

Funkamateurs DB6NT auf 194 MHz umgesetzt. Dieses Signal setzt der hochwertige Breitbandempfänger AR5000 (Bild 46) mit seinen hervorragenden Empfangseigenschaften auf eine zweite Zwischenfrequenz von 10,7 MHz um.

- **Bandbreite des Übertragungskanals**

Dank mitlaufender Filter wird im AR5000 eine sehr große Selektion erreicht. Die eigentliche Bandbreite des Übertragungskanals bestimmt jedoch die im Block SDR-IQ (Software Defined Radio mit Bereitstellung von um 90° gegeneinander phasenverschobener Ausgangssignale I & Q) werkende Software. Durch konsequente digitale Signalverarbeitung im PC wurde die Bandbreite auf 10 Hz heruntergeschraubt. Dies stellte allerdings extreme Anforderungen an die Frequenzgenauigkeit: Die Empfangsfrequenz musste immer mit 1...2 Hz Toleranz getroffen werden. Daher das (sehr aufwendige) Frequenznormal.

- **Übertragungsverfahren**

Es gibt einen festen Zusammenhang zwischen möglicher Signalanstiegszeit und Bandbreite. Dieser ist besonders aus der Messtechnik (Oszilloskop) bekannt: Anstiegszeit = $0,35/\text{Grenzfrequenz}$. Ein Oszilloskop mit 10 MHz Bandbreite schafft es daher nur, Flanken mit einer Anstiegszeit über 35 ns richtig darzustellen. Und ein hypothetisches Scope mit 10 Hz Bandbreite könnte nur Flanken mit einer Anstiegszeit über 35 ms richtig darstellen.

Da nur das Echo eines unmodulierten Impulses empfangen werden sollte, musste dieser lediglich eine gewisse Mindestlänge haben. Nachdem dies erfolgreich gelang, wurde auch in langsamer Telegrafie (Punktlänge 5 min) gesendet.

- **Repetierung/Integration**

Das simple Verfahren würde eine Repetierung/Integration einfach machen. Darauf konnte jedoch offenbar verzichtet werden.

Nach Dr. Karl Meinzer von der AMSAT zeigen Rechnungen, dass Echos von der Venus leichter als von allen anderen Planeten zu bekommen sind, da sie fast so groß wie die Erde ist. Zwar ist die Venusatmosphäre 90 mal dichter als die Erdatmosphäre, bis 3 GHz dämpft sie jedoch kaum, sodass die Venus 14% der eintreffenden Energie reflektiert. Die Streckendämpfung Venus-Erde beträgt 252,7 dB mit isotropen Antennen. Zieht man den Gewinn der Antenne ab, verbleiben immer noch rund 200 dB.

6.3 Das Deep Space Network im Überblick

Der Vorläufer des Deep Space Network (DSN) wurde Anfang 1958 aufgebaut und bestand aus portablen Tracking-Stationen in Nigeria, Singa-



