



HIMMELSKARTIERUNG MITHILFE EINES SELBSTGEBAUTEN RADIOTELESKOPS

Wettbewerb
„Jugend Forscht“ 2015

Sophie Müller (18 Jahre)
Lea Steinäcker (15 Jahre)

Arbeitsgemeinschaft „Jugend Forscht“
Des Christian-Gymnasiums
Hermannsburg

Betreuung:
Julia Bienert;
StD Thomas Biedermann

Inhalt

1. Einleitung.....	2
2. Theoretische Grundlagen.....	2
2.1 Der Empfänger.....	2
2.2 Rastermessungen.....	3
2.3 Bestimmen absoluter Koordinaten.....	3
2.4 Wichtige Größen.....	4
2.4.1 Auflösung.....	4
2.4.2 Halbwertsbreite.....	4
2.4.3 Empfangene Leistung.....	5
2.5 Radioquellen.....	5
2.5.1 Satelliten.....	5
2.5.2 Hintergrundstrahlung.....	5
2.5.3 Schwarze Löcher.....	5
2.5.4 Zentrum der Milchstraße.....	6
2.5.5 Wasserstofflinien.....	6
2.5.6 Pulsare.....	6
2.5.7 Supernovae.....	7
2.6 Aaronia Spektran.....	7
3. Unser Teleskop.....	8
3.1 Aufbau.....	8
3.2 Antrieb.....	8
4. Messungen.....	9
4.1 Die Software.....	9
4.2 Testen der Steuerungssoftware.....	11
4.3 Erste Rastermessung.....	12
4.4 Zweite Rastermessung.....	12
4.3 Die Sonne.....	12
4.4 Messungen mit dem Spektran.....	13
4.6 Vergleich mit älterer Messung.....	14
5. Probleme und Fehleranalyse.....	14
6. Fazit.....	15
7. Ausblick.....	15
8. Danksagung.....	16
9. Quellen.....	16

1. Einleitung

Vor ca. zweieinhalb Jahren hat es sich unsere Jugend Forscht AG zum Ziel gesetzt, ein eigenes Radioteleskop zu konstruieren und hat dazu insgesamt vier ausrangierte Satellitenschüsseln gespendet bekommen. Arbeitsteilig wird ein Parabolspiegel nach dem anderen zum Teleskop ausgebaut. Die Mittlere ($\emptyset 2,40\text{ m}$) wurde erst vor kurzem aufgesetzt und zum Laufen gebracht, sodass nun theoretisch mit ihr gemessen werden könnte. Unser Ziel ist es hauptsächlich, eine Kartierung des für uns sichtbaren Himmels vorzunehmen. Damit werden wir einen Überblick über die für uns sichtbaren Radioquellen bekommen, das Teleskop kalibrieren und auch gleichzeitig sehen, wie genau wir messen können. Außerdem werden noch weitere Experimente, wie z.B. die Messung der Sonne oder das Testen des Programms, mit dem wir arbeiten werden, hinzukommen. Des Weiteren wollen wir unsere Messungen verbessern, indem wir den Spektrumsanalysator mit einbeziehen.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Der Empfänger

Die Antenne eines Radioteleskops ist die erste Komponente der Auswertung der empfangenen Strahlung und sitzt im Primärfokus des Teleskops. Er empfängt die Strahlung und gibt sie in Form eines Signals weiter an die nachfolgende Empfangsanlage. Ein Empfänger ist auf einen bestimmten Bereich von Wellenlängen ausgerichtet, die er empfangen kann. Außerdem ist die Antenne polarisiert. Das heißt, sie ist entweder waagrecht oder senkrecht ausgerichtet, sodass sie entweder die Wellen empfängt, deren elektrischer Feldvektor horizontal oder vertikal ausgerichtet ist.

Der von uns verwendete Empfänger ist ein LNB (Low Noise Block). Besteht also aus der Dipol-Antenne, die auf den SAT-Bereich von 10,7 GHz - 12,75 GHz ausgelegt ist, was einer Wellenlänge von ca. 2,7 cm entspricht. Des Weiteren besteht er aus einem HF-Vorverstärker, Referenzoszillator, Mischer, Tiefpassfilter und Zwischenfrequenzverstärker, so dass eine Ausgangsfrequenz von 950 - 1950 MHz ausgegeben wird.

Es gibt zwar zwei Antennen, allerdings sind beide Antennen auf 45° angeordnet (Kreuzdipol), sodass sie beide Polarisierungen der elektro-magnetischen Wellen empfangen können. Das damit empfangene Signal wird anfangs mit 20dB - 30dB mit einem ULNA (Ultra Low Noise Amplifier) verstärkt, der nur sehr wenig Eigenrauschen produziert. Nun wird mit dem Mischer eine vom Referenzoszillator intern erzeugte Frequenz $f(m)$ unter das Signal gemischt, wobei $f(m)$ ca. 1 GHz unter der niedrigsten SAT-Frequenz $f(u)$ liegt. Es entstehen zwei neue Frequenzen:

$$f_{\text{Summe}} = f_m + f_u = \text{ca. } 20\text{ GHz} \quad (1)$$

$$f_{\text{Differenz}} = f_m - f_u = \text{ca. } 1 \text{ GHz} \quad (2)$$

Allerdings wird nur die Differenzfrequenz benötigt, sodass ein Tiefpassfilter diese durchlässt und die Summenfrequenz herausfiltert. Schließlich wird das entstandene Mischsignal ein weiteres Mal mit 30dB - 40 dB verstärkt und zum Empfänger geleitet.

