

Radioastronomie an der Sternwarte Burgsolms

In unseren Breitengraden behindert schlechtes Wetter oft die Beobachtung des Sternenhimmels mit Teleskopen. Bei der Radioastronomie ist das anders. Hier kann man unabhängig vom Wetter, der Tageszeit oder des Standortes den ganzen Tag über „beobachten“ und Messungen durchführen. Darum beschäftigen wir uns jetzt an der Sternwarte Burgsolms intensiver mit der Radioastronomie und dem Bau einer Empfangsstation. Dazu braucht man nicht unbedingt riesige Empfangsantennen mit 50 oder 100m Durchmesser. Die Weiterentwicklung bei elektronischen Bauteilen hat dazu geführt, dass man schon mit relativ einfachen Mitteln und wenig Aufwand empfindliche Beobachtungsstationen aufbauen kann. Diese günstigen Bedingungen führten dazu, den Entwurf und den Aufbau einer Empfangsstation für Radioastronomie an der Sternwarte in Angriff zu nehmen. Um dies durchzuführen, benötigt man natürlich einiges an Grundwissen über die Grundlagen der Radioastronomie und der Empfangstechnik.

Fachausdrücke

Um die Radioastronomie fachlich besser verstehen zu können, müssen wir uns zuerst mit einigen Fachbegriffen vertraut machen. Dies bezieht sich vor allen Dingen auf den Bereich der Hochfrequenztechnik:

Elektromagnetische Wellen: Schwingungen aus magnetischen und elektrischen Feldern, die sich ähnlich wie Wasserwellen ausbreiten. Elektromagnetische Wellen benötigen aber kein Medium zur Ausbreitung und können so auch den interstellaren Raum (Vakuum) durchqueren.

Frequenz (f): Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, angegeben in Hertz (Hz), nach dem Entdecker der elektromagnetischen Wellen, Heinrich Hertz.

Da bei hohen Frequenzen sehr viele Schwingungen pro Sekunde auftreten, gibt es besondere Bezeichnungen. Einige Beispiele:

Netzfrequenz (Strom):

50 Hz = 50 Schwingungen pro Sekunde

Mittelwelle:

500 kHz (Kilohertz; kilo = tausend) = 500.000 Schwingungen pro Sekunde.

UKW:

100 MHz (Megahertz; Mega = Million) = 100 Millionen Schwingungen pro Sekunde

SHF:

10 GHz (Gigahertz; Giga=Milliarde) = 10 Milliarden Schwingungen pro Sekunde

Ausbreitungsgeschwindigkeit:

Elektromagnetische Wellen breiten sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, das heißt mit 300.000 km/sec.

Wellenlänge λ (Lamda):

Wie Wasserwellen haben auch elektromagnetische Wellen eine bestimmte Länge, die aus der Ausbreitungsgeschwindigkeit und der Frequenz errechnen lässt:

$$\text{Wellenlänge} = \frac{\text{Ausbreitungsgeschwindigkeit}}{\text{Frequenz}}$$

Beispiel:

300.000 km/sec. = 300.000.000 m/sec.

Frequenz = 100 MHz = 100.000.000 Hz

$$\text{Wellenlänge} = \frac{300.000.000}{100.000.000} = 3\text{m}$$

Grundlagen

In der optischen Astronomie, also der Beobachtung mit Teleskopen, werden elektromagnetische Wellen in dem für Menschaugen sichtbaren Wellenlängenbereich – dem Licht – empfangen. Wir sehen nachts die Sterne im sichtbaren Licht, aber für die Informationen in den anderen Wellenlängenbereichen haben wir keine Sinneszellen und benötigen die Hilfe der Technik, um diese Signale messen und

