungen zu erfüllen, wurde die Anordnung gemäss Abb. 5 gewählt: Drei Schienenstränge gehen vom Zentrum aus unter einem Winkel von je 120°, nach Norden, Südosten und Südwesten und bilden so ein riesiges Y. Die Länge der Stränge beträgt 19 km, 21 km und 21 km. Auf jedem Strang sitzen 9 Radioteleskope von 25 m Durchmesser – im ganzen sind es also 27 Teleskope – so dass durch abwechslungsweises Zusammenschalten von je zwei Teleskopen insgesamt 351 verschiedene Interferometer gebildet werden! Die Drehung der Erde bewirkt auch, dass von einem Punkt im Weltall aus gesehen sich das VLA zu drehen scheint. In 8 bis 12 Stunden wird deshalb von den Spiegeln die in Abb. 5 schattierte Fläche bestrichen. Man hat die Anordnung in Form eines Y mit 27 Spiegeln gewählt, weil dadurch ein optimaler Kompromiss zwischen den Kosten einerseits und kurzen Beobachtungszeiten andererseits erreicht wurde.

1972 wurde ein erster Kredit für die veranschlagten 76 Millionen US $ bewilligt. 1975 kam der erste Spiegel in Einsatz, 1979 der letzte. Die ganze Anlage konnte am 10. Oktober 1980 eingeweiht werden, ein ganzes Jahr vor dem festgesetzten Termin. Die wirklichen Kosten beliefen sich auf 78,578 Millionen $, was trotz der unvorhersehbar hohen Inflation einer Kostenüberschreitung von nur 3,4% entspricht.

Einen Blick vom 3 250 m hohen South Baldy auf das rund 40 km entfernte und 1 100 m tiefer gelegene VLA zeigt Abb. 6.

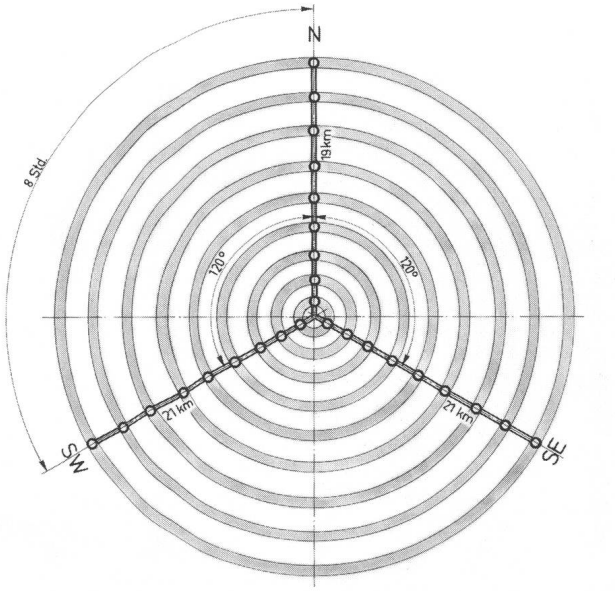


Abb. 5: Die Anordnung des VLA. Drei Schienenstränge von 19 km, 21 km und 21 km Länge sind unter 120° angeordnet. Auf jedem Strang sitzen 9 Radioteleskope, insgesamt also 27.
Die Drehung der Erde bewirkt, dass sich von einem Punkt im All aus gesehen das VLA dreht. In 8 Stunden bestreichen die Spiegel deshalb die dunkel ausgelegten Streifen.

Abb. 6: Blick vom 3 250 m hohen South Baldy (siehe Abb. 1) auf die rund 2 100 m hoch gelegene San Augustin-Ebene. Diese bildete während der Eiszeit den Boden eines kleinen Binnensees, an dessen ehemaligem Ufer Spuren von prähistorischen Indianern gefunden wurden.
In 40 km Entfernung erkennt man die meisten der 27 Radioteleskope (weisse Punkte) des VLA in der Aufstellung A. Um diese in der Reproduktion besser sichtbar zu machen, wurden sie durch Retusche leicht hervorgehoben.
Alle Fotos stammen vom Autor, sofern nichts anderes vermerkt ist.

4. Einige technische Details des VLA

Die drei Schienenstränge bestehen, den zu bewegenden Massen entsprechend, aus je zwei 5,5 m auseinander liegenden Normalspurgleisen. Die Teleskope sind transportierbar und werden über Stumpengleise an ihren vorbestimmten Orten auf je drei Böcken abgestellt. Pro Strang sind 24 Teleskoppositionen vorgesehen, die strategisch so ausgewählt wurden, dass mit einem Minimum an Aufwand ein Maximum an Informationen erhältlich ist. Es stehen den Forschern vier standardisierte Aufstellungen zur Verfügung:

Aufstellung A:
Die Teleskope sind über die ganze Länge der Stränge verteilt. In dieser Aufstellung können kleinflächige, starke Radioquellen mit der grösstmöglichen Auflösung aufgezeichnet werden.
Aufstellung D:
Die kompakteste Aufstellung. Alle Teleskope liegen innerhalb eines Radius von 640 m. Für grossflächige, schwachstrahlende Objekte. Grösste Empfindlichkeit, aber kleinstes Auflösungsvermögen.

