

Technisches Memo



Untersuchung nutzbarer Spektralbereiche für die Radioastronomie im Bereich 300 MHz – 900 MHz

Reinhard Keller, Karl Grypstra

Max-Planck-Institut für Radioastronomie

Elektronik Abteilung

Auf dem Hügel 69

53121 Bonn, den 27.12.2010



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT



Abstract und Hintergrund

Die Frequenzbereiche im dm – Wellen Bereich unterhalb der HI Linie des Wasserstoffs sind fast durchgängig von legalen Funkdiensten mit zum Teil hoher Sendeleistung belegt. Für die Radioastronomie dagegen sind nur schmale Bereiche von wenigen MHz freigehalten. Um breitbandig zwischen den vorhandenen Diensten messen zu können muss sichergestellt sein, dass die empfangnen Signale in ihrer Amplitude so gering sind, dass sie das Empfangssystem mit seinen Komponenten vom LNA über Zwischenverstärker bis zum A/D Wandler nicht in die Sättigung treiben. Diese würde zu einer Vielzahl von Modulationsprodukten führen, die jede Aussage über das astronomische Signal unmöglich machen würden.

In diesem Memo wird deshalb der gesamte Frequenzbereich auf seine Belegung und insbesondere auf starke Signale untersucht. Es wurden Spektren bei verschiedener Elevation mit dem RFI Monitoring System der Systemgruppe aufgenommen, die hier bewertet und diskutiert werden. Als Ergebnis wurden Frequenzbereiche definiert, die keinesfalls für astronomische Messungen geeignet sind und damit durch analoge Filter unterdrückt werden müssen.

Messungen

Als Ausgangsbasis der Untersuchung dient das folgende Wasserfalldiagramm über den Frequenzbereich 500 MHz bis 1 GHz. Das Diagramm wurde mit dem Spektrumanalyser von Rhode&Schwartz aufgenommen und zeigt in erster Linie die Frequenzbelegung des Bereichs. Über die Intensität kann nur bedingt durch die Farbe der Linien eine Aussage getroffen werden. Trotzdem kann man dem Diagramm entnehmen, dass auf Grund der schwachen Belegung in weiten Frequenzbereichen eine sinnvolle Beobachtung möglich sein sollte, wenn die spärlichen Störungen digital gefiltert werden.