Der Grund der vorläufigen Bearbeitung des eingehenden Signals besteht darin, dass niedrigere Frequenzen besser verarbeitet werden können und man Eigenrauschen bzw. Störstrahlung vermeiden will.

2.2 Rastermessungen

Unsere Teleskope werden allesamt vollbewegliche Radioteleskope. Um eine Kartierung vorzunehmen, wird ein Raster gefahren. Das heißt: Man gibt einen zu messenden Bereich an, der schrittweise abgefahren wird. Das Teleskop untersucht einen Messpunkt, fährt einen Schritt in Azimut-Richtung und untersucht nun diesen Punkt. Dies wird so lange gemacht, bis die rechte bzw. linke Grenze des Messbereichs erreicht wird. Anschließend wird ein Schritt in Elevations- und wieder in Azimut- Richtung zurückfahren. Das Vorgehen wiederholt sich so lange, bis der gewünschte Messbereich ausgemessen wurde. Neben dem Messbereich wird auch die Schrittweite und Anzahl der Messungen eines Messpunktes zur Errechnung eines Durchschnittswertes eingestellt. Die Steuerung erfolgt über ein in der AG geschriebenes Programm, das im Weiteren noch erklärt wird.

2.3 Bestimmen absoluter Koordinaten

Der Motor und Drehwinkelgeber des Azimut Antriebs unseres Teleskops rechnet jeweils mit anderen Koordinaten. Bei jedem Anschalten der Steuerung setzen die Motoren an der aktuellen Position ihren Nullpunkt. Bei uns ist diese die „Parkposition“, und bei jedem Start gleich. Der Drehwinkelgeber hat einen kalibrierten Nullpunkt, der durch die Richtung des Einbaus $138,3^\circ$ von der Parkposition entfernt liegt.

Tatsächlich werden die Positionen von Radioquellen in einem anderen absoluten System, angegeben, dass sich auf die vier Himmelsrichtungen bezieht. Hier ist auf der Ebene des Azimuts Norden als 0° , Osten als 90° , Süden als 180° und Westen als 270° angegeben und die Elevation mit 0° im Horizont und 90° im Zenit. Um einfacher auf bestimmte Positionen fahren zu können, werden die Koordinaten des Teleskops umgerechnet, damit sie in das absolute Koordinatensystem passen. Dies geschieht im Programm selbst.

Die Nullposition der Motoren wurde vorerst schon mit einem Kompass ermittelt und befindet sich ca. 60° West, also auf 240° .

Durch eine Rastermessung der geostationären Satelliten, die man am Standort unseres Radioteleskops mit diesem wahrnehmen kann, wird das Teleskop noch näher kalibriert und

die Angaben noch korrigiert. Die vermessenen Satelliten werden dann identifiziert und bekannten Standortangaben zugeordnet. So hat man mehrere Kalibrationspunkte, wodurch die Kalibration präziser wird. Beim Radioteleskop in Effelsberg wird diese Art der genauen Ausrichtung regelmäßig bei längeren Messungen oder zwischendurch anhand drei festgelegter Radioquellen vorgenommen. Natürlich müssen auch wir sie in bestimmten Abständen wiederholen.

2.4 Wichtige Größen

2.4.1 Auflösung

Bei der Qualität der Messungen eines Radioteleskops spielt die Auflösung eine große Rolle und damit auch die Winkelauflösung des Parabolspiegels. Für diese gilt:

$$\Delta\alpha = 1,22 * \frac{\lambda}{d} \quad (3)$$

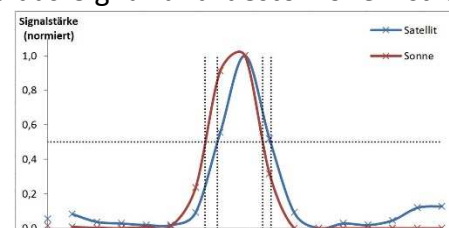
Dabei ist $\Delta\alpha$ der Mindestwinkelabstand in Grad, der zwischen zwei Objekten bestehen muss, um diese auseinander halten zu können, d der Durchmesser des Spiegels in m und λ die Wellenlänge der zu messenden Strahlung ebenfalls in m. Die Formel zeigt, dass der Winkelabstand der Objekte, der sein darf, immer kleiner wird, je größer der Durchmesser des Spiegels wird. Die Auflösung steigt. Allerdings ist es dann nötig, das Messobjekt oder eine bestimmte Position präziser anzupeilen.

Allerdings kann man diese Schwierigkeit auch umgehen, indem man mit mehreren Teleskopen gleichzeitig misst. Diese Methode wird VLAI (Very Large Array Interferometer) genannt. Hier tun sich mehrere Teleskope zusammen, messen eine gemeinsame Quelle bzw. ein gemeinsames Raster und speichern es mit Zeitdaten einer sehr genauen Atomuhr ab. Nachdem die Daten übereinander gelagert werden, ergibt sich ein theoretischer Parabolspiegel mit dem Durchmesser des Abstandes der beteiligten Teleskope.

2.4.2 Halbwertsbreite

Die Halbwertsbreite ist ein anderes Maß für das Auflösungsvermögen des Teleskops eines Signals. Man betrachtet die Breite eines Signals einer Radioquelle auf halber Höhe des Maximums. Dies ist auch eine Möglichkeit, die Auflösung von Radioteleskopen zu vergleichen. Je schmaler die Halbwertsbreite ist, desto schärfer ist das Signal und desto höher ist die Auflösung des Teleskops.