Aufstellungen B und C:
Dazwischen liegende Aufstellungen mit 6,4 und 1,9 km Radius.

Die Teleskope haben terrestrische Montierungen (azimutal) und deren vertikale Achsen müssen zueinander parallel stehen. Bei der grossen Ausdehnung des VLA ist aber die Erdkrümmung nicht zu vernachlässigen. Dies wird so gemacht, dass die Vertikalachsen scheinbar um so mehr gegen die Mitte des VLA geneigt sind, je weiter die Teleskope davon entfernt sind. Im Extremfall, bei 21 km, erreicht dieser Neigungswinkel 11 Winkelminuten!

Die San Augustin-Ebene ist nicht topfeben. Es wäre viel zu teuer gewesen, die Auflagepunkte für alle Teleskope an allen möglichen Aufstellungsorten in eine einzige Ebene zu bringen. Man hat sich so beholfen, dass die drei Auflagepunkte aller Aufstellungsorte Ebenen beschreiben, die zueinander parallel sind. Die daraus resultierenden Auswirkungen auf die 351 Interferometer werden elektronisch kompensiert.

Die drei Betonsockel, auf denen die Teleskope ruhen, sind zwei Meter hoch und gehen zum Teil bis 10 m tief in den Boden. Sie sind auch unten miteinander verbunden, so dass sie sich gegebenenfalls alle um den gleichen Betrag senken und so eine unkontrollierte Neigung der Teleskope möglichst vermieden wird.

Jedes Teleskop wiegt 190 Tonnen und ist so gebaut, dass man noch bei Windstärken von 60 km/h beobachten kann. Es widersteht Windstössen von 180 km/h, auch wenn es mit einer 1 cm dicken Eisschicht bedeckt ist.

Es ist ein zusätzliches Teleskop vorhanden, das erlaubt, routinemässig und abwechselnd Unterhaltsarbeiten an allen Teleskopen vorzunehmen. Dies geschieht in einem besonderen Gebäude, das selber 30 m hoch ist, also einem Gebäude von über 10 Stockwerken entspricht! Abb. 7 gibt davon einen guten Eindruck.

Der Transport solch grosser und schwerer Objekte bringt natürlich einige Probleme mit sich.

Die Teleskope müssen von den drei Auflageböcken abgehoben und am neuen Ort wieder abgestellt werden. Dazu dient der Transporter, siehe Abb. 8. Es sind davon zwei vorhanden, jeder wiegt selber 60 Tonnen. Er muss seine Nutzlast in die entsprechenden Stumpengleise fahren und dort auf den drei Böcken abstellen. Weichen von den Hauptgleisen zu diesen Stumpengleisen wären viel zu aufwendig gewesen, da der Transporter ja auf beiden Schienensträngen gleichzeitig fährt. Man löste das Problem so, dass die Stumpengleise senkrecht zu den Hauptgleisen verlegt wurden. Der Transporter fährt an die Kreuzungsstelle und hebt sich und seine Nutzlast, also gesamt 250 Tonnen, mit drei eingebauten hydraulischen Wagenhebern ab. Darauf dreht man die vier

Radsätze um 90° und senkt den Transporter wieder ab. Dieses ganze Manöver dauert rund 15 Minuten. Im Transporter sind drei Kraftaggregate eingebaut für seine eigene Stromversorgung, zum Antrieb der Hydraulikpumpen (Druck 200 bar) für die Wagenheber und die hydraulischen Fahrmotoren sowie zur Aufrechterhaltung der Stromversorgung des transportierten Teleskopes (die Kühlung der Empfänger soll nicht unterbrochen werden, damit sie nachher sofort wieder einsatzbereit sind).

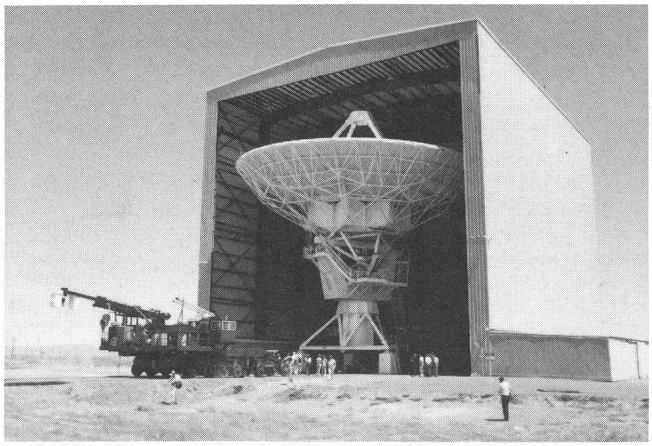


Abb. 7: Das 28. Teleskop im Unterhaltsgebäude. Im Vergleich zu den Teilnehmern unserer Gruppe erfasst man die Grösse des Teleskopes und des 30 m hohen Gebäudes.