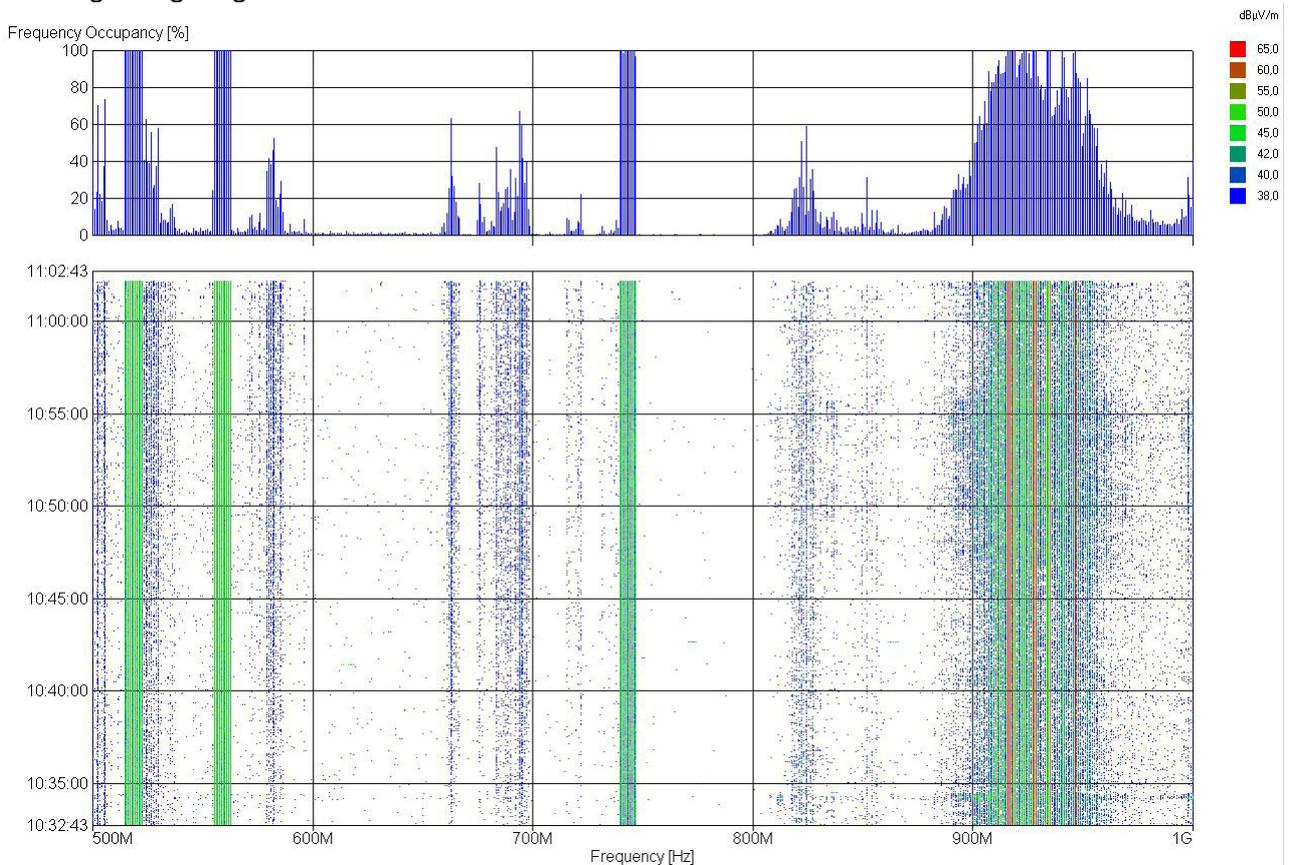


Abbildung 1: Breitbandspektrum zwischen 500 - 1000 MHz vom 31.7.2009. Ein dynamisches Spektrum (unten) über der zeit und die relative Häufigkeit der Frequenzbelegung (oben).



300 MHz – 500 MHz:

Auf Grund der unterschiedlichen Empfindlichkeit des Messsystems über der Frequenz wurde für diesen Frequenzbereich auf ältere Messungen mit einem Anderen Messsystem zurückgegriffen:

Frequenzbelegungsmessung vom Dach der Fokus-Kabine des 100-m-Radioteleskops am 15.10.2010 und am 27.5.2010:

Am 15.10. wurde speziell der Frequenzbereich 300-900MHz auf Belegung mit unterschiedlichen Diensten und anderer RFI untersucht. Die Messungen sollten eine Übersicht geben, wo radioastronomische Messungen sinnvoll sind und wo Pegel fremder Dienste erwartet werden die den Empfänger in die Sättigung treiben könnten sodass eine Beobachtung unmöglich wird.

Messaufbau vom 15.10.2010:

- Log-Periodic Antenne der Fa. R&S (HL223),
- Verstärker: Teledyne-Cougar AC-2092 (nur zu Beginn verwendet)
- Kabel: 2 Stück Suhner Sucoflex, je 3 m lang
- Spektrum-Analysator: R&S FSU 26 mit eingeschaltetem Preamplifier
- Wetter: hochnebelartig mit feinem Nieselregen

Den sog. Antennenfaktor, d.h. der Korrekturfaktor mit dem die gemessene Leistung beaufschlagt werden muss ist in Abb. 2 dargestellt. Damit entspricht z.B. einer gemessene Leistung von – 80dBm in Bandmitte einer tatsächlich mit einem isotropen Kugelstrahler empfangenen Leistung von -100dBm.