Um Halbwertsbreiten zu vergleichen, normt man beide Peaks, so dass sie beide eine Höhe von 1 Längeneinheit haben.



Berechnung der Halbwertsbreite 1; der Peak der Sonne ist breiter, da sie ein Flächenstrahler ist → wir können mit hoher Wahrscheinlichkeit sagen, dass es sich um die Sonne handelt.

2.4.3 Empfangene Leistung

Die empfangene Leistung wird in der HF-Technik in Dezibel (dB) angegeben. Dabei handelt es sich allerdings nicht direkt um eine Einheit, sondern erstmal um ein logarithmisches Verhältnis. So werden auch Verstärkung und Dämpfung in dB angegeben. Hier gilt:

$$g = 10 * \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right) \text{ dB} \quad (4)$$

Ist $g > 1$, wird das Signal verstärkt und ist $g < 1$, wird es gedämpft. Als Einheit gilt Dezibel hier nur, da es im Bezug zu $U_{in} = 1 \text{ W}$, bzw. $U_{in} = 1 \text{ mW}$ (dann heißt es dBm) steht.

2.5 Radioquellen

2.5.1 Satelliten

Wir konzentrieren uns dieses Jahr unter anderem auf die geostationären Satelliten. Dies sind künstliche Erdsatelliten die auf einer Höhe von 35 786 km über dem Äquator um die Erde kreisen. Dabei besitzen sie eine Winkelgeschwindigkeit von einer Umdrehung pro Tag, sodass sie der Erdrotation folgen und idealerweise immer über demselben Punkt der Erde stehen.

Meist handelt es sich um Kommunikations-, Fernseh- und Wettersatelliten. Von dem Standort unseres Radioteleskops sollte man die fünf ASTRA-Satelliten sehen. Wobei wir einen von ihnen außen vor lassen, da er weit ab von den restlichen vieren steht. [1]

2.5.2 Hintergrundstrahlung

Zwar vorher schon einige Male vorhergesagt, wurde die Hintergrundstrahlung zufällig 1964 durch Arno Penzias und Robert Roodrow Wilson bei Messungen mit einer neuen Antenne entdeckt. Es handelt sich um eine Strahlung von ca. drei Kelvin, die im gesamten Weltraum zu messen ist und sich im Mikrowellenbereich befindet. Außerdem soll sie kurz nach dem Urknall entstanden und als dessen Nachweis gelten. Vor der Explosion war die unendlich hohe Energie auf einem unendlich kleinen Punkt konzentriert, der unendlich heiß war. Ab der Explosion dehnt sich das Universum immer weiter aus und die Energie verteilt sich im Raum. Durch die Ausdehnung wird die Energiedichte immer niedriger und es wird immer kälter, bis das Universum auf die heute bekannten 3 K herabgesunken ist. [2]

2.5.3 Schwarze Löcher

Es reicht nach der allgemeinen Relativitätstheorie durch eine Masse aus, die hinreichend kompakt ist. Dadurch wird die Raumzeit so gekrümmt, dass ein schwarzes Loch entsteht, das eine extrem hohe Gravitation besitzt. John Archibald Wheeler etablierte den Begriff „schwarzes Loch“, da absolut nichts, was einen bestimmten Ereignishorizont überschreitet, wieder „hinaus gelangt“. Es fällt also alles hinein, wie in einem „Loch“. Auch

elektromagnetischen Wellen, wie zum Beispiel Licht, finden keinen Weg zurück, weshalb man es „schwarz“ nennen könnte.

Schwarze Löcher sind sehr massereich und haben meist eine Masse von drei bis Milliarden Sonnenmassen. Auch stellen sie oft das Zentrum einer Galaxie dar, wie es auch bei der Milchstraße der Fall ist. [3]

2.5.4 Zentrum der Milchstraße

Die Milchstraße ist unsere Galaxie. Schaut man nachts in den Himmel, kann man sie bei klaren Wetterverhältnissen und am richtigen Standort mit bloßem Auge sehen. Da wir ein Teil unserer Galaxie sind, schauen wir dann auf das Zentrum der Milchstraße.

Unsere Galaxis gehört zu den Spiralgalaxien, da vom Kern spiralförmig Arme wegführen, sieht aus wie eine riesige Scheibe mit einem verdickten Zentrum und hat einen Durchmesser von rund 100 000 Lichtjahren. Die Sonne befindet sich weiter außen, etwa 30 000 Lichtjahre vom Kern entfernt. Die Strahlung, die wir empfangen kommt vermutlich von einem Schwarzen Loch und von den Nebeln. [4]

2.5.5 Wasserstofflinien

Die Wasserstofflinie ist ein beliebtes Beobachtungsobjekt der Radioastronomen. Es wird auf der Wellenlänge von 21 cm, gemessen bzw. auf einer Frequenz von 1420 MHz empfangen, stößt man auf dieses Gas. So bekommt man eine Kartographie des Wasserstoffvorkommens.