Bild 47: Die Standorte des DSN

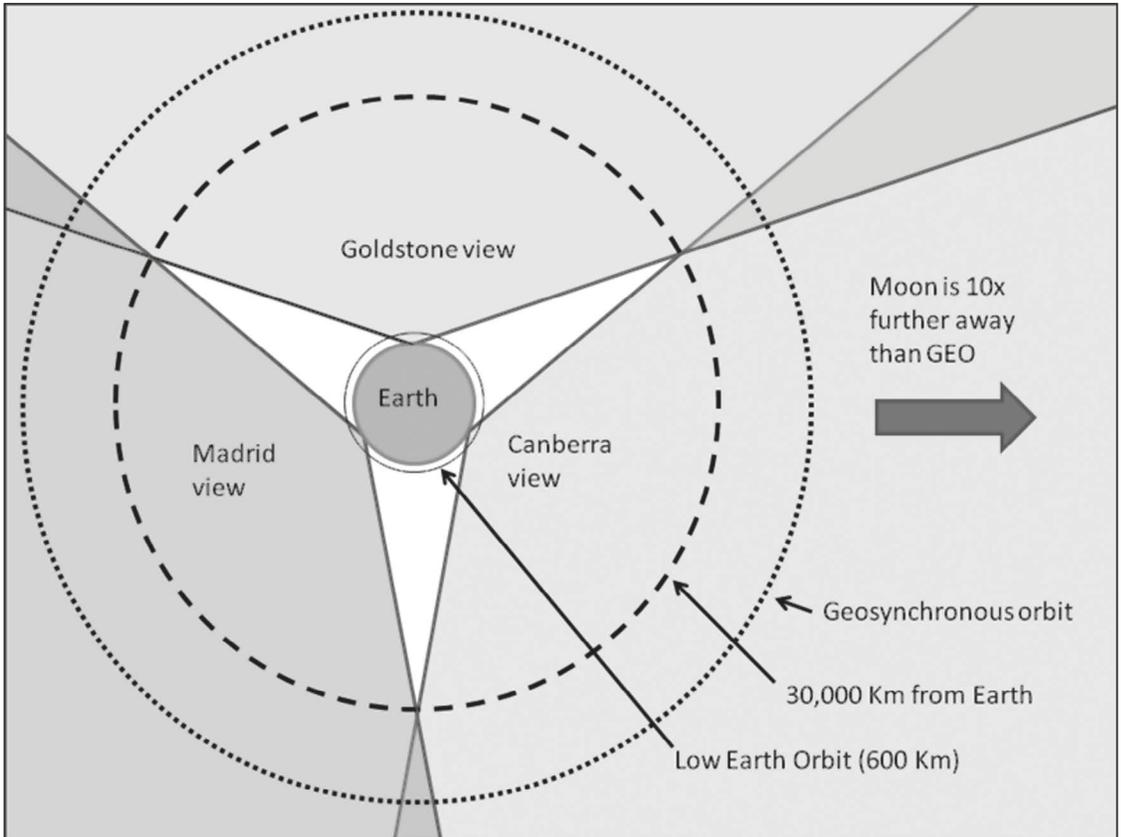


Bild 48: Lückenloser Kontakt ins All trotz Erdrotation

pur und Kalifornien, um die Telemetriedaten des ersten erfolgreichen US-Satelliten Explorer 1 zu empfangen.

Das DSN ist ein System von verschiedenen großen Parabolantennen, die zur Kommunikation mit Raumsonden und Satelliten sowie radio- und radarastronomischen Forschungszwecken dienen. Es besteht im Wesentlichen aus drei großen Stationskomplexen:

- Goldstone Deep Space Communications Complex (GDSCC), Mojave-Wüste, Kalifornien, USA
- Madrid Deep Space Communications Complex (MDSCC), Robledo de Chavela bei Madrid, Spanien
- Canberra Deep Space Communication Complex (CDSCC), Tidbinbilla bei Canberra, Australien

Alle drei Anlagen liegen in hügeligem, schalenförmigem Gelände, um Störungen zu minimieren. Sie sind rund 120° oder ein Drittel des Erdumfangs voneinander entfernt (Bild 47 und 48). Somit ist trotz der Erdrotation die konstante Überwachung von Raumfahrzeugen möglich. Jede Station hat neben kleineren Antennen mindestens eine 26-, zwei 34- und eine 70-m-Antenne. Die 34-m-Antennen können sich unterscheiden: High Efficiency (HEF) Antenna oder Beam Wave Guide (BWG) Antenna (Wave Guide = Wellenleiter). BWG-Antennen unterscheiden sich von herkömmlichen Antennen dadurch, dass die Abstrahlung und der Empfang von Signalen verschiedener Frequenzen durch die Rotation eines Spiegels unterhalb der Antenne in einem Raum in ihrem Sockel oder Podest unterstützt wird. Die Unterbringung empfindlicher Instrumente in diesem Raum statt in der Struktur der Antenne macht den Umgang mit BWG-Antennen unkomplizierter und flexibler als bei konventionellen Antennen.



Bild 49: Der DSN-Komplex in Australien (Foto: NASA)

Bild 49 zeigt den DSN-Komplex in Australien. Über die Website <http://eyes.nasa.gov/dsn/dsn.html> kann man anschaulich erfahren, welche der Antennen des Deep Space Networks gerade aktiv ist.