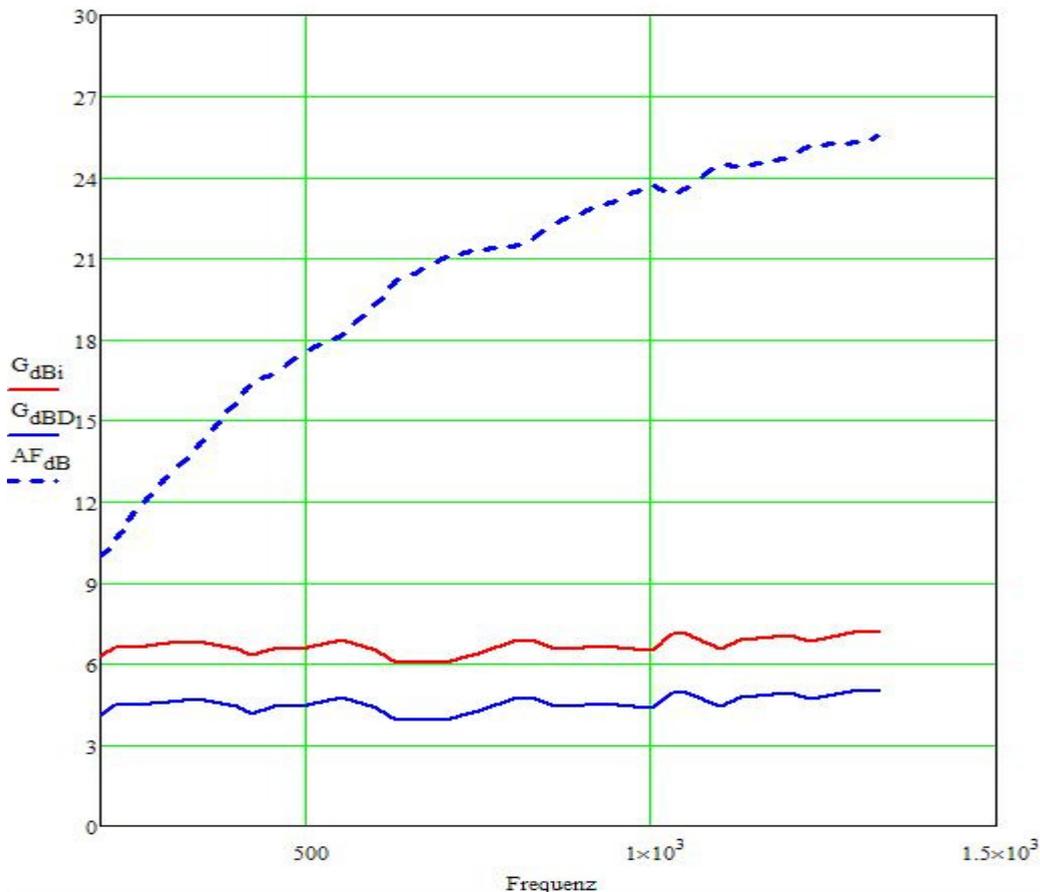


Abbildung 2: Antennenfaktor AF in dB/m, Gewinn bezogen auf den isotropen Kugelstrahler G_{dB*i*} als Funktion der Frequenz in MHz.



Abbildung 3 zeigt den gesamten Frequenzbereich von 300 – 900MHz in Richtung Osten. Deutlich sind die Fernsehkanäle von 470 bis 838 MHz zu erkennen, aber auch viel versprechende Lücken in der Belegung von 606 – 665 MHz. Im Bereich des ISM Bandes von 433 – 437 MHz sind viele Linien mit wechselnder Feldstärke zu sehen. Oberhalb 790 MHz ist die Belegung wieder relativ gering. Die Aufnahmen wurden in Zenithstellung des Teleskops gemacht, also mit maximaler Sichtbarkeit der gemessenen terrestrischen Strahlung.

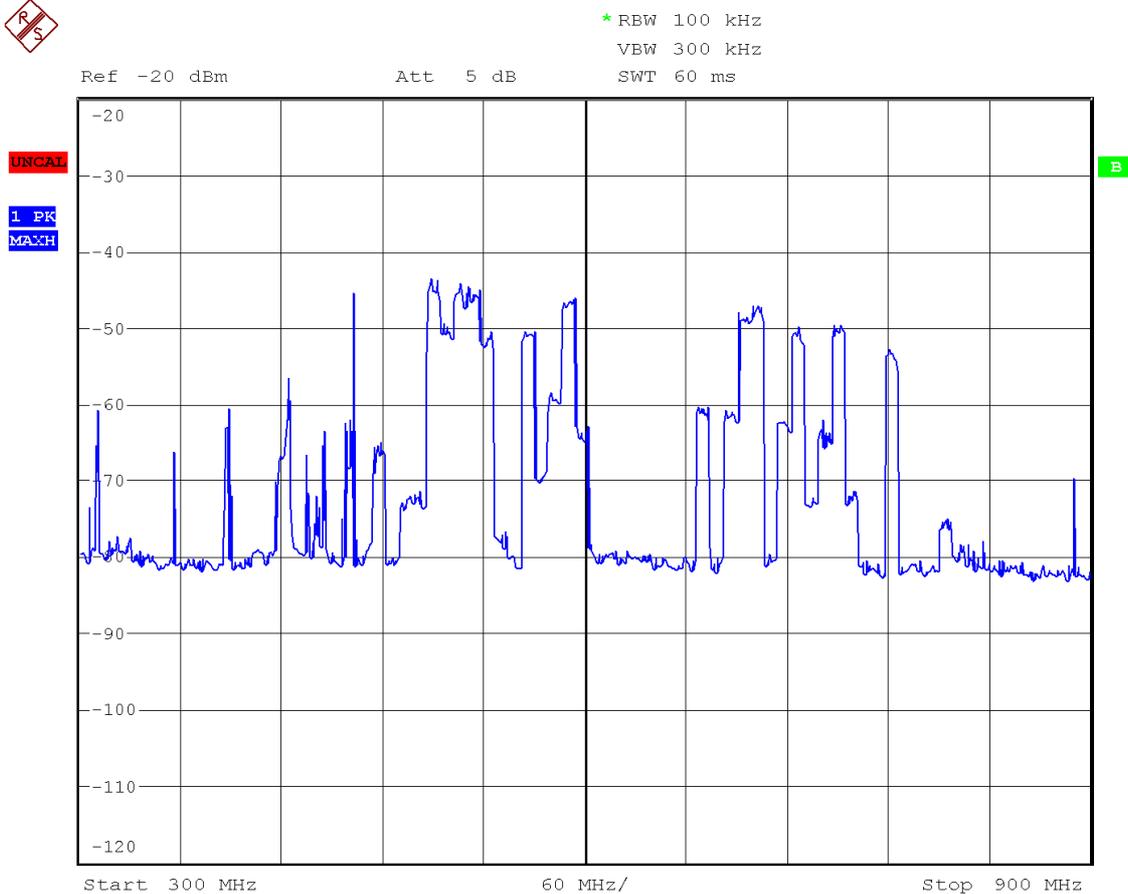


Abbildung 3: Breitbandspektrum zwischen 300 - 900 MHz vom 15.10.2010 gemessen auf dem Dach der Fokuskabine in Richtung Wettermast (Ost).

