

Radioastronomie

Mit selbstgebaurem Equipment die Milchstraße vermessen

Sven Brauch

6. Juni 2015

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

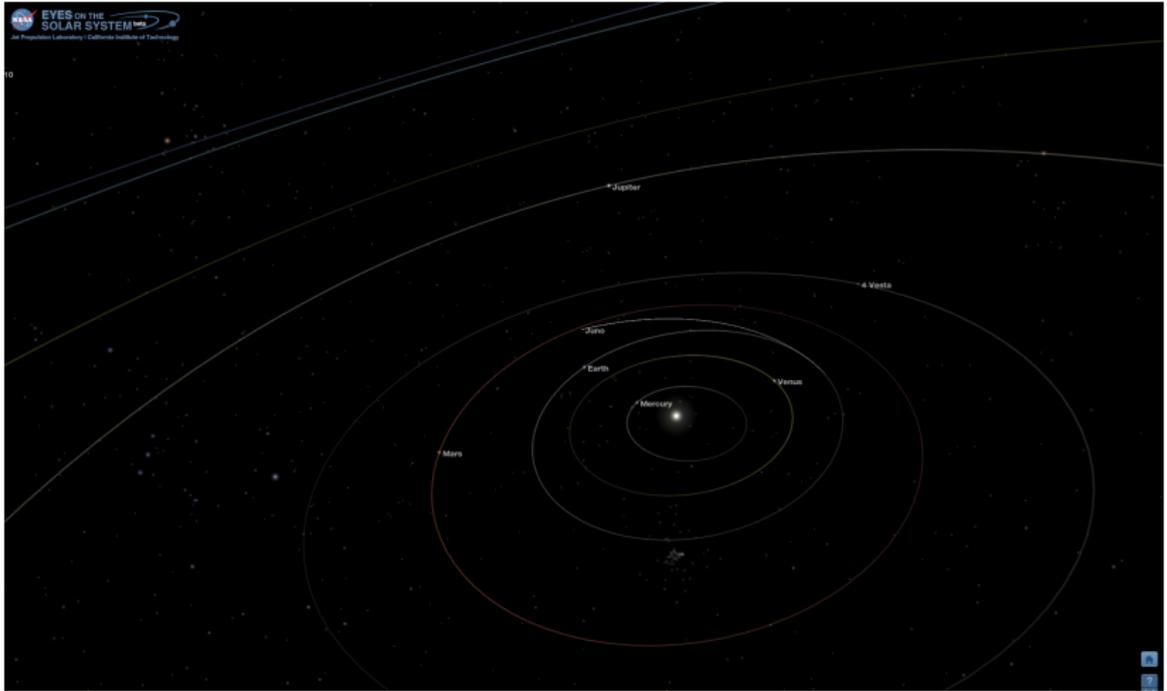
Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Lichtgeschwindigkeit $c = 300\,000 \text{ km s}^{-1}$

Lichtlaufzeiten

- ▶ Erdradius: 40 ms
- ▶ Abstand Erde-Mond: 1 s
- ▶ Abstand Erde-Sonne: 8.3 min

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

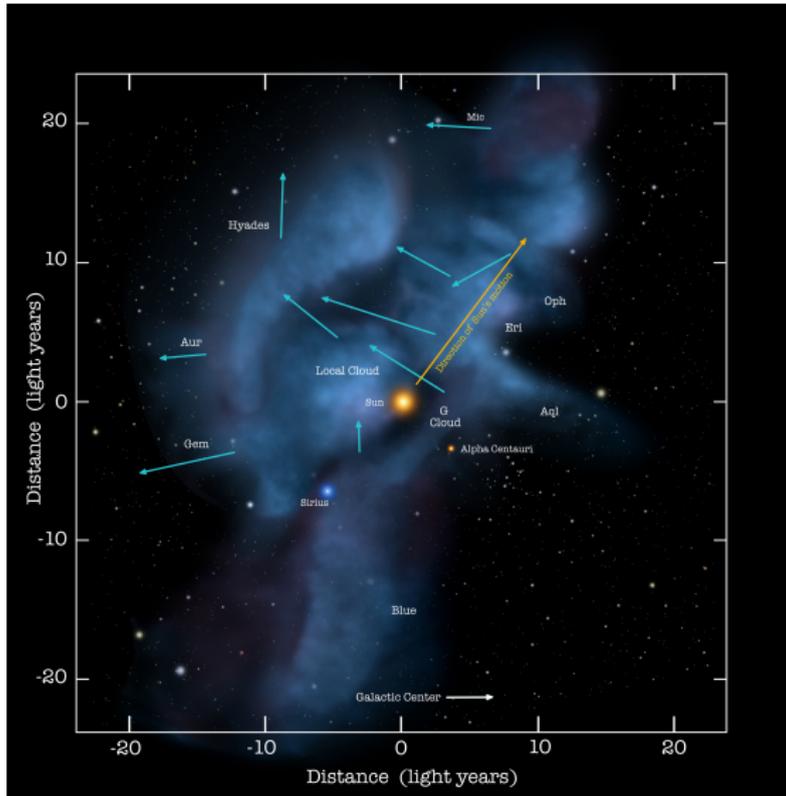
Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Lichtlaufzeiten