Das DSN ist eigenverantwortlich für Forschung, Entwicklung und Betrieb der technischen Einrichtungen. Dazu gehören rauscharme Empfänger, besonders große Parabolantennen, Funkverfolgungs-, Telemetrie- und Kommandosystemen, Baugruppen für digitale Signalverarbeitung und Einrichtungen zur Deep-Space-Navigation.

Das DSN ist heute in der Lage, Raumsonden selbst in Entfernungen von mehr als 16 Milliarden Kilometern zu orten. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine absolut exakte Ausrichtung der

Antennen und der damit verbundenen Transponder. Wenn der Öffnungswinkel der 20-m-Schüssel der Sternwarte Bochum beim Venus-Reflexionsexperiment nur $0,43^\circ$ betrug, so ist er bei den mächtigsten Antennen des Deep Space Networks noch wesentlich kleiner. Die entsprechende Ausrichtungsgenauigkeit ist nun eine große Herausforderung.

Bild 50 zeigt die große Antenne in Goldstone. Die größten Antennen benötigt man eigentlich nur für Notsituationen. Fast alle Raumfahrzeuge sind nämlich so entworfen, dass im Normalbetrieb die kleineren (und ökonomischeren) Antennen verwendet werden können. Das berühmteste Beispiel für einen Notfall war die Apollo-13-Mission, bei der durch eingeschränkte Batterieleistung und



Bild 50: Die 70-m-Antenne in Goldstone, USA. Sie empfing Neil Armstrongs berühmten Ausspruch „Das ist ein kleiner Schritt für den Menschen, ein riesiger Sprung für die Menschheit.“ (Foto: NASA)

die Unbenutzbarkeit der Antennen mit hohem Antennengewinn die Funksignale so schwach waren, dass sie vom Manned Space Flight Network nicht mehr empfangen werden konnten. Das Manned Space Flight Network war ein System aus Bahnverfolgungsstationen, das gebaut wurde, um die amerikanischen Missionen Mercury, Gemini, Apollo und Skylab zu unterstützen. Die Benutzung der größten DSN-Antennen (und des Radioteleskops des australischen Parkes-Observatoriums) waren entscheidend bei der Rettung der Astronauten. Grundsätzlich bietet das DSN diese Notfalldienste im Geiste der internationalen Zusammenarbeit auch anderen Raumfahrtbehörden an.

Die 70-m-Antennen wiegen nahezu 3000 t. Herausfordernd war dabei nicht nur das mechanische Bewegen dieser Masse, sondern auch die Fläche von 3850 qm bei Windströmungen. Allerdings wurde eine dermaßen stabile mechanische Struktur geschaffen, dass Windgeschwindigkeiten von etwa 75 km/h die Funktionalität der Anlage nicht nennenswert beeinträchtigen können.

Das Deep Space Network war an vielen historischen Momenten der Raumfahrt beteiligt, hat

beinahe mit allen Raumfahrzeugen Verbindung gehalten, die zum Mond oder weiter flogen. Auch erste Bilder von den anderen Planeten wurden über das DSN übertragen, wie die erste Nahaufnahme des Mars von Mariner-4 oder die Vorbeiflüge der Voyager-Raumsonden an Jupiter, Saturn, Neptun und Uranus. Über das DSN wurde u.a. auch bestätigt, dass Voyager-1 den interstellaren Raum erreicht hat.

Mitte 2017 hält das Deep Space Network Verbindung zu etwa 33 Raumfahrzeugen, wobei es durchgehend das ganze Jahr über in Betrieb ist. Nicht nur die NASA, auch Weltraumorganisationen aus Europa, Japan, Russland und Indien nutzen die Antennenanlagen für ihre Missionen, wie beispielsweise 2014 die indische Mars-Orbiter-Mission.

6.4 Aufgaben des Deep Space Networks

Die ersten großen Aufgaben des DSNs bestanden in der Kommunikation mit interplanetaren Raumsonden, wie des Mariner- und Pioneer-Programms sowie mit Voyager 1 und 2.