Messaufbau vom 27.5.2010:

- LP-Antenne EMCO 3146.
- Vorverstärker Agilent 87405-60021 Gain= 25 dB
- Koaxialkabel RG-214, 13 m lang mit folgender Kabeldämpfung über der Frequenz:

Frequenz in MHz	Loss in dB
200	1,3
400	2,0
600	2,5
800	3,0
1000	3,4
1200	3,8
1400	4,2
1600	4,6
1800	5,0
2000	5,3

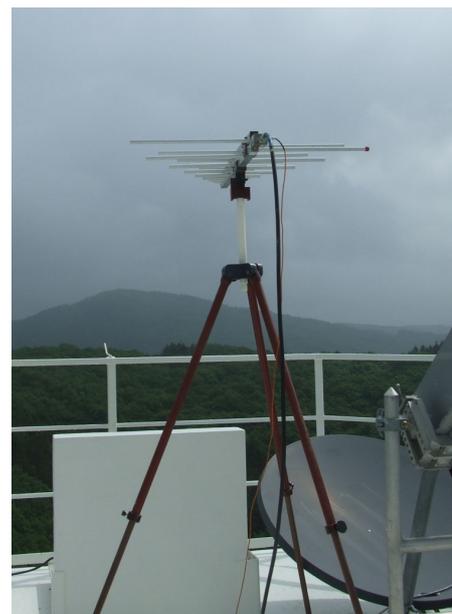


Abbildung 4: Messantenne EMCO



Daraus ergibt sich für die nachfolgend gezeigten Messungen ein um ca. 20 dB niedrigerer Pegel als dargestellt. Der Spektrum-Analysator: Rohde&Schwarz FSU 26 wurde mit eingebautem Vorverstärker betrieben.

Die nachfolgenden Diagramme in Abb. 5 stellen 100-MHz-Frequenz-Intervalle mit jeweils angegebener Mittenfrequenz dar (Beispiel: bei $f = 250$ MHz wird das Frequenzintervall 200 – 300 MHz dargestellt). Die Antenne wurde im Azimut jeweils in die Haupthimmelsrichtungen gedreht, zusätzlich wurde eine Messung bei 90° Elevation, also im Zenith zeigend durchgeführt. Horizontale und vertikale Polarisierung wurden getrennt gemessen, es werden hier nur die Azimutpositionen und Polarisierungen mit den stärksten Störern dargestellt. Der Analysator wurde im Max.Hold-Mode betrieben, um auch sporadische Ereignisse zu erfassen. Die Messzeit betrug jeweils einige Sekunden bis einige zehn Sekunden. Der Referenz-Level in der Darstellung ist -30 dBm, bei 5 dB/Div., davon ist die Systemverstärkung von 20 dB abzuziehen (s.o.). Daraus folgt der dargestellte Dynamikbereich von -50 dBm bis -100 dBm.

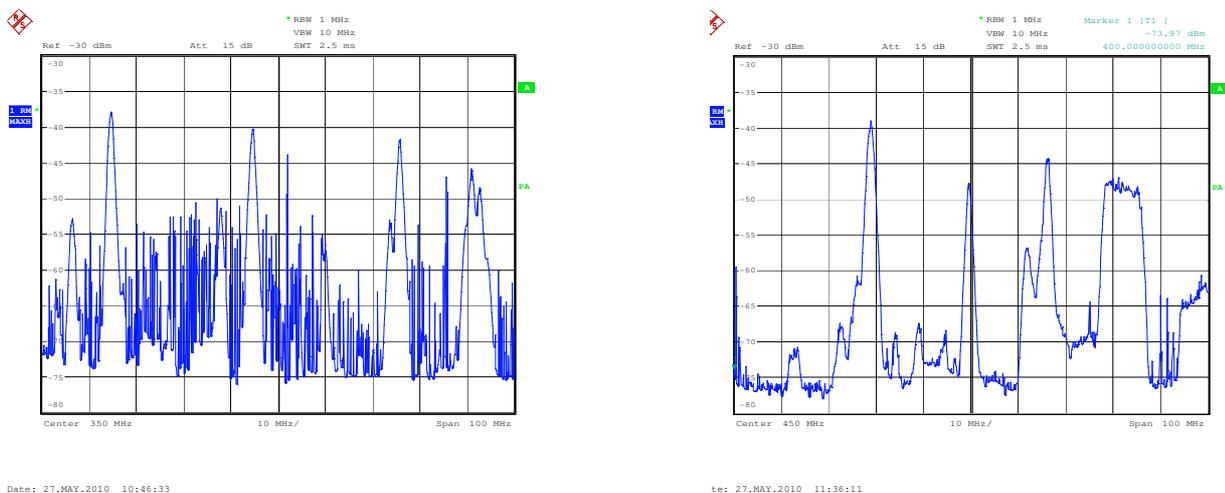


Abbildung 5: Spektrale Darstellung der Amplitude im Bereich -100 dBm bis -50 dBm, 5 dB/div.,
a) $f = 300 - 400$ MHz, Pol. = vert., AZM= 000° b) $f = 400 - 500$ MHz, Pol. = hor., AZM= 180°