Hier spielt der Doppler-Effekt eine große Rolle. Er entsteht, wenn sich der Abstand zwischen Messobjekt und Empfänger während der Messung verändert. Die Frequenz des beobachteten Signals erhöht bzw. vermindert sich dabei. Bei Messungen der Wasserstofflinie gibt eben dieser Effekt Auskunft über die Bewegung astronomischer Objekte. Da Wasserstoff durch Staubwolken besser zu messen ist als das Licht Sterne, werden die Karten der Wasserstofflinie genauer als Karten der Sterne und Planeten. [5]

2.5.6 Pulsare

Ein Pulsar ist ein sehr schnell rotierender Neutronenstern, der ein Magnetfeld erzeugt. Dies ist ein sehr komprimierter Stern, der gleichmäßig um eine Achse rotiert. An den Polen entstehende Radiowellen breiten sich kegelförmig aus, aber es ist sehr schwer, einen Pulsar zu messen. Dies liegt daran, dass sich die Achse bei der Rotation verschiebt und sich die Radiowellen gerichtet im All ausbreiten, vergleichbar mit dem Licht eines Leuchtturms. Folglich ist es mehr Zufall, wenn die Strahlung auf unsere Erde trifft. Ist dies jedoch der Fall, dann misst man die Wellen als eine regelmäßige Impulsfolge. Pulsare besitzen eine charakteristische Frequenz und eine hochkonstante Periodendauer. Die Frequenz kann sehr

hoch oder die Wellenlänge sehr kurz sein, denn sie liegen meist im Millimeter- bis einige Dezimeterbereich. Dadurch, dass das Signal in gleichen Abständen immer wieder auftritt, kann es für sehr präzise Entfernungsmessungen benutzt werden.

2.5.7 Supernovae

Wenn sich ein Stern am Ende seiner Lebensdauer befindet, explodiert er in Form einer Supernova. Dabei wächst seine Leuchtkraft auf das millionen- bis milliardenfache an und der Stern wird für kurze Zeit so hell wie eine ganze Galaxie.

Nach dem Sterben eines Sterns gibt es zwei Optionen. Entweder wird aus ihm ein Neutronenstern oder ein schwarzes Loch, wenn er vorher eine hinreichend hohe Masse besitzt und sein Kern seine Ressourcen verbraucht hat. Dann kollabiert er und bricht in sich zusammen.

Oder er wird zu einem weißen Zwerg, der Material eines nahegelegenen Begleitsterns aufgrund von Gravitation aufnimmt und dann erst kollabiert. Dabei setzt eine Kernfusionsreaktion ein, die den weißen Zwerg zerreißt. [6]

2.6 Aaronia Spectran

Der Spectran der Firma Aaronia ist ein Spektrumsanalysator für Hochfrequenz-Signale. Er ist in der Lage, hochfrequente Signale frequenzbasiert zu analysieren. Die Auswertung findet über eine spezielle Software am Computer statt. Außerdem ist der Spectran für den Frequenzbereich 0 MHz bis 9800 MHz ausgelegt, die Empfindlichkeit kann man von -160 dBm bis 20 dBm einstellen und die Bandbreite ist für 200 Hz bis 20 MHz ausgelegt.

3. Unser Teleskop

3.1 Aufbau

Die 2,40 m große Schüssel, mit der wir die Messungen durchführen, wurde unserer AG von Kabel-Deutschland bereitgestellt. Das Teleskop steht auf einer selbstgebauten fest im Boden verankerten Unterkonstruktion, so dass es stationär ist. Außerdem ist es ein sogenanntes vollbewegliches Radioteleskop, was heißt, dass sich das Teleskop in jede beliebige Richtung drehen kann. Somit wird nicht der Primärfokus ausgerichtet, sondern der Spiegel selbst.

Die nötige Sturmsicherung unseres Teleskops besteht aus einem Kegel und dem passenden Gegenstück. Der Kranz in dem der Kegel eingeführt wird, ist mit Sensoren ausgestattet. Das Teleskop muss daher nur grob in die Sturmposition anfahren und die Sensoren rasten es schließlich von alleine ein.



Abb. 1: Unser Radioteleskop

3.2 Antrieb

Das Teleskop bewegt sich in Azimut- und Elevationsrichtung. Dementsprechend sind auch zwei Antriebe zur Positionierung vorhanden. Der Spiegel wird mit Hilfe einer Gewindestange gekippt (s. Abb.4, 2)), die sich durch ein Gewinde schraubt und so verkürzt bzw. verlängert wird. Gedreht wird sie durch einen Getriebemotor mit

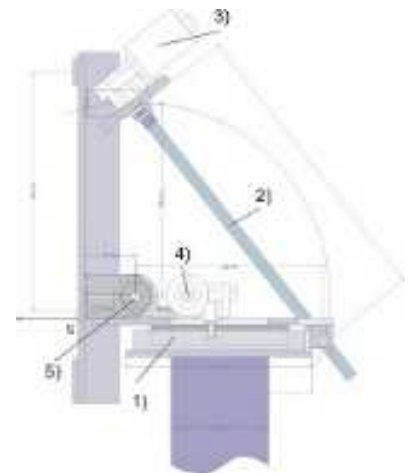


Abb. 2 : Konstruktionszeichnung Elevationsantrieb; 1) Ritzel Azimutantrieb; 2) Gewindestange; 3) Antriebsmotor; 4) Antriebsmotor Azimut; 5) Schwenkachse



Abb. 3: Azimutantrieb. 1) großes Ritzel; 2) Gewindestange Elevationsantrieb; 3) Antriebsmotor; Antrieben 4) Schwenkachse Elevationsantrieb



Abb. 4 : kompletter Antriebskopf mit beiden

Schneckengetriebe, der auf einem

Elevationslager verschraubt ist und mit der Stange nach unten „gezogen“ wird. Somit kippt der Tragrahmen nach unten bzw. wird nach oben aufgestellt. Damit sich nichts verkantet, ist das Elevationslager vertikal beweglich. Beim Azimut ist eine etwas andere Technik eingebaut. Ein zweiter Getriebemotor treibt ein Ritzel an, das wiederum in ein weiteres größeres Zahnrad (s. Abb.2, (1)) greift. Auf diesem stützt sich der Spiegel, der sich mit dem Ritzel dreht. Theoretisch ist so eine unbegrenzte Drehung möglich, wenn es keine Kabel gäbe, die so aufgewickelt werden. Die Genauigkeit beträgt 0,5°.

