



Thomas Rapp, DD 2 RT

Radio-Astronomie mit kleinen Antennen

Normalerweise kommen einem beim Begriff „Radioastronomie“ die riesigen Antennenanlagen der professionellen Radioastronomen in den Sinn. In der Tat sind Messungen der breitbandigen kosmischen Synchrotronstrahlung nur mit größeren Spiegeln und einer ausgefeilten Technik möglich [1] [2].

Günstiger sind die Verhältnisse bei Messungen der Strahlung des im Universum vorkommenden Wasserstoffs.

1. Einführung

Die Frequenz der Wasserstoffstrahlung liegt bei 1420 MHz. Obwohl das Profil der Wasserstoffemission durch Vorgänge wie Doppler- und Starkeffekt verbreitert ist, ist die spektrale Leistungsdichte um ein Vielfaches höher, als die der thermischen und Synchrotronstrahlung. Ein entsprechender Empfänger mit kleiner Bandbreite kann somit das Signal-/Rausch-Verhältnis deutlich erhöhen.

2. Der Aufbau

Als Antenne wurde ein Gitterreflektor (**Bild 1**) mit einer Fläche von 90 x 70 cm und einem f/D-Verhältnis von 0,33 bzw. 0,43 verwendet. Bei der gewünschten Empfangsfrequenz von 1420 MHz hat die Antenne einen Öffnungswinkel von 13° bzw. 17°. Diese Werte wurden mit einer Sonnendurchgangsmessung bestätigt.

Das ursprüngliche Feedsystem für 2,45 GHz wurde entfernt und durch eine für 1420 MHz dimensionierte und selbst gefertigte Reflektor-Dipol-Kombination mit integriertem Symmetriertopf ersetzt (**Bild 1**).

Das Stehwellenverhältnis wurde mit einem Netzwerkanalysator 8720 von AGILENT gemessen, es zeigt ausreichend gute Werte. Die neue Speiseeinheit ist breitbandig genug um auch Vergleichsmessungen im 23-cm-Band und mit den INMARSAT-Satelliten unternehmen zu

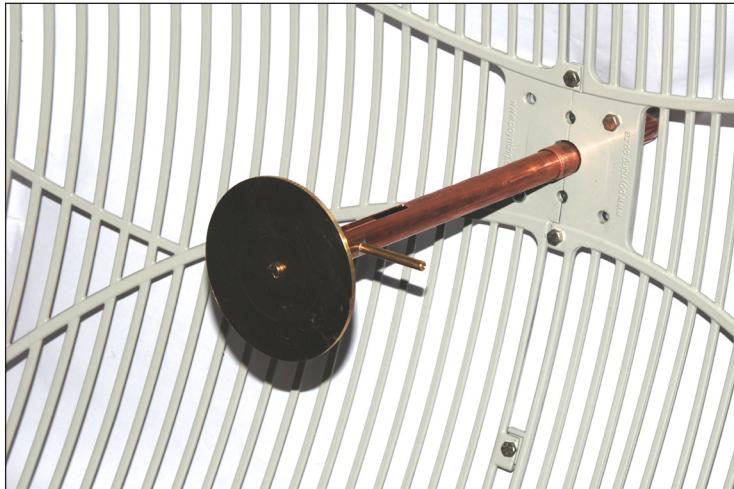


Bild 1:
Alu-Gitterspiegel
mit Feedsystem
für 1420 MHz

können (**Bild 2**).

Der rauscharme Vorverstärker von [3] wird direkt hinter der Antenne montiert. Er war ursprünglich für das 23-cm-Band gedacht, wurde aber für 1420 MHz optimiert. Der LNA hat eine Verstärkung von 39 dB bei einem Rauschmaß von 0,6 dB.

In dem von der Antenne abgesetzten Empfänger befindet sich ein weiterer Verstärker (unbekannter Hersteller, Ebay) mit einer Verstärkung von 20 dB, der sicher auch durch einen Inline-Sat-Verstärker ersetzt werden könnte.

3. Messungen

Für Rausch- und thermische Messung folgt im Signalzug ein Sat-Tuner, dessen AGC-Spannung digitalisiert und im PC weiter verarbeitet wird. Mittels einer

Heiß/Kalt-Messung [4] (Raumtemperatur - LN_2) wurde eine Rauschtemperatur der Anlage von 25,8 °K ermittelt.