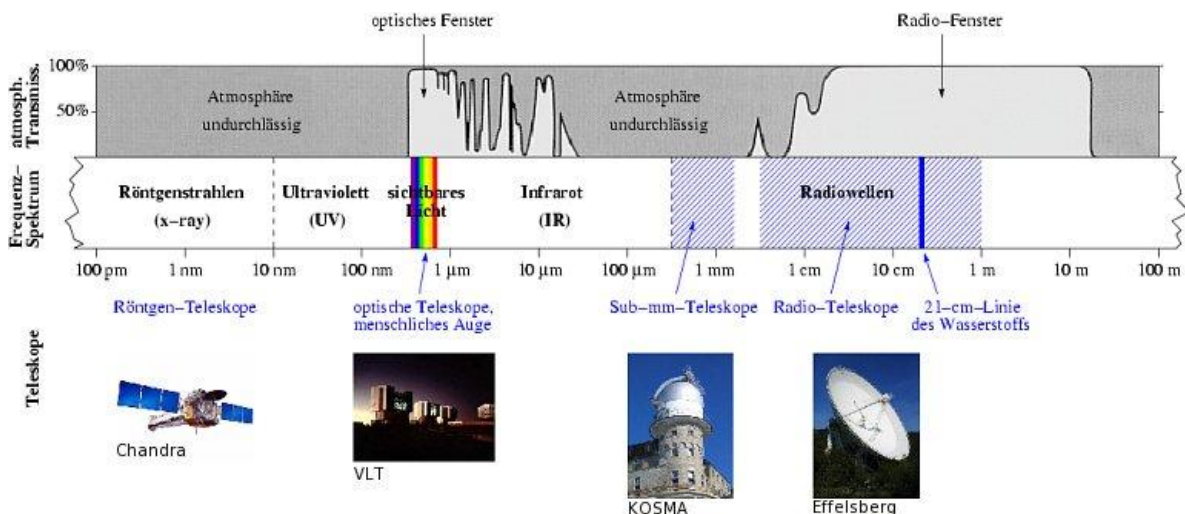


Bild 1: Das Frequenzband und das „Radiofenster“
Quelle: Uni Bonn - Argelander-Institut für Radioastronomie

aufzeichnen zu können. Die Graphik zeigt, dass es in der Atmosphäre ein „Optisches Fenster“ und ein „Radiofenster“ gibt, das heißt, daß die Atmosphäre für ganz bestimmte Wellenlängenbereiche durchlässig ist. Für die anderen Bereiche wirkt sie wie ein Filter und sperrt auch die schädliche Strahlung aus dem All. Im Optischen Fenster beobachtet man mit Teleskopen und im Radiofenster im Wellenlängenbereich von 10m bis ca. 1cm – also bei Radiofrequenzen - mit speziellen Empfangsanlagen. Da die Signale der „Radioquellen“ (Objekte, die Strahlung im Radiofenster aussenden) aus dem Weltall aber sehr schwach sind, benötigt man ziemlich große Antennen und dazu empfindliche Empfänger und leistungsfähige Verstärker, um die schwachen Signale überhaupt messbar zu machen. Um Fehlmessungen in den für die Wissenschaft wichtigen Bereichen zu vermeiden, sind einige Frequenzbereiche geschützt. Hier darf also kein Rundfunk- oder Fernsehsender arbeiten. Eine solche Frequenz ist zum Beispiel 1,42 GHz (Gigahertz = 10^9 Schwingungen pro Sekunde). In diesem Bereich liegt die natürliche Strahlung

des neutralen Wasserstoffs (H), der das häufigste Element im Universum ist. Mit Hilfe von radioastronomischen Messungen der 1,42 GHz-Strahlungsintensität wurde z.B. die Struktur unserer Milchstraße gefunden und die Geschwindigkeit bestimmt, mit der sich unsere Galaxie bewegt. Man kann auch exakt messen, wie schnell sich Fixsterne, interstellare Nebel oder auch andere Galaxien auf uns zu oder von uns weg bewegen. Mit der Radioastronomie kann man viel weiter ins Weltall hinausschauen, da man durch Gas- und Staubwolken hindurchsehen kann. Die Erforschung des galaktischen Zentrums wird deshalb nur mit Hilfe der Radioastronomie möglich.

Solche Messungen kann man natürlich nur mit den großen Radioteleskopen durchführen. Anlagen mit entsprechender Größe stehen mittlerweile überall in der Welt und beobachten den Himmel Tag und Nacht. Das zweitgrößte bewegliche Radioteleskop der Welt steht in Effelsberg in der Eifel (Deutschland) und hat einen Durchmesser von 100m. Das Gerät ist riesig groß und hat ein Gewicht von 3200 Tonnen.