Im Frequenzbereich 300 – 400 MHz (Abb. 5 a) ist im Wesentlichen ein breites Spektrum des mobilen Flugdienstes ziviler und militärischer Nutzung zu erkennen. Hier besteht die berechtigte Hoffnung, dass zwischen den Funkpausen noch Radioastronomie gemacht werden kann. Der Empfänger wird die dargestellten Pegel noch verkräften, es wird aber eine intensive Störunterdrückungsstrategie benötigt um das gewünschte Signal von den Störern zu separieren.

Der Bereich 400 – 500 MHz (Abb 5 b) zeigt zwei starke Linien im 70cm Mobilfunkbereich (Taxifunk, Betriebsfunk) und mobilen Behördenfunk (Polizei, Feuerwehr) die ebenfalls noch im Empfänger toleriert werden können. Die tatsächlich verwertbaren Bereiche sind jedoch relativ schmal und hoffentlich noch verwertbar.

Messungen mit dem RF Monitoring System (RFMS) der Systemgruppe:

Die Antenne des RFMS ist auf dem Dach der Fokuskabine und zeigt in Richtung der optischen Achse des Teleskops. Es handelt sich um eine Log-Perjodic Antenne mit einem Öffnungswinkel von ca. $\pm 40^\circ$. Das Empfangssystem ist in der Fokuskabine und im Empfängerraum untergebracht und besteht aus folgenden Komponenten:

- LP Antenne R&S HL-050, Frequenzbereich 1-18 GHz, 5 dBi
- Vorverstärker Miteq AFD3-020040-15-10P, 2-4GHz (verwendbar ca. 0,5-4 GHz) 33 dB Gain, P1dB = +10dBm
- Pufferverstärker HP 87405C-60021, 0,1-18 GHz, 25 dB Gain, P1dB = +15dBm.



- Analoger optischer Link (AOL) Ortel 0,1 – 6 GHz, 40 dB Dämpfung.
- Spektrumanalyser R&S FSU 26, 0-26 GHz.

Abb 6 zeigt den gleichen Frequenzbereich bis 800MHz gemessen mit dem RFI-Monitor System, welches allerdings im unteren Frequenzbereich bis 500MHz deutlich unempfindlicher ist als das o.a. System. Deshalb kann diesem Diagramm unterhalb von 500 MHz nichts Wesentliches entnommen werden.