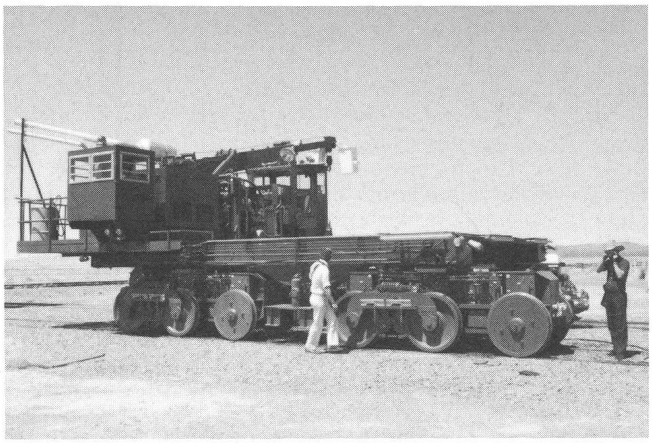


Abb. 8: Der Transporter zum Versetzen der Teleskope, selber 60 Tonnen schwer.

Die Fahrgeschwindigkeit auf dem Hauptgleise beträgt maximal 8 km/h. Die benötigte Zeit zum Versetzen aller 27 Teleskope beträgt im Extremfall, z.B. von Aufstellung A zu D, höchstens 2,5 Wochen.

Alle 28 Teleskope sind untereinander gleich und als Cassegrain-Teleskope ausgebildet. Der parabolische *Hauptspiegel* hat einen Durchmesser von 25 m und eine Brennweite von 8,7 m, also ein Öffnungsverhältnis von 1 : 0,35. Die Spiegelfläche besteht aus Aluminiumblech und der Formfehler gegenüber dem theoretischen Rotationsparaboloid übersteigt 0,75 mm nicht. Damit kann mit Wellenlängen bis zu 1 cm hinunter beobachtet werden. Die Höhenverstellung kann von 8° über Horizont bis 35° über den Zenit erfolgen mit einer Geschwindigkeit von maximal 20°/Minute. Die grösste Drehung um die Vertikalachse beträgt 540°. Damit werden Schleifringe für die elektrische Übertragung vermieden. Höchste Drehgeschwindigkeit ist 40°/Minute. Die Richt- und Nachführgenauigkeit unter Computersteuerung ist besser als 15 Winkelsekunden, was reichlich genügt, denn das Auflösungsvermögen des Einzelteleskops beträgt bei 6 cm Wellenlänge 8 Winkelminuten.

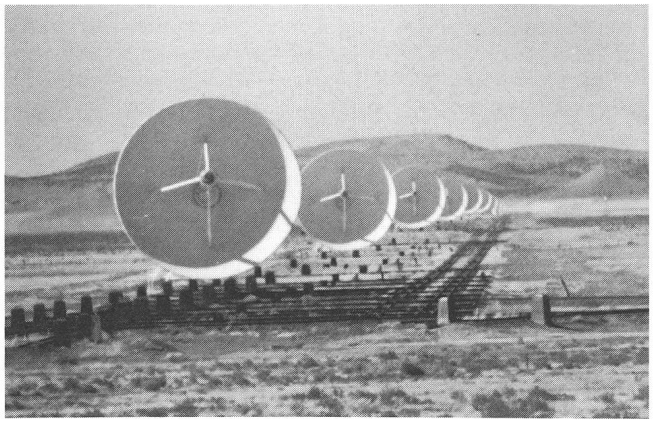


Abb. 9: Alle 9 Teleskope des Nord-Stranges schauen fast horizontal. Von der vordersten bis zur hintersten sind es 19 km! Gut sichtbar sind die beiden Schienenstränge, die Stumpengeleise und die Auflageböcke.