Die Steuerung der Motoren erfolgt über unser Programm. Hierbei wird auch der jeweilige momentane Status ununterbrochen abgefragt, wie u.a. die aktuelle Position. Dabei hilft ein Drehwinkelgeber am Azimutantrieb. Der Drehwinkelgeber funktioniert nach einem optischen Verfahren. Er wandelt ein optisches Signal in ein Spannungssignal um. Somit lässt sich die Position der Schüssel genau bestimmen.

4. Messungen

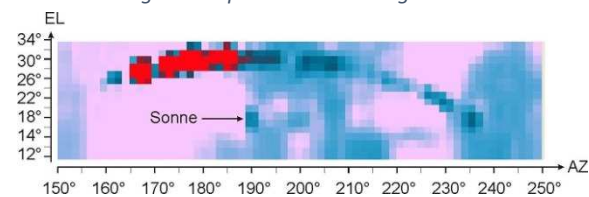
4.1 Die Software

Das Programm mit, dem wir die Schüssel bewegen, Azimut und Elevation, wurde als Gemeinschaftsprojekt in unserer Jugend Forscht AG erstellt. Das Programm mit dem wir die Messungen auswerten wurde ebenfalls in der AG erstellt.

Zunächst ergaben sich noch einige Fehler an den Programmen, welche im Laufe der Zeit behoben wurden.



Messung 1: Beispiel einer Messung



Messung 2: Vermessung der Sonne (aus einer älteren Aufnahme)

4.1.1 Die Oberfläche

The image displays the 'Motorsteuerung [Version 7.1.0.0]' software interface, divided into several functional areas:

- Manuelle Steuerung (Manual Control):**
 - 1)** Manual control options: 'Pulsweite' (pulse width) and 'Drehzahl' (rotation speed).
 - 2)** Manual control input fields for position and direction.
 - 3)** Park position settings: 'Park-Pos.: AZ = 235° EL = 3°' and buttons for 'Antenne austrasten', 'Antenne vor Parkposition fahren', 'Antenne einrasten', and 'Programm beenden'.
- 4) Rasterfahren (Grid Drive):**
 - Parameters: Elevation (3,0), Azimut (240), Messwert (0,00), Status (stopped), Messzeit ca. (00:02:43), Aktuell (00:01:29).
 - Buttons: 'Einstellungen laden', 'Einstellungen sichern', 'Bild mit speichern', 'Daten sichern'.
 - Controls: 'Schrittweite: 1', 'Sweeps: 1', 'Scannrichtung: horizontal/vertikal', 'Start', 'Pause', 'Stop'.
- 5) Not-Aus (Leertaste):** Emergency stop button.
- Status and Data:**
 - 6)** Status indicators: Azimut (CONNECTED, DATA-REQUEST, DATA VALID, POSITION OK), Motorstrom (0,00 A), Aktuelle PWM (0,00 %), Aktuelle Position (248,00).
 - 7)** Elevation status and data: Elevation (CONNECTED, DATA-REQUEST, DATA VALID, POSITION OK), Motorstrom (0,00 A), Aktuelle PWM (0,00 %), Aktuelle Position (9,00°).
 - 8)** 'Automatik-Modus abgebrochen' (Automatic mode interrupted) indicator.
- 9) Device Settings:** '240 Farben geladen', 'Farbpalette' selected, 'Aktuelle Palette: Test240', 'Anzeigefrequenz: 2456,0000 MHz'.
- 10) Device Configuration:** 'Pre-Amplifier: Aktivieren', 'Det.-Mode: RMS', 'gew. Bandbreite: 3M', 'tats. Bandbreite: 1 MHz', 'Attenuator: Off', 'Startfrequenz: 2450 MHz', 'Stoppfrequenz: 2500 MHz', 'Messzeit: 200 ms', 'Samples: 50', 'Dateiangaben in: KHz'.
- 11) DeviceWindow - [V.3.7]:** 'Spectran erfolgreich verbunden' (Spectrum successfully connected), 'Device-Liste aktualisieren' button.
- 12) Spectrogram:** A 2D grid plot showing signal intensity over time and frequency.
- 13) 3D-Grafik:** 3D spectral data visualization with 'X-Shift (%)', 'Y-Shift (%)', 'Y-Scale (%)', 'Y-Offset (dB)' settings.
- 14) 2D-Sweep:** 2D spectral data visualization with 'Y-Scale (%)', 'Y-Offset (dB)' settings.
- 15) Wasserfall:** Waterfall plot of spectral data with 'Linienbreite' (line width) setting.
- 16) 2D-Grafik:** 2D spectral data visualization with 'Multiline' checked, '2462 MHz, -64 dB', 'Y-Scale (%)', 'Y-Offset (dB)' settings.