Die nächsten Messungen erfolgten mit der Antenne, die zu diesem Zweck an einen Rotor [5] montiert wurde. Zunächst wurde der Zusammenhang der Rauschleistung in Abhängigkeit vom Höhenwinkel der Antenne gemessen. Der Unter-

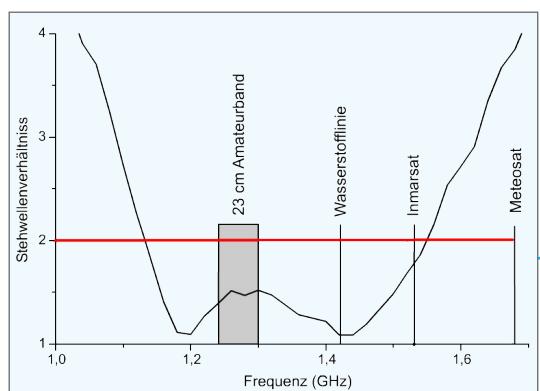


Bild 2: SWR-Messung des 1420 MHz-Feedsystems

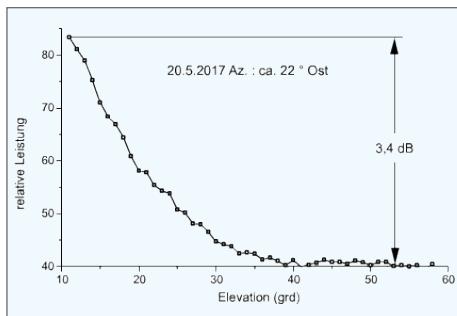


Bild 3: Abhängigkeit der empfangenen Rauschleistung vom Höhenwinkel der Antenne

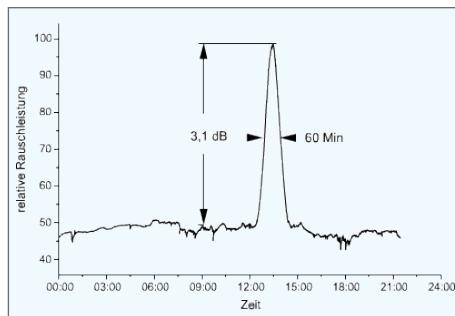


Bild 4: Messung des Sonnenrauschens

schied zwischen dem warmen Horizont und dem kalten Himmel beträgt 3,4 dB. Die Messung des Sonnenrauschens ergibt einen Signalanstieg von 3,1 dB. Für die Berechnung der Halbwertsbreite des Sonnenpeaks und damit des Öffnungswinkels der Antenne kann nicht einfach der Punkt der halben Leistung (3,1 dB / 2) verwendet werden, sondern es muss die System-Rauschtemperatur berücksichtigt werden.

Rauschtemperatur Verstärker	T_{Rx}	26°K
Rauschtemperatur Antenne	$T_{Ant.}$	14°K
Rauschtemperatur kalter Himmel	T_{kH}	40°K
System-Rauschtemperatur	T_{Sys}	80°K

Der erste der drei Werte wurde mit der Heiß/Kalt-Messung bestimmt, 2 und 3 sind Erfahrungswerte aus langjährigen Messungen [6]. Die System-Rauschtemperatur ist die Summe dieser drei Werte. Aus der System-Rauschtemperatur und dem gemessenen Signalanstieg ΔP kann nun die durch die Sonne verursachte An-

tennentemperatur T_{ASo} berechnet werden.

$$T_{ASo} = (10^{\Delta P/10} - 1) \times T_{Sys}$$

$$T_{ASo} = (10^{3,1/10} - 1) \times 80^{\circ}\text{K} = 83,34^{\circ}\text{K}$$

Mit der halbierten Antennentemperatur T_{ASo2} von $83,34^{\circ}\text{K} / 2 = 41,67^{\circ}\text{K}$ kann nun zurück gerechnet werden:

$$\Delta P = 10 \times \log ((T_{sys} + T_{ASo2}) / T_{sys})$$

$$\Delta P = 10 \times \log 80^{\circ}\text{K} + 41,67^{\circ}\text{K} / 80^{\circ}\text{K} = 1,82 \text{ dB}$$

Der Signalanstieg zur Messung des Öffnungswinkels der Antenne beträgt somit 1,82 dB.