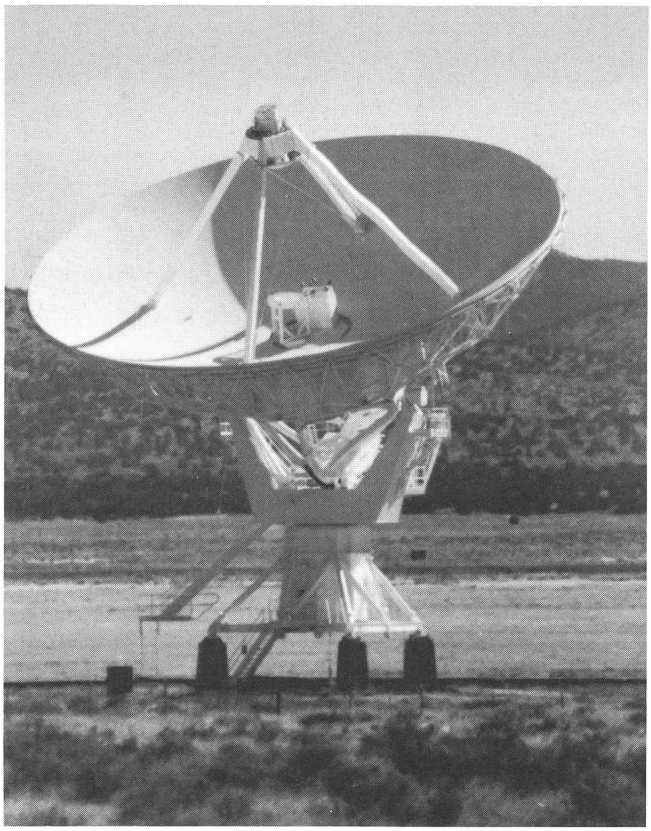
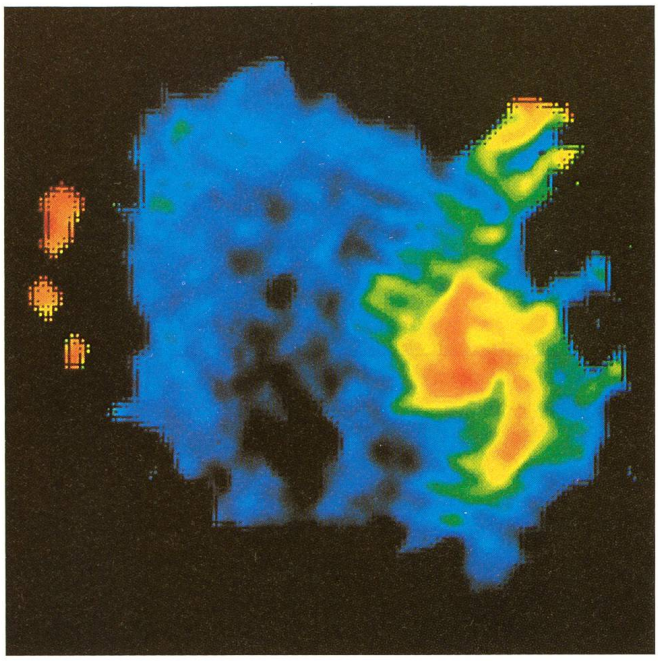
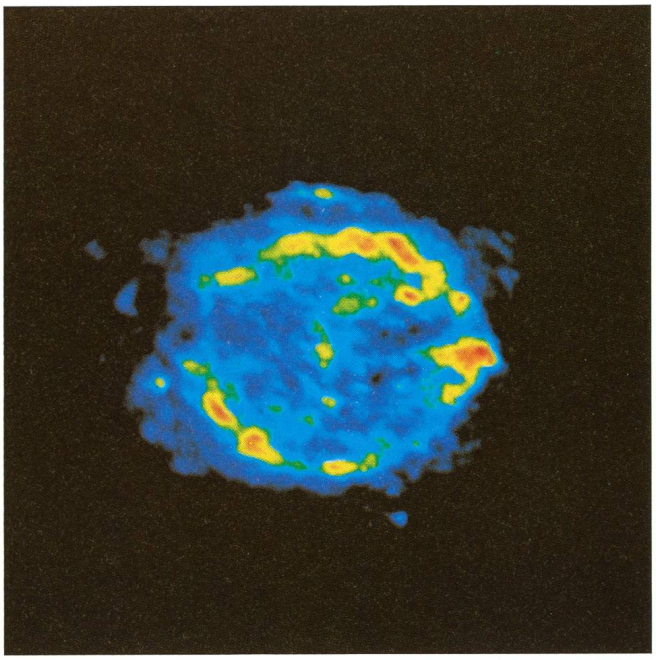
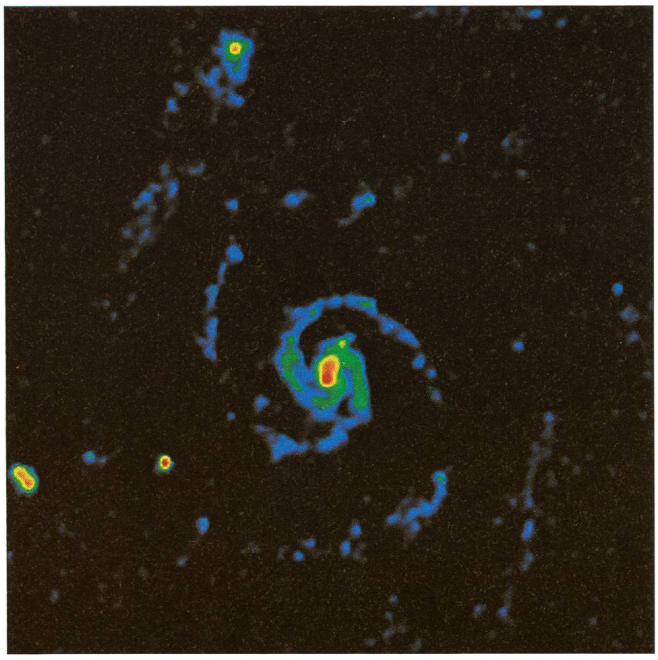