Oberfläche der Messsoftware 1

Funktionen			
1)	Manuelle Steuerung: Azimut	9)	Einstellung der Anzeige
2)	Manuelle Steuerung: Elevation	10)	Einstellung des Spectrans
3)	Parkposition: anfahren, einrasten / ausrasten; Programm beenden	11)	Auswählen des Devices (Spectran, USB-Interface, Simulation)
4)	Einstellung für das Messraster	12)	Anzeige: Falschfarbenbild des Messrasters
5)	Not-Aus	13)	Anzeige: Messung Spectran in 3D
6)	Status des Azimutmotors	14)	Anzeige: Messung Spectran Single Sweep
7)	Status des Elevationsmotors	15)	Anzeige: Messung Spectran Wasserfall
8)	Einstellungen speichern	16)	Anzeige: Messung Spectran 2D

Das DebugData-Fenster ist drei Mappen unterteilt und kann ein- oder ausgeblendet werden. Die Mappe („Rohdaten-Anzeige“) gibt alle Status-Daten aus, wie die aktuelle Position und Verbindungs-Daten. „Einstellungen und Kalibrierung“ ermöglicht es, die Timer einzustellen und zu kalibrieren. „Spectran-Interface“ gibt alle Einstellungen und Messparameter des Spectrans an.

4.2 Testen der Steuerungssoftware

Als wir mit unserem Projekt begannen, war die neue Steuerungssoftware mit dem Teleskop noch nicht getestet. Das wurde von uns übernommen. Wir begannen, es manuell zu fahren, was ohne weiteres funktionierte. Bei einer ersten Rastermessung, traten die ersten Probleme auf. Das Zeitintervall des State-Timers war zu niedrig und es musste ein Wert gefunden werden, der möglichst klein war, aber die Software nicht abstürzen ließ. Denn: je niedriger der State-Timer eingestellt war, desto höher ist die Datenrate auf den Schnittstellen.

Wie man das so kennt, traten die Fehler einer nach dem Anderen auf. Immer wieder hat irgendeine Einstellung nicht gepasst, die erst im Code des Programmes geändert werden musste, bis weiter getestet werden konnte.

4.3 Erste Rastermessung

Wir stellten einen ersten Versuchsaufbau zusammen (s. Abb.5). Er beinhaltet den LNB und einen weiteren LNA. Nach dem ist ein SAT-Finder angeschlossen, der dazu ausgelegt ist, Satelliten zu finden, wie der Name schon sagt. Die Empfindlichkeit ist dabei einstellbar und ist nur so hoch zu stellen, dass er gerade so nicht mehr piept. Er gibt außerdem einen Wert weiter, wie hoch das Signal ist, das er misst. Außerdem ist an einem Ausgang ein Bias-T mit Abschlusswiderstand zur Stromversorgung und am anderen Ausgang ein USB-Interface zur Übertragung an den Computer geschaltet.



Abb. 5 : Messstrecke: 1) LNB; 2) LNA; 3) SAT-Finder; 4) USB-Interface; 5) Bias-T

Auch hier gab es erst Schwierigkeiten mit der Software, allerdings konnte nach deren Behebung eine erste gelungene Messung aufgenommen werden. Sie wurde im Messbereich 150° - 190° des Azimuts und 25° - 35° der Elevation, natürlich nach der alten Kalibrierung, und in 1° Schritten gemessen. Man erkennt schon zwei Satelliten deutlich und drei weitere.

4.4 Zweite Rastermessung

Aufgrund dieses Ergebnisses wurde sie mit gleichen Einstellungen, außer der Schrittweite, die auf $0,5^{\circ}$ gekürzt wurde, wiederholt. Hier sind alle Satelliten nun deutlicher und ein neuer Satellit zu erkennen. Drei davon konnten von uns identifiziert werden.

Dazu wurden die Koordinaten des Steuerprogramms für die gemessenen Radioquellen mit den offiziellen Koordinaten der Satelliten verglichen. Die Differenz lag ungefähr bei -11° im Azimut, die Elevation hat ziemlich genau gestimmt. Diese Erkenntnis erlaubt es nun, das Radioteleskop nach zu kalibrieren. Dazu wird der abweichende Wert in Form einer Anpassung der Parkposition in die Software eingefügt und bei weiteren Messungen berücksichtigt.



Abb. 6 : Messaufbau am Teleskop

4.3 Die Sonne

Die erste natürliche Quelle, die wir vermessen haben, ist die Sonne. Dazu wurde ein größerer Raster gefahren mit den aktuellen Koordinaten der Sonne ein wenig Puffer, in $0,5^{\circ}$ Schritten und

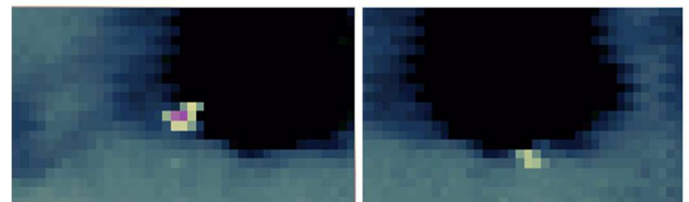
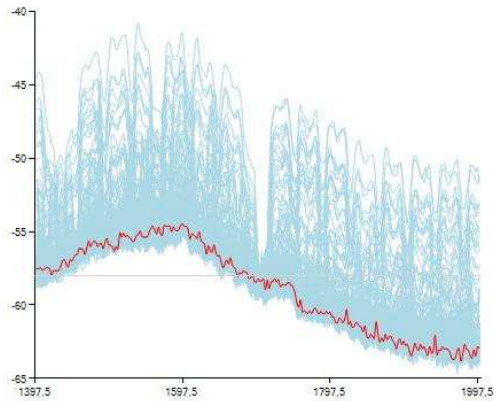