Die Halbwertsbreite des Peaks beträgt 1 Stunde, entsprechend einer Winkeldrehung der Erde von 15° , was in etwa mit dem erwarteten horizontalen Öffnungswinkel der Antenne übereinstimmt (**Bild 4**).

Spektrale Messungen sind mit dem breitbandigen Sat-Tuner (etwa 20 MHz) nicht möglich. Zu diesem Zweck kam anstelle des Tuners ein SDR-Empfänger zum Einsatz. Hier war es ein kostengünstiger RTL-

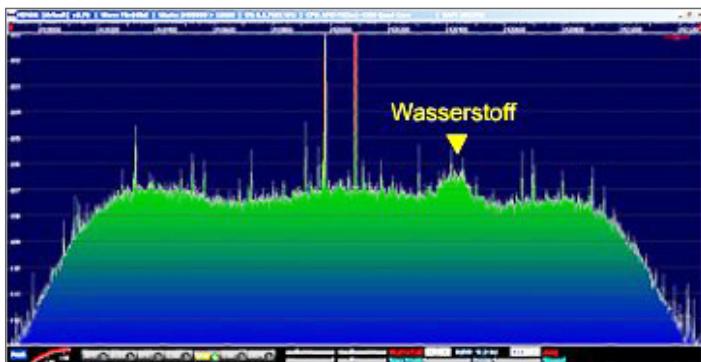


Bild 5:
Der, im Programm
HDSDR, deutlich
sichtbare Wasser-
stoffpeak bei
1420 MHz

SDR-Stick, betrieben mit dem Freeware-Programm „HDSDR“ [7].

Bei richtiger Antennenstellung und passender Uhrzeit ist im Ausgabefenster des Programms sofort das Band der Wasserstoffemission erkennbar (**Bild 5**).

4. Auswertungen

Für eine weitere Auswertung fanden für verschiedene Höhenwinkel der Antenne, während einer Dauer von 24 Stunden alle 30 Minuten für jeweils 30 Sekunden Messungen statt. So erhält man vom HDSDR-Programm pro Höhen-

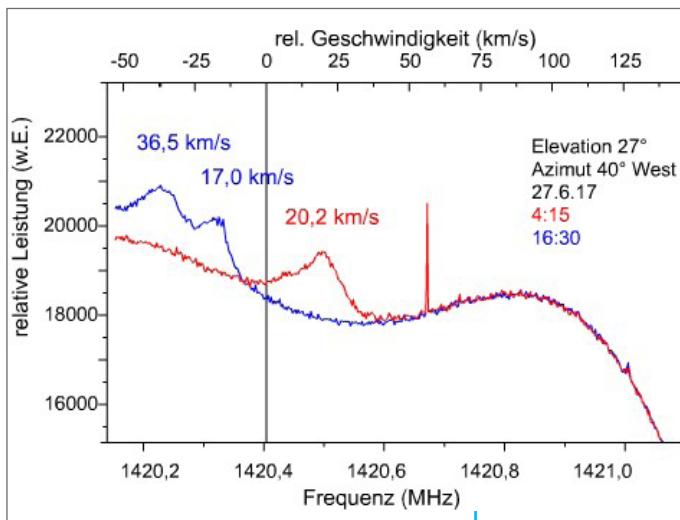


Bild 6:
Spektren zu unter-
schiedlichen Mess-
zeiten zeigen Objekte
mit unterschiedlichen
Geschwindigkeiten