Bild 2: Radio-Teleskop Effelsberg/Deutschland, Durchmesser 100m
Foto: Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bad Münstereifel-Effelsberg

Es gibt auch eine Technik, mit der mehrere Radioteleskope zu Netzwerken, praktisch einem großen Teleskop, zusammengeschaltet werden können. So kann man die Empfindlichkeit und vor allen Dingen die Winkelauflösung erheblich steigern, das heißt, man kann die Objekte mit höherer Genauigkeit darstellen. Wenn zwei Radioteleskope in einem Abstand von 5 km voneinander stehen, ersetzen diese theoretisch einen Einzelspiegel mit einem Durchmesser, der dem Abstand der Einzelspiegel entspricht.

Eine einfache Empfangsanlage

Der Fernsehempfang über Satelliten erfolgt im Frequenzbereich von ca. 10 – 12 GHz. Für diese Frequenzen gibt es also preisgünstige Geräte. Da in diesem Bereich einige Objekte wie Sonne, Mond, Jupiter usw. „Radiostrahlung“ aussenden, kann

man mit einfachen Mitteln eine Station für Radioastronomie aufbauen. Man benötigt dazu einen möglichst großen Spiegel (auch Schüssel genannt), einen LNC (Low Noise Converter; der Kopf an der Schüssel), einen guten SAT-Finder und ein Messgerät – und dazu etwas Bastelgeschick und viel Geduld. Den SAT-Finder muss man modifizieren, damit man das empfangene Signal auch messen und aufzeichnen kann.

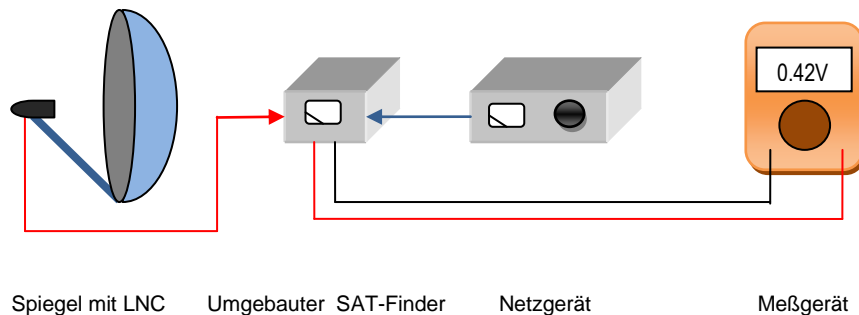


Bild 4: Einfache Station für den Empfang von Radiosignalen

Der Spiegel (oder Schüssel) ist vom Satelliten-Fernsehen allgemein bekannt und hängt an fast jedem Haus. Hiermit werden die empfangenen Signale gebündelt und auf den LNB im Brennpunkt gerichtet. Der LNC (Low Noise Converter) ist das eigentliche elektronische Empfangselement. Im LNC werden die Signale von ca. 11 GHz auf 1,2 GHz umgesetzt und verstärkt. Das ist notwendig, um eine verlustarme Übertragung der Signale zum SAT-Finder zu ermöglichen, in dem diese dann gleichgerichtet (demoduliert) werden. Je stärker also die ankommenden Signale sind, umso größer ist auch die im angeschlossenen Messgerät angezeigte Spannung. Damit alles funktionieren kann, müssen die Geräte von einem Netzgerät noch mit einer Spannung von 13V versorgt werden. Das geschieht dadurch, dass man es an die Ausgangsbuchse des SAT-Finders anschließt und auf 13 V einstellt. Da die Ausgangsbuchse des SAT-Finders eine F-Buchse ist, muss man einen Adapter mit Koax-Kabel anfertigen. Der Pluspol des Netzgerätes wird an den Mittelleiter des Kabels, der Minuspol an den Schirm angeschlossen.