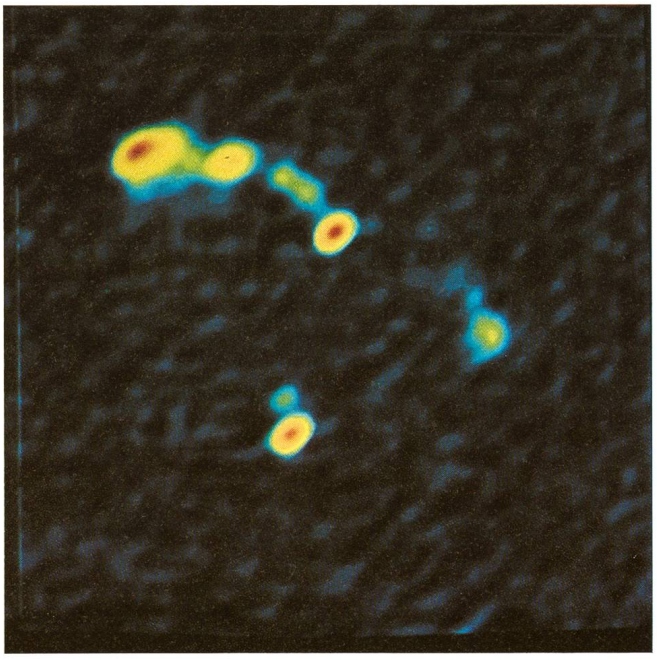
Abb. 10: Blick in den Parabolspiegel von 25 m Durchmesser eines der Teleskope. In der Mitte des Spiegels die Hornantennen.

Die gesamte Auffangfläche aller 27 Spiegel zusammen entspricht einem Einzelspiegel von 130 m Durchmesser. In dieser Beziehung liegt das VLA somit zwischen Effelsberg und Arecibo.









Die folgenden Bilder sind ***farbkodiert,*** *d.h. die Farben geben die Stärke der Strahlung an, in der Reihenfolge rot – gelb – grün – blau. Rot bedeutet die stärkste, blau die schwächste Strahlung.*

Wiedergabe dieser Bilder mit freundlicher Bewilligung des National Radio Astronomy Observatory NRAO, Charlottesville, Virginia, USA.

Bild oben links: ***Sagittarius A,*** *das Zentrum unserer Milchstrasse, aufgenommen mit dem Very Large Array VLA (siehe Seite 00).*
Beschreibung: Eine farbkodierte Karte des Zentrums unserer Milchstrasse, die den Spektralindex zwischen den Wellenlängen 6 cm und 20 cm zeigt. Rot und gelb zeigen thermische Strahlung, grün und blau nicht-thermische. Die rote Spirale ist thermische Strahlung aus dem Kern der Milchstrasse. Der grosse blau-grüne Ring ist nicht-thermische Strahlung, möglicherweise ein Überbleibsel einer Supernova. Die drei roten Flecke links sind eine Gruppe optisch dicker Gebiete von ionisiertem Wasserstoff.
Technische Daten: Aufnahme Juni 1981, VLA in Aufstellung B, λ = 20 cm. November 1981, VLA in Aufstellung C, λ = 6 cm. Auflösungsvermögen 8 Winkelsekunden. Bildfeld 4 Winkelminuten.
Die Farben rot – gelb – grün – blau bedeuten die Farbenindices α von + 1,0, –0,5 und –1.
Beobachter: R. D. Ekers (NRAO), U. J. Schwarz (Kapteyn Laboratorien, Niederlande), W. M. Goss (Kapteyn Laboratorien, Niederlande).

Identifikationsnummer: CV81-SGRA.VR41A.CS.H.
Wiedergabe mit freundlicher Bewilligung des National Radio Astronomy Observatory, Charlottesville, Virginia, USA.