Abbildung 10

ohne Verstärker. Die Sonne ist der helle Fleck und der dunkle Fleck die freie Sicht auf den Himmel ohne Störstrahlung. Man kann mit Sicherheit sagen, dass es sich um die Sonne handelt, da sie, wie auf Abb. 10 zu sehen, gewandert ist, mit einer Geschwindigkeit von $0,25^{\circ}/\text{min}$.

4.4 Messungen mit dem Spectran

Eine der ersten Messungen mit dem Spektran ist die erneute Vermessung der geostationären Satelliten. Diese Messung hat ca. 30 Minuten gedauert und ging über den Messbereich: Azimut von 150°-170° und Elevation von 25°-30°, mit der Schrittweite 0,5°. Die Messung war auf den Frequenzbereich von 1400 – 2000 MHz ausgelegt, die Bandbreite betrug 5 MHz.



Messung mit dem Spectran 2 (Falschfarbenbild des Messrasters, mit 3 vermessenden Satelliten); die Messung erfolgte mit einer Winkelauflösung von 0,5°

Messung mit dem Spectran 1 (2D Ansicht der gemessenen Werte)

4.5 Fullscan

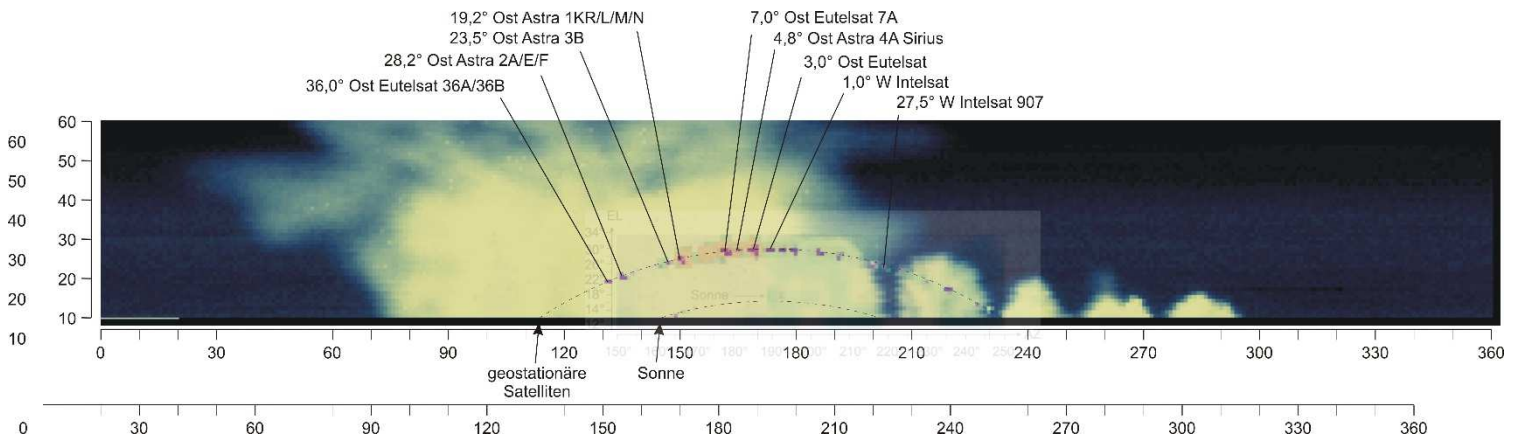


Abbildung 21

Der erste, und auch leider der bisher einzige; Fullscan; der gefahren wurde, ging über den Bereich 360° (Azimut) und 10°-60° (Elevation). Gemessen wurde mit einer Schrittweite von 1° und 9 ½ Stunden lang. Auf diesem Scan sieht man 16 Satelliten und den Verlauf der Sonne. Zum Vergleich wurde die ältere Messung des 70 cm – Spiegels auf die Messung

gelegt, um beide miteinander vergleichen zu können (s. unten). Von diesen 16 Satelliten wurden 13 identifiziert und in die Messung eingetragen. Es handelt sich wie geplant um geostationäre Satelliten. Die äußeren Skalen beschreiben die genaueren Kalibrierungen des Teleskops, die hinterher beibehalten wurden.

4.6 Vergleich mit älterer Messung

Vor ein paar Jahren wurde in der AG eine ähnliche Messung durchgeführt. Allerdings war das Radioteleskop eine umgebaute Satellitenschüssel mit einem Durchmesser von 70 cm. Der Messbereich war fast gleich, da damals ebenso die Satelliten gemessen werden sollten. Er ging von 150° - 250° im Azimut und 12° - 34° in der Elevation. Das Ergebnis war auch hier schon gut, man erkennt deutlich den Satellitenbogen in rot und dunkelblau. Allerdings zieht er sich durch und man erkennt einen bis maximal vier Satelliten einzeln. Die Sonne ist hier mit gemessen worden, dies war in den letzten Wochen jedoch mit dem 2,40 m - Teleskop nicht möglich. Beim Rest handelt es sich um Bäume, die Störstrahlung reflektieren.