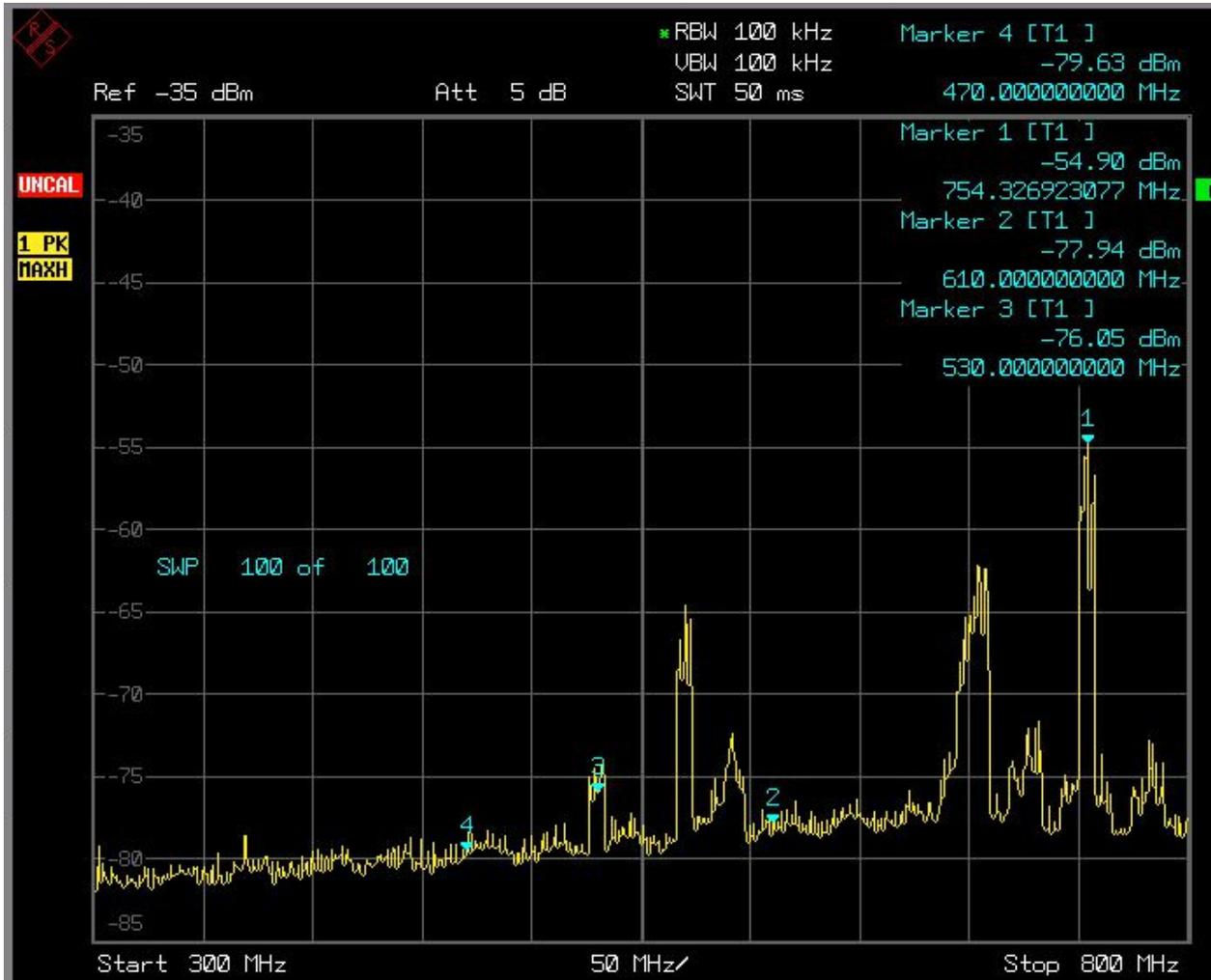


Abbildung 6: Frequenzbereich 300 – 800 MHz, aufgenommen mit RFI-Monitor bei AZ 208°, EL 7°

500 MHz – 900 MHz:

Messungen mit dem RF Monitoring System der Systemgruppe:

Es wurde zunächst der gesamte Bereich 300-900 MHz gemessen und betrachtet. Dazu ist zu beachten, dass die mit der vorhandenen Antenne aufgenommene Störstrahlung bei einer Elevation des Spiegels von 90° maximal ist. Dies dürfte daran liegen, dass die RFMS Antenne sich dann auf maximaler Höhe befindet und der Störstrahlung maximal ausgesetzt. Deshalb wurden alle weiteren Betrachtungen auf Grund der Messungen bei EL 90° durchgeführt. Abbildung 7 zeigt den gesamten Frequenzbereich, wobei nur der Bereich 500 – 900 MHz Gültigkeit besitzt.