- ▶ Durchmesser des Sonnensystems: 8 h
- ▶ Abstand zu Alpha Centauri: 4 lyr

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

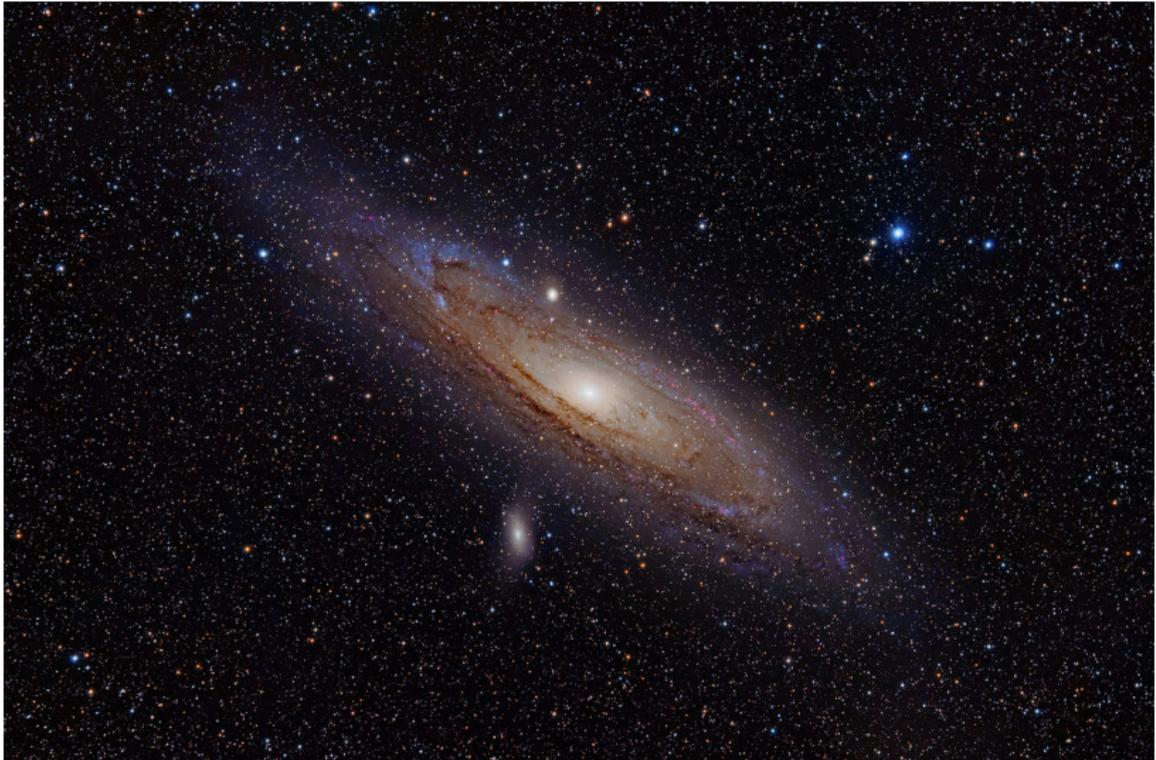
Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