Der Unterschied zu der jetzt durchgeführten Messung des Fullscans liegt in der Auflösung. Zum einen ist die Reflektorfläche des 2,40 m – Teleskops etwa neunmal so groß, wie der des 0,7 m – Spiegels. Außerdem beträgt der Mindestwinkelabstand zweier Objekte (s. (3)) statt den damaligen $16,3^\circ$ bis $17,8^\circ$ nur noch $5,4^\circ$ bis $5,9^\circ$. Schaut man sich Abb. 11 an, so erkennt man die Auflösung auch an der Größe der gemessenen Satelliten. Wo man in der älteren Messung nur 4 – 5 Satelliten erkennt, verstecken sich wie bei Abb. 11, 16 Satelliten. Die Positionierung ist ebenfalls ungenauer gewesen. So besteht jetzt beim Azimut eine Ungenauigkeit bis auf 1° und bei der Elevation bis auf $0,5^\circ$.

5. Probleme und Fehleranalyse

Wie man an dieser Arbeit sieht, ist nicht alles geschafft worden. Es war viel mehr vorgenommen, aber ein paar Faktoren haben uns aufgehalten. Ein großer Zeitfresser war die Software, die wir als die Ersten getestet haben und an der natürlich noch viele kleine Dinge ausgebessert werden mussten. Dies geschieht stetig, da die Software noch nicht voll ausgereift ist.

Genauso wenig ändern kann man ein zweites Problem: das Wetter. Ab Windstärke 6 sollte der Reflektor spätestens in seiner Parkposition sitzen, da sonst der Azimutantrieb auseinander reißt. Leider gab es diese erst nach den ersten Stürmen und der Motor musste ausgewechselt werden, weshalb das Teleskop auch für diese Zeit ausfiel. Im Regen ist es ebenfalls schwierig, da die ganze Elektronik draußen am Teleskop steht und kaputt geht.

Ein dritter Punkt ist, dass wir nicht die Einzigen sind, die am Teleskop arbeiten und auch mal warten müssen, bis die Anderen fertig sind.

Der letzte Punkt betrifft den Spectran, dessen FTDI-Treiber die gleichen sind, wie die der Motoren. Die Software hat nun ein Problem, eingehende Daten auseinander zu halten. Dies wurde nun gelöst, allerdings nicht zeitnah, sodass keine große Messung durchgeführt werden konnte. Bei ersten Versuchen mit dem Spectran stellte sich heraus, dass dieser sehr scharf misst und man einen Messpunkt auf die Genauigkeit von $0,5^\circ$ anfahren muss.

Fehler in den Messungen sind natürlich nicht auszuschließen. Zum einen kann es immer einen weiteren Fehler in der Software geben, bzw. in der Auswertung der eingehenden Signale. Dazu gehört auch das Eigenrauschen der Komponente und Kabel und Störquellen in der Umgebung wie z.B. Sendemasten oder reflektierende Bäume.

Auch kann das Teleskop selbst zu ungenau oder falsch kalibriert sein, sodass die Koordinaten nicht stimmen. Die Positionierung kann ebenfalls zu ungenau sein.

6. Fazit

Unser Ziel konnten wir leider nicht erreichen, da doch mehr Fehler in der Software dazwischen gekommen sind, als erwartet und das Wetter nicht mitgespielt hat (s. „Probleme und Fehleranalyse“). Allerdings sind wir auf einem sehr guten Weg, denn das Programm funktioniert jetzt endlich, wodurch fleißig weiter gemessen werden kann.

Wir sind aber über die Ergebnisse, die bis jetzt heraus kamen, schon sehr glücklich, denn sie bringen das gesamte Projekt voran. Durch die erneute Kalibrierung kann nun präziser gemessen werden.

7. Ausblick

Da unsere Zielsetzung noch nicht erfüllt ist werden wir in den nächsten Wochen bis zum Landeswettbewerb auf jeden Fall noch Messungen durchführen. Darunter fallen eine weitere von dem Satellitenbogen, allerdings dieses Mal mit vorgeschaltetem LNA, und eine zweite und dritte komplette Himmelskartierung. Diese sollen zum Ersten die vollen 90° der Elevation enthalten und zum Zweiten mit dem Spectran aufgenommen werden. Des Weiteren soll diesen Sommer unser ganz großer Spiegel (4 m) seinen festen Standplatz bekommen und in Betrieb genommen werden. Unsere Erfahrungen werden dann von großem Nutzen sein.

8. Danksagung

Wir bedanken ganz herzlich bei Julia Bienert und Thomas Biedermann, die uns mit Rat und Tat zur Seite standen und ihre Zeit geopfert haben. Ebenfalls bedanken wir uns bei Susanne Biedermann, die uns bei zahlreichen Meetings mit Essen und Getränken versorgt hat.

9. Quellen

[1]: http://de.wikipedia.org/wiki/Geostationärer_Satellit#Geostation.C3.A4re_Umlaufbahn

[2]: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung>

[3]: http://de.wikipedia.org/wiki/Schwarzes_Loch

[4]: <http://www.wasistwas.de/archiv-wissenschaft-details/was-ist-die-milchstrasse.html>

[5]: <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de/hyperphysics/hyperphysics/hbase/quantum/h21.html>

[6]: <http://www.astronews.com/glossar/eintraege/supernova.html>