Die Besonderheit dieser Empfangsanlage liegt darin, dass man im SAT-Finder zusätzlich zwei Drähte an den Anschlüssen des eingebauten Messgerätes anlöten muss. Die so abgegriffene Spannung wird über Anschlusskabel zum Messgerät geführt und liefert ein Maß für die empfangene Signalstärke.

Messung von Radiosignalen

In großen Radioteleskopen sind viele spezielle Geräte eingebaut. Hierzu zählen sehr rauscharme und tief gekühlte Vorverstärker, Empfänger, Filter, Auswertungsgeräte, eine Computersteuerung und -positionierung. Das alles ist notwendig, um die äußerst schwachen Signale zu empfangen, zu verstärken, aus dem Rauschen herauszufiltern und auszuwerten. Um das Rauschen der elektronischen Bauteile so gering wie möglich zu halten, werden einige Geräte bis auf -260°C abgekühlt. Bei der Messung von Radiosignalen wertet man die Signalstärken auf unterschiedlichen Frequenzen aus. Je größer die Signalstärke z.B bei 1,42 GHz ist, umso mehr Wasserstoff ist vorhanden. Um aber die Geschwindigkeiten von Objekten

bestimmen zu können, wird die Verschiebung der Frequenz der „Wasserstofflinie“ bei 1,42 GHz, einer natürlichen Frequenz mit hoher Genauigkeit, mittels des Dopplereffektes (Erklärung im Lexikon) ausgemessen. Bei der Auswertung von solchen Signalen hat man neben der Struktur der Milchstraße auch die Existenz von Pulsaren entdeckt. Das sind Sterne, die sich sehr schnell (z.B. 60 mal pro Sekunde!) um die eigene Achse drehen und dabei ganz besondere Signale aussenden. Ein Blick bis an die Grenze des Universums ist nur mit Radiosignalen möglich, da viele Gas- und Staubwolken den Blick mit Teleskopen versperren. Auch der Blick in das Zentrum unserer Milchstraße ist deshalb nur mit Radioteleskopen möglich. So ist auch die „Kosmische Hintergrundstrahlung“, die der Wissenschaft als Nachweis des Urknalles dient, mit einem Radioteleskop entdeckt worden. Alle diese Messungen sind sehr schwierig durchzuführen und zeitraubend, da die schwachen nutzbaren Signale aus dem Rauschen herausgefiltert und interpretiert werden müssen. Man hört dabei keine Töne wie beim Radio, sondern das Signal versteckt sich hinter all den Störsignalen, die ebenfalls aus dem All kommen und muss mit hohem technischem Aufwand messbar gemacht werden. Wie schwach die Signale aus dem All wirklich sind, soll ein Beispiel zeigen: Ließe ein unachtsamer Mondbesucher sein eingeschaltetes Handy dort oben liegen, wären dessen Signale die stärkste Strahlungsquelle aus dem All, die man empfangen würde. Das Handy wäre mit der großen Station in Effelsberg sogar noch bis zum halben Weg zur Sonne nachzuweisen.

Bei Messungen mit der oben beschriebenen einfachen Empfangsanlage benötigt man stärkere Signale und kann zu einem ersten Test den Spiegel zunächst einmal Richtung Süden auf den Fernsehsatelliten ASTRA richten. Bei ordnungsgemäßem Aufbau und einwandfreier Funktion wird der SAT-Finder durch die Beachtung der Veränderungen des Signaltones genau ausgerichtet. Evtl. muss man zur genauen Einstellung Korrekturen am Drehknopf (Nullpunkt) des SAT-Finders vornehmen. Danach wird das angeschlossene Messgerät je nach Spiegelgröße ein Signal zwischen 4 – 7 Volt anzeigen und es ist die Bestätigung, dass die Anlage gut arbeitet. Durch eine Einstellung des Spiegels auf max. Signalstärke kann eine sehr genaue Ausrichtung erfolgen.