Bild oben rechts: ***Cassiopeia A*** *(3C 461).*
Beschreibung: Überbleibsel einer Supernova in unserer Milchstrasse. Radiobild eines Überbleibsels einer Supernova mit einer ringförmigen Struktur. Radioastronomen haben gefunden, dass mit Ausnahme der Sonne Cassiopeia A die hellste Radioquelle am Himmel ist. Cas A war ein sehr massereicher heller Stern, der in einer riesigen Explosion ausbrach. Auf dem Radiobild ist das Überbleibsel dieser grossen Explosion sichtbar. Die Radiostrahlung stammt hauptsächlich von der Schale her, die dort entsteht, wo die durch die Explosion ausgestossenen Trümmer und die Schockwelle auf das interstellare Gas und den interstellaren Staub auftreffen.
Technische Daten: März 1980 mit VLA in nicht standardisierter, «hybrider» Aufstellung mit 15 Teleskopen. λ = 20 cm. Auflösung 4 Winkelsekunden. Bildfeld 10 Winkelminuten.
Beobachter: R. A. PERLEY (NRAO), P. E. ANGERHOFER (U. S. Naval Observatory), B. BALICK (Universität von Washington), D. K. MILNE (CSIRO - Australien).
Identifikationsnummer: CV80-CASA.VR09.CS.H.

Bild unten links: ***M 51*** *(NGC 5194/5).*
Beschreibung: Spiralnebel in den Jagdhunden.
Dieser bekannte Spiralnebel und sein nördlicher Begleiter eignen sich gut für die Überprüfung der Theorie der Dichtewellen der Spiralstruktur. Ein Vergleich der optischen und der Radio-Spiralen zeigt, dass die Radio-Arme innerhalb der optischen Arme längs der Staubbänder liegen, so wie es die Theorie der Entstehung der Spiralarme durch Dichtewellen voraussagt. Zusätzlich zu der durch die Zentralgegend beider Galaxien ausgesandten Radiostrahlung zeigen diese Beobachtungen ein Bild der Spiralarme, das qualitativ *stark einem optischen Bild gleicht: beide zeigen «Perlen auf einer Schnur». Die zwei Quellen im Südosten (unten links) sind nicht dazugehörende Objekte im Hintergrund.*
Technische Daten: 14. August 1981 mit VLA in Aufstellung B. λ = 20 cm. Auflösung 6 Winkelsekunden. Bildfeld 8,5 Winkelminuten.
Beobachter: P. C. CRANE (NRAO), J. M. van der HULST (Universität Minnesota).
Identifikationsnummer: CV81-M51.VR11.CS.H.

Bild unten rechts: ***Doppelter Quasar 0957+561.***
Beschreibung: Radio-Quasar mit Strahl (jet), mehrfach abgebildet durch gravitationelle Linse.
Dieses bemerkenswerte Bild ist das Resultat einer gravitationellen Linse, eines sehr massereichen Körpers, der bewirkt, dass durch die Ablenkung der Lichtstrahlen durch sein Schwerefeld ein entfernter, dahinter stehender Quasar mehrfach abgebildet wird. Es sind auf der Radiokarte zwei Abbildungen des Quasars zu sehen.
Das A-Bild ist das helle, punktförmige Bild nördlich der Mitte und das B-Bild das helle, punktförmige Bild südlich der Mitte. Das schwache Bild knapp nördlich des B-Bildes fällt mit dem Zentrum einer im optischen Bereich beobachtbaren Galaxie zusammen, von welcher man annimmt, dass sie zusammen mit dem reichen Galaxienhaufen, in dem sie liegt, als gravitationelle Linse wirkt. Die übrigen Abbildungen auf der Karte werden durch ausgedehnte Radiostrahlungen erzeugt, die zum Quasar gehören, aber nicht mehrfach abgebildet wurden.
Technische Daten: 23. Februar 1980, VLA in nicht standardisierter, «hybrider» Aufstellung mit 22 Teleskopen. λ = 6 cm. Auflösung 0,62 Winkelsekunden × 0,39 Winkelsekunden. Bildfeld 19,2 Winkelminuten. Aufnahmedauer 7,5 Stunden.
Beobachter: P. E. GREENFIELD (Massachusetts Inst. of Tech.), B. F. BURKE (Massachusetts Inst. of Tech.), D. H. ROBERTS (Massachusetts Inst. of Tech.).
Identifikationsnummer: CV80-0957+561.VR27B.CS.H.

Der 1,83 m grosse, konvexe *Sekundärspiegel* ist leicht unsymmetrisch. Damit liegt die elektrische Achse des Teleskops etwas gegen die Symmetrieachse des Hauptspiegels geneigt. Durch Drehen des Sekundärspiegels kann nun der Brennpunkt des Teleskopes auf irgendeinen gewünschten Punkt gerichtet werden, der auf einem Kreis um den Scheitelpunkt des Hauptspiegels liegt. Dort sind vier Hornantennen (feed horns) eingebaut, die die eingefangene Strahlung an die Empfänger weiterleiten.