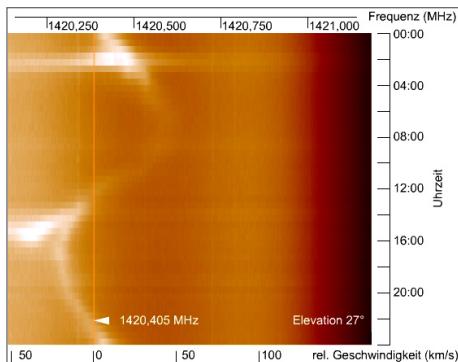


Bild 7: In einer Frequenz/Zeit-Karte werden beide Arme der Milchstraße sichtbar

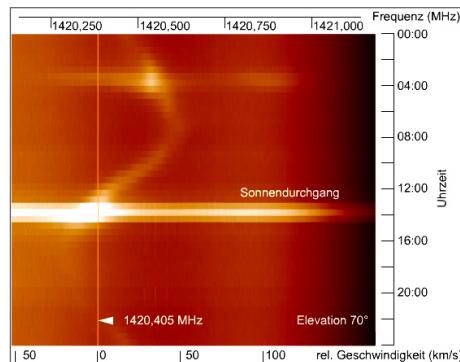


Bild 8: Bei einem größeren Höhenwinkel wird auch der Sonnendurchgang sichtbar

winkel und Tag 48 Wave-Dateien, welche die rohen IQ-Daten enthalten. In einem in der Sprache „DELPHI“ geschrieben Programm werden die einzelnen Wave-Dateien eingelesen und einer Fouriertransformation unterworfen. Die während einer Dauer von 30 Sekunden gemessenen Daten reichen aus, um etwa 65000 Spektren mit einer Auflösung von 1024 Kanälen zu berechnen. Aus den 65000 Spektren erhält man durch Mittelung ein nahezu rauschfreies Einzelspektrum.

Zwei solcher Einzelspektren zeigt **Bild 6**. Aus der gemessenen Dopplerschiebung zwischen der Emissionsfrequenz des ruhenden Wasserstoffs und der gemessenen Frequenz kann nun die Richtung und relative Geschwindigkeit des beobachteten Objekts geschlossen werden. Man sieht verschiedene Arme der Milchstrasse zu unterschiedlichen Zeiten die Antennenkeule passieren. Bei der Messung um 16:30 Uhr befinden sich sogar zwei Objekte mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten im Sichtbereich.

Aufschlussreich ist die Darstellung der

gemessenen Daten als Frequenz/Zeit-Karte, wobei die gemessene Leistung mit einer Farbskala kodiert wird (**Bild 7**). Man kann erkennen, dass neben der fast immer messbaren Strahlung der Milchstrasse um 16 Uhr ein einzelnes Objekt sichtbar wird. Der Blick in eine elektronische Himmelskarte [8] gibt Anlass zu der Vermutung, dass es sich hierbei um den „Orionnebel“ handeln könnte.

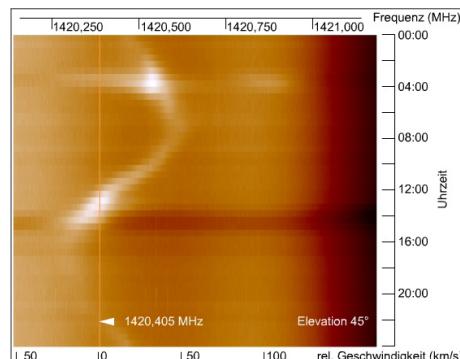


Bild 9: Der Einfluss der Sonne kann rechnerisch beseitigt werden, sodass nur die Wasserstoffstrahlung zu sehen ist

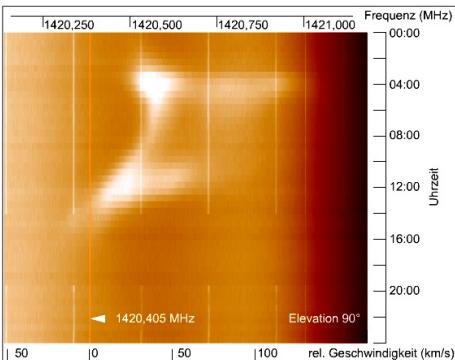


Bild 10: Die starken Quellen um „Cassiopeia“ im Zenit

Interessant ist auch eine Messung mit einem Winkel von 70° , wobei zusätzlich der Durchgang der Sonne erfasst wird.

Da die Sonne eine breitbandige thermische Strahlung sendet, kann man mit einer einfachen Subtraktion des Untergrundes auch nur die Wasserstoffstrahlung darstellen (**Bild 9**). Ein Bild wie es zu einer anderen Jahreszeit zu messen wäre, wenn die Sonne an einer anderen Position, als die der Arm der Milchstrasse erscheint.

Bei einem größeren Höhenwinkel von 90° (**Bild 10**) sind die starken Quellen um „Cassiopeia“ zu sehen.

Selbst bei einem Höhenwinkel von 0° (**Bild 11**) kann noch der Einfluss der Milchstrasse, in diesem Fall „Sagittarius“ gemessen werden. Zwar ist es auf der Frequenz/Zeit-Karte nur zu erahnen, aber ein „Linescan“ (**Bild 12**) um 1:30 Uhr zeigt den Wasserstoffpeak deutlich.