Zur Messung der Signalstärke der Sonne wird man einen sonnigen Tag auswählen. Der Spiegel ist fest montiert, sinnvoll in Richtung Süd-Südwest eingestellt (hier stören keine Fernseh-Satelliten) und wird beim Vorbeigang der Sonne durch Kippen höhenmäßig darauf ausgerichtet. Da die Signale der Sonne mit etwa 0,3 bis 0,7 Volt sehr schwach sind, ist ein sehr präzises Ausrichten notwendig. Am nächsten Tag kann man dann den Vorbeigang der Sonne vor dem Spiegel am Messgerät beobachten. Das Signal steigt langsam an, erreicht ein Maximum und fällt mit dem Verschwinden der Sonne aus dem Empfangsbereich wieder ab. Ist die Sonne ruhig, erhält man ein gleichmäßiges Signal. Bei Ausbrüchen auf der Sonne sind während der Beobachtung mehr oder weniger starke Schwankungen der Signalstärke festzustellen.

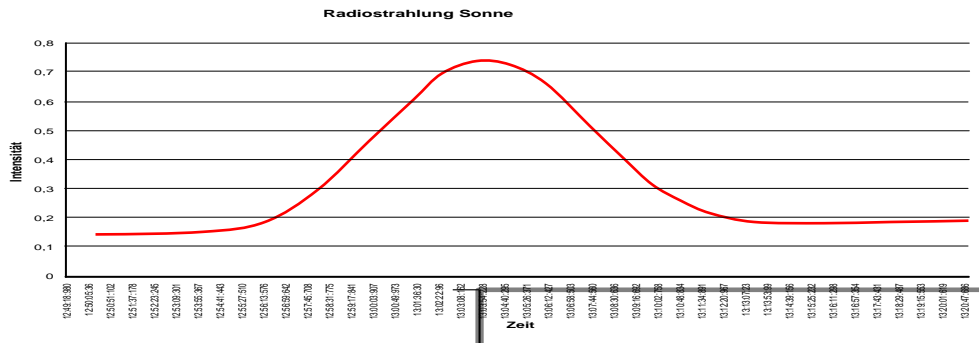


Bild 5: Aufzeichnung eines Sonnendurchganges bei ruhiger Sonne mit der Empfangsanlage nach Bild 4, aufgezeichnet mit einem angeschlossenen Digitalvoltmeter mit Schnittstelle zu einem Laptop

Die Empfangsanlage der Sternwarte Burgsolms

All diese Überlegungen haben dazu geführt, die einfache Empfangsanlage für radioastronomische Signale zu erweitern und dann an der Sternwarte zu installieren. Insbesondere sollen dabei eine wesentlich höhere Empfindlichkeit, bessere Steuerbarkeit und Reproduzierbarkeit der Position erreicht werden. Weiterhin wird Wert auf eine gute Bearbeitung (Signalprozessor) und Aufzeichnung der Signale gelegt. Es ist auch vorgesehen, dass ein bestimmter vorgewählter Bereich des Himmels gescannt (abgetastet) werden kann. Das hat zur Folge, dass der Einsatz von Computern erforderlich ist. Das Bild zeigt das Konzept der Empfangsanlage.