Von hinten an den Hauptspiegel angebaut ist ein Geräteschrank, der 8 Empfänger enthält, je zwei für jede Hornantenne, sowie die dazugehörigen Zusatzgeräte. Es stehen 4 Wellenlängenbereiche zur Verfügung:

L - Band:	λ = 18 ... 23 cm	f = 1,7 ... 1,3 GHz
C - Band:	λ = 6 ... 6,7 cm	f = 5 ... 4,5 GHz
K_u - Band:	λ = 2 cm	f = 15 GHz
K - Band:	λ = 1,25 ... 1,36 cm	f = 24 ... 22 GHz

Auf jedem Wellenlängenbereich kann gleichzeitig mit zwei Empfängern gearbeitet werden, entweder auf gleicher Wellenlänge in zwei Polarisationsebenen oder auf zwei verschiedenen Wellenlängen in einer einzigen Polarisationsebene.

Elektromagnetische Wellen so hoher Frequenz können kaum mehr über längere Strecken weitergeleitet werden, weshalb die Empfänger direkt an die Teleskope angebaut wurden. Die Empfangsfrequenzen werden darin an Ort und Stelle in eine niedrigere Frequenz umgewandelt. Dazu wird die Empfangsfrequenz im *Mischer* mit einer selbst erzeugten, von ersterer etwas verschiedenen *Oszillatorfrequenz* gemischt. Es entsteht so die Differenz beider Frequenzen, die *Zwischenfrequenz,* die nun leichter verstärkt und weitergeleitet werden kann. Dieses Vorgehen, das *Heterodyn*-Verfahren, wird auch in jedem Radioempfänger angewandt. Anschliessend werden die so vorverarbeiteten Signale in den zentralen Steuerraum geleitet.

Die Intensitäten der empfangenen Radiostrahlungen sind oft äusserst gering. Eine grosse Verstärkung dieser Signale zu erreichen ist an sich kein grosses Problem: Es genügt, mehrere Verstärkungsstufen hintereinander zu schalten. Nun erzeugt aber bereits die erste Verstärkungsstufe ein «Rauschen», das anschliessend von den folgenden Stufen mitverstärkt wird (drehen Sie Ihren Radio zwischen zwei Stationen und stellen auf volle Lautstärke ein: das Rauschen ist nicht zu überhören!). Das Rauschen kommt von der Quantenstruktur des elektrischen Stromes her: Auch ohne Signal fliesst ein «Ruhestrom» in den elektrischen Bestandteilen des Verstärkers. Die Elektronen treffen nun in unregelmässigen, zufällig verteilten Abständen ein und erzeugen eine Schwankung des Ruhestromes, das Rauschen.

Man kann das Verhältnis Signal zu Rauschen damit verbessern, dass man mindestens die ersten Stufen des Verstärkers tiefkühlt, womit der Ruhestrom und damit das Rauschen verkleinert wird. Die Empfänger des VLA werden auf einer Temperatur von 18 K gehalten, also – 255°C.

Die Frequenzen der weiterzuleitenden Ströme sind aber immer noch zu hoch, so dass man dazu nicht einen einfachen Draht verwenden kann. Sie würden nur die äusserste Haut des Leiters ausnutzen und einen grossen Übertragungsverlust verursachen (Skin-Effekt). Die Lösung ist der Hohlleiter. Beim VLA hat man einen solchen neben jedem Schienenstrang in 1 bis 3 m Tiefe verlegt. Er besteht aus einem Stahlrohr von 60 mm Innendurchmesser, das innen spiralförmig

mit einem sehr dünnen Kupferdraht ausgelegt ist. Bei jeder vorbestimmten Teleskop-Position ist eine Einspeisung vorgesehen. Dieser Hohlleiter hat sehr geringe Übertragungsverluste (1,4 dB/km bei 50 GHz) und arbeitet zudem mit einer sehr grossen Bandbreite. Durch ihn geschieht der gesamte elektronische Informationsaustausch zwischen allen Teleskopen und dem zentralen Computer. Steuer- und Befehlssignale zum Richten und Nachführen der Teleskope gehen auswärts, zusammen mit den lokalen Oszillatorsignalen. Die durch die Teleskope empfangenen Radiosignale werden im gleichen Hohlleiter zum zentralen Computer geschickt, zusammen mit den Überwachungssignalen, die den Zustand jedes Teleskopes und seiner Elektronik melden.