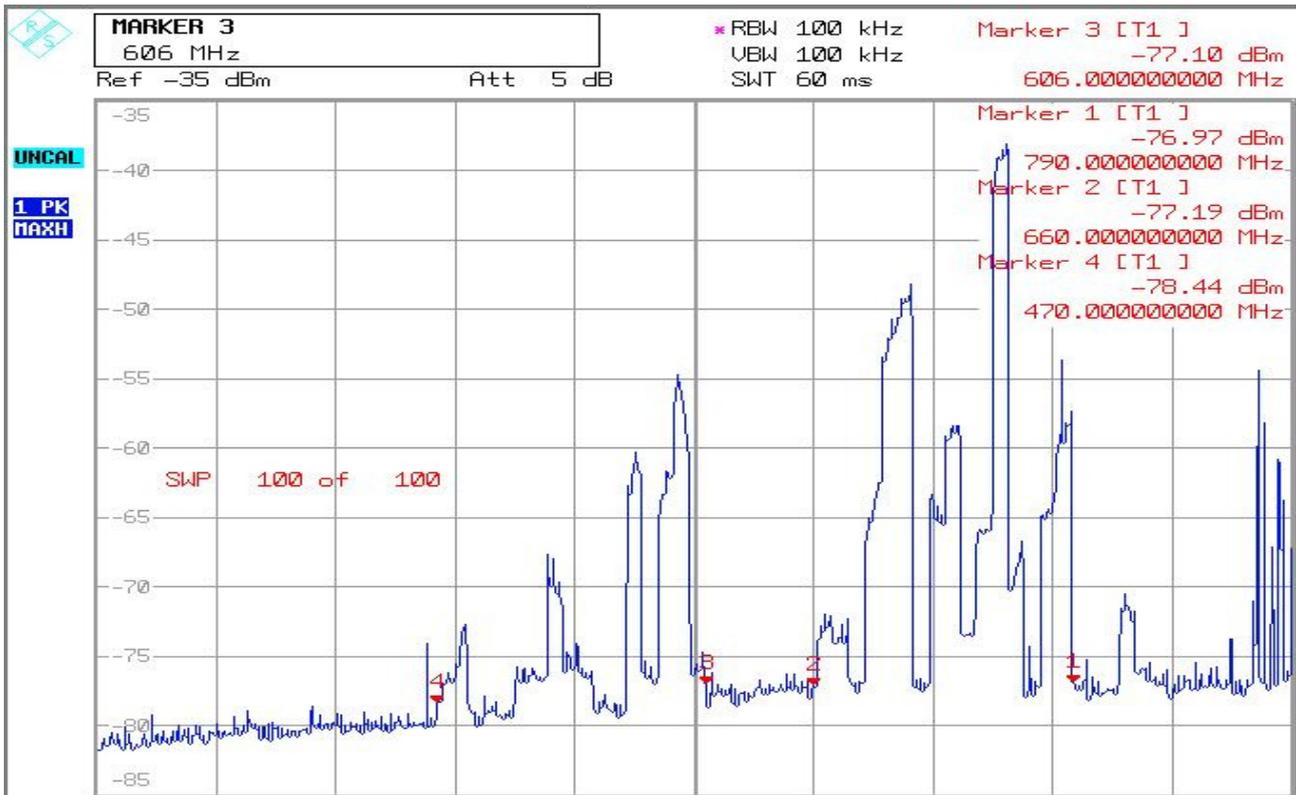


Abbildung 7: Frequenzbereich 300 – 900 MHz, aufgenommen mit RFI-Monitor bei AZ 208°, EL 90°

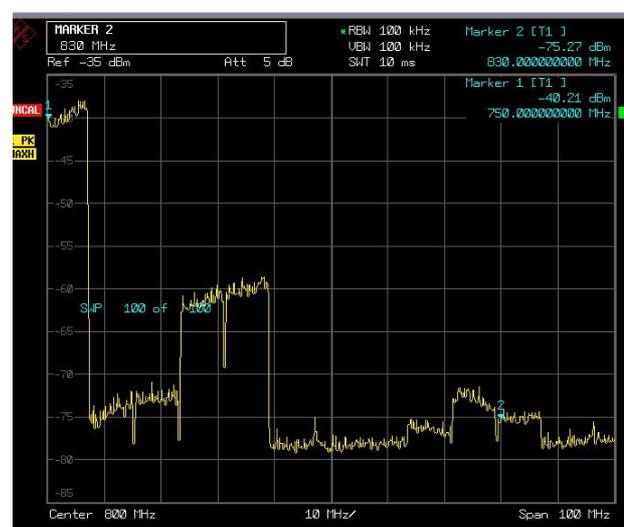
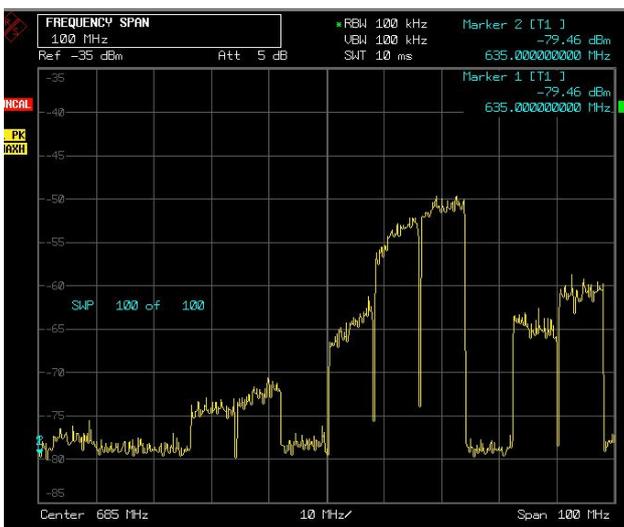


Abbildung 8: Ausschnitte aus dem Spektrum Abb. 7 bei AZ 208°, EL 90°

a): Frequenz 685 MHz \pm 50 MHz,

b) Frequenz 800 MHz \pm 50 MHz.

Ergebnisse:

Mit den o.a. Messungen wurde das Spektrum auf Bereiche untersucht welche

1. wenigstens in Bereichen von einigen MHz keine Frequenzbelegung erkennen lassen und
2. nur Linien und Spektralbereiche enthalten sind, die im Pegel gering genug sind um das System nicht zu Übersteuern.

Damit wurden folgende drei Bereiche ausgewählt:

Reinhard Keller, Abtl. 3
Bonn, den 27.12.2010



1. **300 – 505 MHz:**

Hier sind die geschützten Bänder um 320 MHz und 405 MHz enthalten, allerdings auch das ISM Band ab 433 MHz. Die Pegel sollten jedoch im Allgemeinen vom System handhabbar sein, sodass einzelne Störer in der digitalen Signalverarbeitung eliminiert werden können. Gegebenenfalls muss die entsprechende Filterflanke nach unten auf 455 MHz getrimmt werden.

2. **608 – 685 MHz:**

Hier ist das geschützte Band um 610 MHz enthalten. Dieses Band sieht bis auf einen moderaten Fernsehkanal bei 665 MHz recht gut aus. Die (derzeitigen) Sender dazu stehen in Langenberg und Düsseldorf. Hier besteht die Hoffnung dass dieser Kanal das System nicht sättigt. Gegebenenfalls muss die entsprechende Filterflanke nach unten auf 660 MHz getrimmt werden.