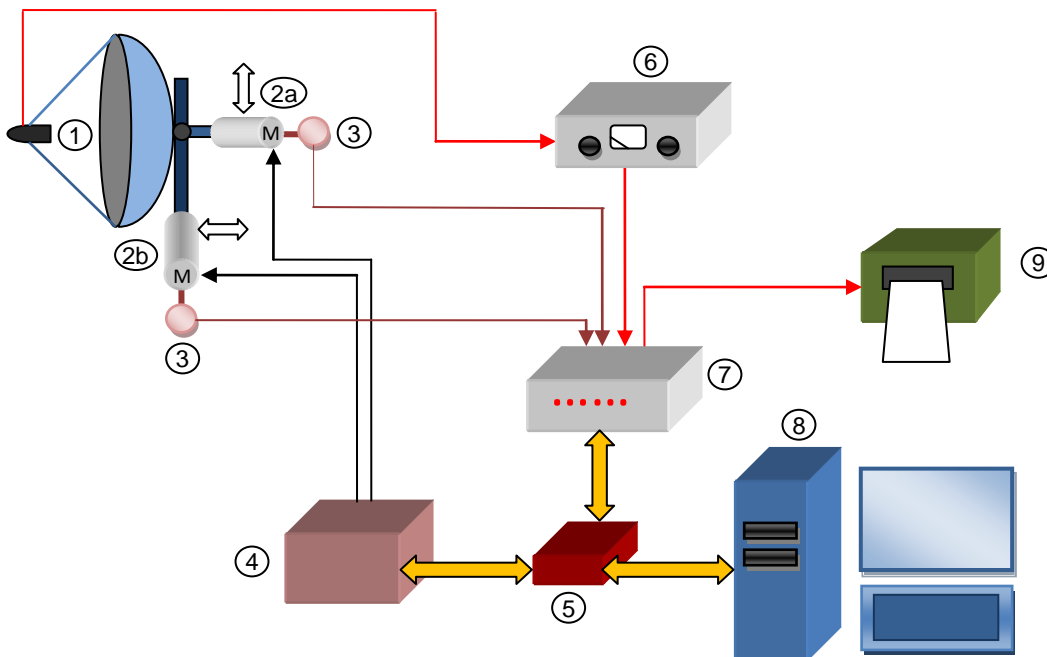


Bild 6: Konzept der Station für Radioastronomie an der Sternwarte Burgsolms

Der Spiegel mit einem Durchmesser von 1,6 m, ausgerüstet mit einem sehr empfindlichen und extrem rauscharmen LNB (1), ist während der Erprobungsphase noch für den Bereich 10–12 GHz ausgelegt. Der Spiegel kann horizontal über einen Getriebemotor (2a) mit nachgeschaltetem Schneckengetriebe 360° gedreht und

vertikal über einen linearen Antriebe (2b) +/- 45° geschwenkt werden. Die Positionen werden digital mit hochauflösenden inkrementalen Signalgebern (3) mit nachgeschalteten Zählern gemessen und angezeigt. Die Ansteuerung der Antriebe erfolgt über eine Steuerelektronik (4) mit Pulsweitenmodulation. Die Steuerimpulse kommen über die gemeinsame Schnittstelle (5) und werden im Computer erzeugt. Alle Antriebe können von Hand mit vorwählbaren Geschwindigkeiten gesteuert oder automatisch auf die vorgewählte Position gefahren werden. Insgesamt sind 10 unterschiedliche Betriebsarten vorwählbar. Dazu gehören der Handbetrieb, das automatische Anfahren der Beobachtungsposition, verschiedene Scanfunktionen, On-Off-Betrieb zur automatischen Calibrierung während eines Messvorganges, automatisches Anfahren der Parkposition, usw.

Das empfangene Signal einer Radioquelle gelangt vom LNC zum Demodulator mit Vorverstärker (6). Hier wird ein logarithmischer Präzisionsdemodulator eingesetzt, der Signale bis -73dBm, das ist umgerechnet eine Spannung von 1,5 µV (= 1,5 millionstel Volt), noch erkennt. Das demodulierte Signal wird danach über einen umschaltbaren Instrumentenverstärker verstärkt und im Rechner weiter verarbeitet.

Ein wichtiger Baustein ist die mit viel Elektronik bestückte Signalanpassung (7). In diesem Gerät werden die unterschiedlichen Signale (digitale und analoge) auf die Nennspannung des Interfaces (5) angepasst, um die volle Auflösung (Genauigkeit) nutzen zu können. Im Interfacebaustein erfolgt dann die Umsetzung auf die für den Computer lesbaren Impulse. Über den Interfacebaustein läuft also die gesamte Kommunikation mit dem Computer. Hierüber werden vom Computer alle Signale wie Messwerte, Positionen, Steuersignale usw. ein- und ausgelesen. Auf dem Bildschirm stehen somit alle Informationen zur Verfügung, die man für den Betrieb und die Messung benötigt. Zusätzlich ist noch ein Datenschreiber (9) angeschlossen, der das empfangene Signal und die Positionen des Spiegels auf Papier dokumentieren kann.