Im zentralen Steuerraum, wo alle drei Hohlleiter einmünden, stehen zwei verschiedene Grossrechnersysteme. Der Astronom speichert die Befehle für sein Beobachtungsprogramm im «synchronen» Rechner, der dann die Beobachtungen ausführt, von der Bedienungsperson des VLA an einem Terminal überwacht und gesteuert. Der «synchrone» Rechner steuert die Teleskope und das elektronische System während der ganzen Beobachtung, überwacht ununterbrochen die Funktion des ganzen VLA und bearbeitet die ankommenden Daten vom Empfangssystem teilweise vor. Er gibt diese dann dem «asynchronen» Rechner weiter, einem leistungsfähigen Grossrechner, der die vielen komplizierten mathematischen Manipulationen ausführt und ein geeignetes Bild erzeugt. Dieses Bild, z.B. in Form von Höhenkurven oder in Form von «Falschfarben», ist auf einem zweiten Terminal abrufbar, so dass der Astronom jederzeit Einblick in die Resultate hat und nötigenfalls eingreifen und sein Programm ändern kann.

An einem dritten Terminal werden die Resultate der Überwachung der Funktionsweise der Anlage überwacht: Richtung der Teleskope, Temperaturen, Ströme u.s.w. Stellt der Rechner Abweichungen von den Sollwerten fest, die die vorgeschriebenen Toleranzen überschreiten, werden sie am Bildschirm angezeigt, je nach Wichtigkeit und Gefährlichkeit in verschiedenen Farben. So hat man jederzeit einen Überblick über die gesamte Anlage.

5. Erfolge des VLA

Obwohl das VLA erst seit zwei Jahren fertiggestellt ist, arbeitet es teilweise schon seit 1977. Diese frühen wissenschaftlichen Beobachtungen waren sehr wichtig für den Fortschritt des gesamten Projektes, denn sie erlaubten eine eingehende Prüfung der Teleskope, der Elektronik und der Computer-Programme. Dadurch konnten Fehler behoben und Verbesserungen des Konzeptes angebracht werden.

Man beobachtet mit dem VLA nicht nur weit entfernte extragalaktische Objekte, sondern auch Körper des Sonnensystems, sogar die Sonne selber. Das VLA wird überall dort eingesetzt, wo das grosse Auflösungsvermögen nötig ist. Es ist 24 Stunden pro Tag im Einsatz und wird nur selten durch das Wetter behindert, so dass dauernd Gruppen von vier bis fünf Astronomen bereitstehen müssen, um sich rasch ablösen zu können. So können im Laufe eines Jahres mehrere hundert Astronomen aus aller Welt am VLA arbeiten.

Die folgenden Abbildungen, die uns vom National Radio Astronomy Observatory in Charlottesville, Virginia, freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden, geben einen Überblick über einige mit dem VLA durchgeführten Untersuchungen. Darin wird die Stärke der Strahlung mit Farben bezeichnet. («Falschfarben»), rot für die stärkste und blau für die schwächste Strahlung.

1) Very Large Array. Herausgegeben vom NRAO.
Information about the NRAO's VLA Telescope Program. Herausgegeben vom NRAO.
Sky and Telescope, Juni 1975, Seiten 344–351.
Sky and Telescope, Dezember 1980, Seiten 472–473.
dtv-Atlas zur Astronomie
Meyers Handbuch über das Weltall.

Adresse des Autors:
Andreas Tarnutzer, Hirtenhofstrasse 9, 6005 Luzern.

L'an 2000 sera-t-il une année bissextile?

CH. DE REYFF

Der Autor legt dar, dass mit der Schaltjahr-Regel des gregorianischen Kalenders im Jahre 10 000 wieder eine Differenz von ungefähr 3 Tagen bestehen wird. Er schlägt daher vor, dass die Jahre 2000, 6000 und 10 000 keine Schaltjahre sein sollten.

La question peut paraître oiseuse non seulement pour chaque astronome amateur, mais aussi pour tout un chacun. En effet qui ne sait depuis l'école primaire que les années dont le numéro d'ordre est exactement divisible par quatre sont bissextiles? On sait par contre moins qu'une telle façon de procéder conduit à l'année dite julienne, mise au point par l'astronome égyptien Sosigène pour permettre à Jules César de remettre de l'ordre dans le calendrier romain en l'an 45 avant Jésus-Christ. Tout le monde peut faire le calcul rapide que l'*année julienne* moyenne vaut ainsi exactement 365 jours et 6 heures, soit 365,25 jours, le quart de jour étant retenu jusqu'à chaque quatrième année comptant alors 366 jours.

Les astronomes amateurs savent aussi que, parmi les différentes années astronomiques, on ne retient pas l'*année sidérale* comme base d'un calendrier, mais l'*année tropique* qui tient compte de la précession des équinoxes. L'année tropique est ainsi plus courte de 20 minutes et 23 secondes que l'année sidérale. La raison de ce choix est bien évident; sans cela les saisons avanceraient dans l'année et, à raison de 20 minutes par an, elles feraient le tour de l'année en près de 26 000 ans! Cette période peut paraître très longue. Mais chacun sait quelle correction il faut apporter pour l'observation à partir d'une carte céleste basée sur l'année 1950,0. On compte une correction d'environ 50,2564″ (secondes d'arc) par an.