3. **790 – 935 MHz:**

Dieses Band sieht bis auf einen schwachen Fernsehkanal bei 800 MHz recht gut aus. Auch hier besteht die berechnete Hoffnung dass dieser Kanal das System nicht sättigt. Außerdem ist in diesem Band auch der GSM Uplink enthalten. Dies sollte jedoch kein Problem darstellen, da die Sendepegel der Mobiltelefone begrenzt sind und in unmittelbarer Umgebung des Teleskops Mobilfunk-Verbot herrscht.

Insgesamt steht damit eine theoretische Bandbreite von ca. 290 MHz aus dem gesamten Spektrum von 600 MHz zur Verfügung (48%). Davon müssen digital nochmals ca. 20% unterdrückt werden, sodass letztendlich eine nutzbare Bandbreite von ca. 230 MHz (39%) erwartet werden kann. Abbildung 9 zeigt das gemessene Spektrum von 300 – 900 MHz mit den für die Radioastronomie geschützten Bereichen und den empfohlenen Filterbereichen.

Frequenzbelegung 300 - 900 MHz

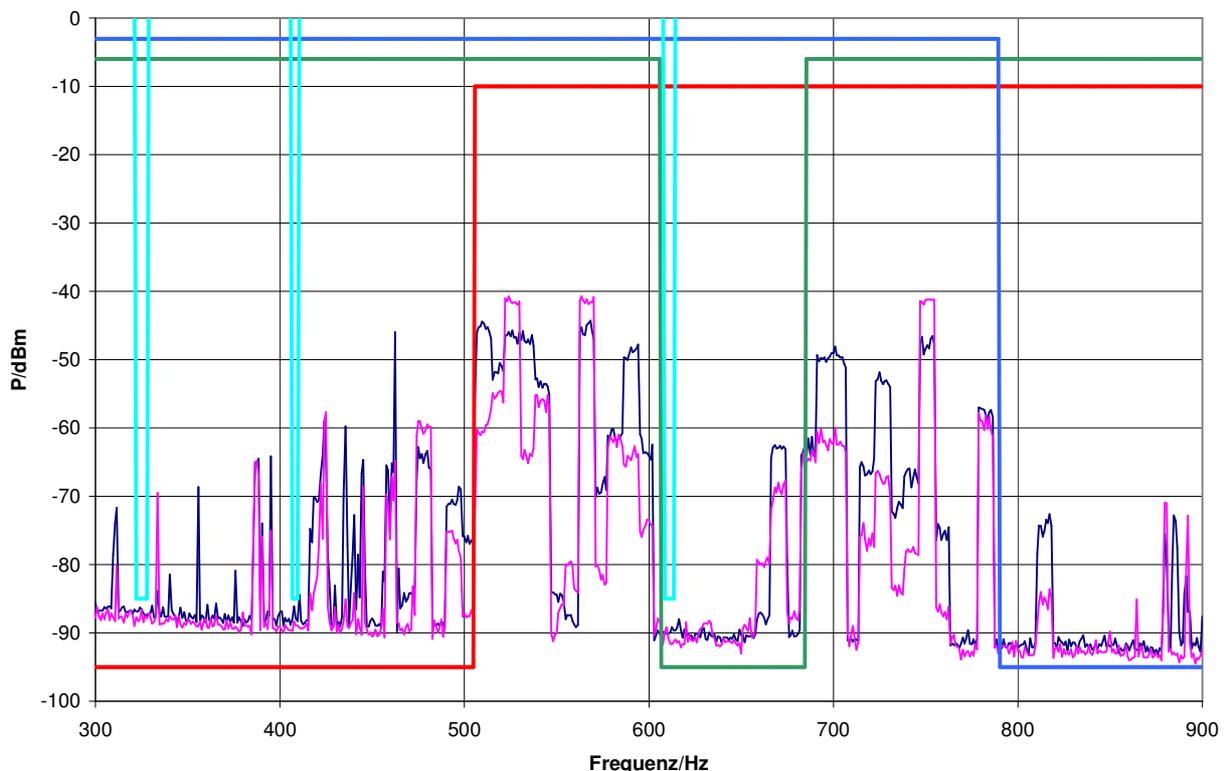


Abbildung 9: Gemessener Frequenzbereich 300 – 900 MHz, horizontale und vertikale Polarisation aufsummiert über 360° Azimut mit geschützten Bereichen (türkis) und vorgeschlagenen Filterbereichen (rot, grün, blau).



Fazit:

Im betrachteten Frequenzbereich sind erhebliche Störungen durch die regulären Nutzer dieser Bänder zu erwarten. Trotzdem besteht die Hoffnung, dass mit einem robusten System hoher Dynamik ($>40\text{dB}$) radioastronomische Messungen möglich sind. Einige Bereiche mit konstant hohen Empfangsfeldstärken müssen jedoch durch analoge Filter ausgeblendet werden. Dies sind vor allem die digitalen Fernsehkanäle in der Nähe des Teleskops. In Bereichen mit starken aber temporären Nutzern muss mit automatisierten RFI-Unterdrückungsalgorithmen gearbeitet werden, um die verbleibenden Zeit/Frequenzbereiche nutzen zu können.