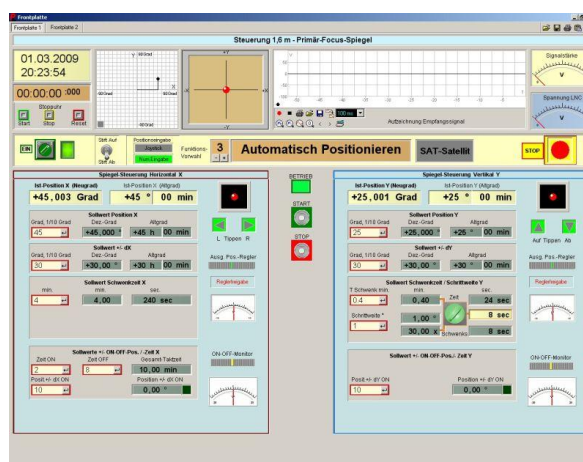


Bild 7: Der Bildschirm zur Bedienung der Empfangsstation

Um die Bedienung zu vereinfachen, wurde eine Bildschirmbedienung (Mensch-Maschine-Kommunikation) programmiert, die mit der Maus bedient werden kann. Hierüber können alle Funktionen vorgewählt und alle erforderlichen Einstellungen für

die Messungen durchgeführt werden. Neben den Anzeigen der wichtigen Messwerte wurde auch eine Langzeitaufzeichnung der empfangenen Signale und ein Signalprozessor programmiert. Dieser filtert die sehr schwachen Signale der Radioquellen aus dem Rauschen heraus und macht sie messbar.

Nach der Testphase mit der Calibrierung der Positionierung usw. wird die Anlage im endgültigen Ausbau mit einem 3m-Spiegel versehen und auf die Empfangs-Frequenz von 1,42 GHz (Wasserstofflinie) umgestellt. Signale dieser Frequenz werden von dem im Weltall reichlich vorhandenen Wasserstoff ausgesendet und ermöglichen dann vielfältige Messungen wie Dichteverteilung, Temperatur und Geschwindigkeiten von Wasserstoffwolken. Dazu können Teilbereiche des Himmels gescannt (abgetastet) werden und so anschauliche 3D-Grafiken über die örtliche Verteilung und Strahlungsintensität von Himmelsobjekten erstellt werden.

Eine Testanlage zum Ausloten der Möglichkeiten wird zurzeit mit einem 160 cm-Spiegel betrieben.



Bild 8: Die Teststation für Radioastronomie der Sternwarte Burgsolms

Auf dem Bild kann man vor dem Spiegel rechts den LNC erkennen. Zum Kippen und Drehen des Spiegels sind Linearantriebe angebaut und werden über die angeschlossenen Kabel mit Strom versorgt. Von der Sonne, vom schwach strahlenden Mond und von der Milchstraße konnten schon sehr interessante Daten aufgezeichnet werden.

Station an der Sternwarte Burgsolms

Die Station an der Sternwarte ist z.Zt. noch im Aufbau und soll 2018 fertiggestellt werden. Auf ein stabiles Fundament wurde ein 4,7 m hoher Mast aufgestellt, der einen Spiegel mit 3m Durchmesser in alle Richtungen bewegen und steuern kann. Aufgebaut sind bis jetzt das Fundament, der Hauptmast und das Drehteil für den Azimut mit der zugehörigen Antriebseinheit.



Bild 9: Fundament-Bewehrung mit ausgerichteter Fußplatte für den Mast



Bild 12, oben: Die Antriebseinheit für den Azimut (horizontale Drehung)

Bild 11, links: Der Mast, noch ohne Drehteil und Antriebseinheiten

Alle mechanischen Teile für die Station wurden speziell für diese Anwendung entworfen und mit Hilfe einheimischer Firmen gefertigt. Die Empfangseinheit für das Signal im 1,42 GHz-Bereich ist noch in der Entwicklungs- bzw. Testphase.

Alfred Schmidt

Zum Schluss noch einige interessante Links zum Thema Radioastronomie:

www.astronomie.de/fachbereiche/radioastronomie/mpifr

www.astro.uni-bonn.de

www.mpifr-bonn.mpg.de

<http://de.wikipedia/wiki/radioastronomie>