5. Automatisierte Messungen

Für weiterführende Messungen wird der Umweg über das Programm „HDSDR“ verlassen und im eigenen „DELPHI“-Programm die Daten sowohl aufgenommen, als auch ausgewertet.

Dazu wird das DOS-Programm „rtl_sdr.exe“ [9] über die WINDOWS-Funktion „Winshell“ aufgerufen. Dieses Programm liefert bei jedem Aufruf eine Datei mit den IQ-Rohdaten, die dann in gewohnter Weise verarbeitet werden. Auf diese Weise können die Messungen automatisiert werden, d.h. es müssen nicht mehr die erzeugten Wave-Dateien von Hand eingelesen werden. Dadurch wird es möglich, die Messrate deutlich zu erhöhen, von zwei Messungen pro Stunde auf 30 Messungen pro Stunde. Zudem kann das Programm auch für die Verstellung des Höhenwinkels der Antenne sorgen, sodass in relativ kurzer Zeit der gesamte sichtbare Himmel mit der Antenne gesucht werden kann.

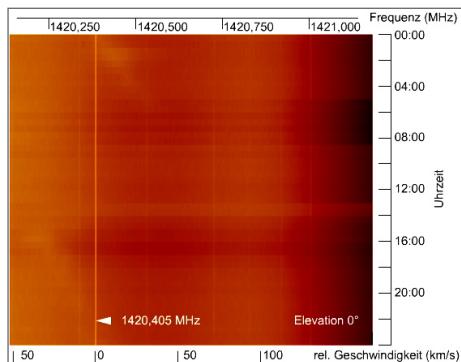


Bild 11: Horizontmessung im Bereich von „Sagittarius“

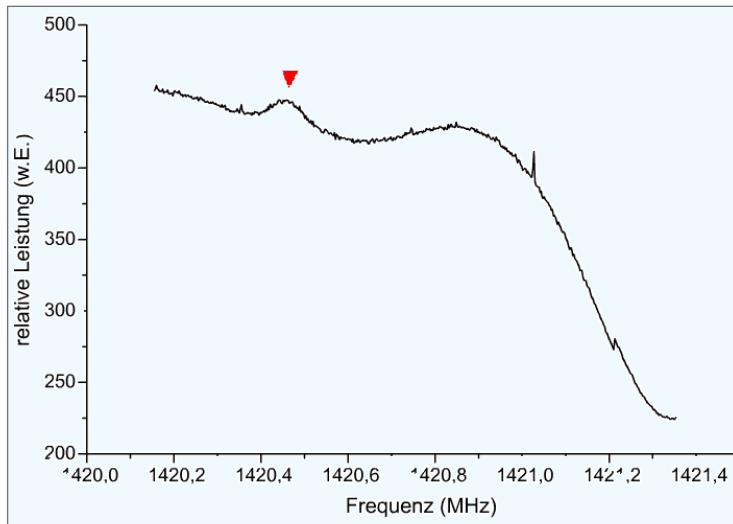


Bild 12:
Der gut messbare
Wasserstoffpeak
des Zentrums der
Milchstraße im
„Sagittarius“

6. Fazit

Das Projekt zeigt, dass die Messung der Strahlung des interstellaren Wasserstoffs mit einfachen Mitteln kostengünstig durchgeführt werden und dennoch schöne Ergebnisse erzielt werden können.

Bemerkenswert ist noch die Tatsache, dass sich im gesamten Signalweg keine nennenswerte Frequenzselektion befindet. Die Selektion findet erst im Auswerteprogramm durch die Fouriertransformation statt. Trotzdem haben Störungen in benachbarten Bereichen wenig Einfluss auf die Messungen.

7. Dank

Bedanken möchte ich mich bei Herman Hagn, DK8CL und Max Münich, DJ1CR für die anregenden Diskussionen

und die wertvollen technischen Hilfen zu diesem Projekt.

8. Quellen

- [1] Herman Hagn, UKW-Berichte 3/1990
- [2] Herman Hagn, UKW-Berichte 2/1994
- [3] Roberto Zech:
www.dg0ve.de
- [4] Hermann Hagn, UKW-Berichte 4/1996
- [5] Rapp-Instruments:
www.rapp-instruments.de
- [6] Hermann Hagn, persönliches Gespräch
- [7] HDSDR: www.hdsdr.de
- [8] HNSky:
<http://www.hnsky.org/software.htm>
- [9] <https://osmocom.org/projects/sdr/wiki/rtl-sdr>