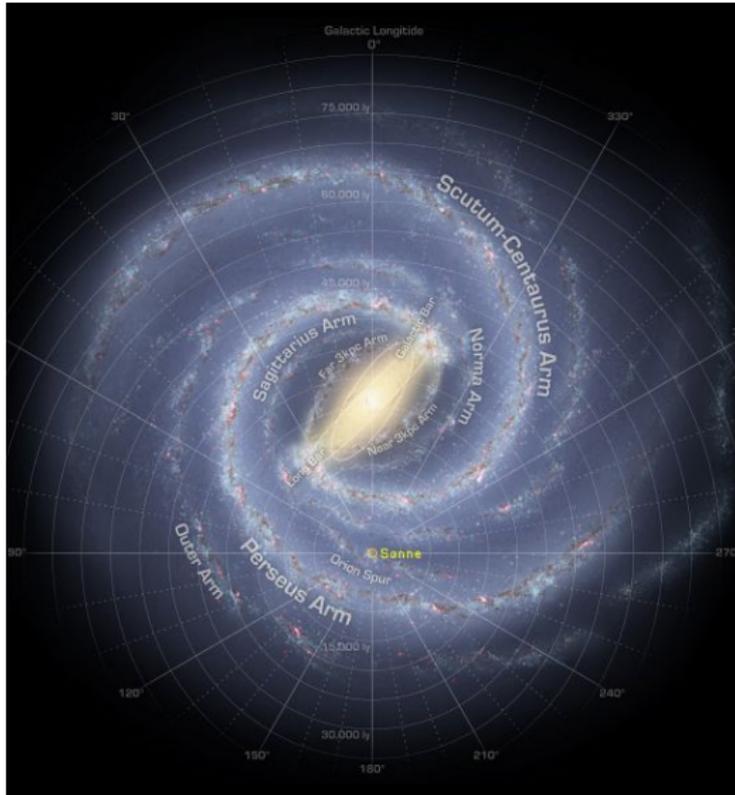
Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Lichtlaufzeiten

- ▶ Abstand Erde – Zentrum der Milchstraße: 26 000 lyr
- ▶ Durchmesser der Milchstraße: 100 000 lyr
- ▶ Abstand Milchstraße – Andromeda-Galaxie (nächste Galaxie):
2 500 000 lyr

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Sonnensystem

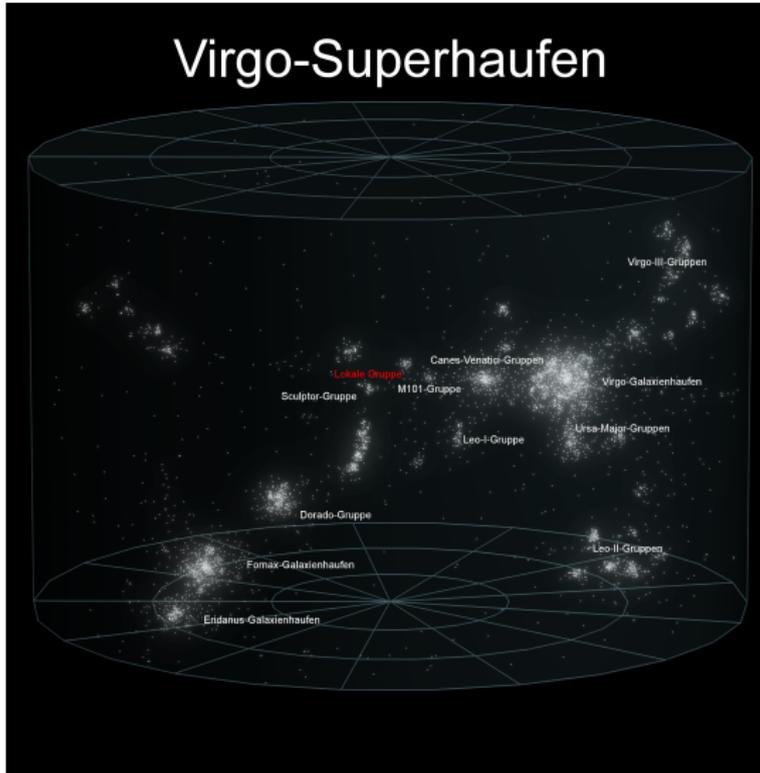
Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Virgo-Superhaufen



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Was wollen wir jetzt machen?

- ▶ Empfang von Strahlung aus dem **interstellaren Medium in unserer Galaxie**
- ▶ ... und evtl. später auch aus anderen Galaxien
- ▶ Bestimmung der **Rotationsgeschwindigkeit** des Gases mit dem **Doppler-Effekt**

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Sonnensystem

Lokale Umgebung

Galaxie

Lokale Gruppe und Cluster

Was wollen wir machen?

Was wollen wir jetzt machen?

- ▶ Empfang von Strahlung aus dem **interstellaren Medium in unserer Galaxie**
- ▶ ... und evtl. später auch aus anderen Galaxien
- ▶ Bestimmung der **Rotationsgeschwindigkeit** des Gases mit dem **Doppler-Effekt**

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?
Doppler-Effekt

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Physikalischer Prozess

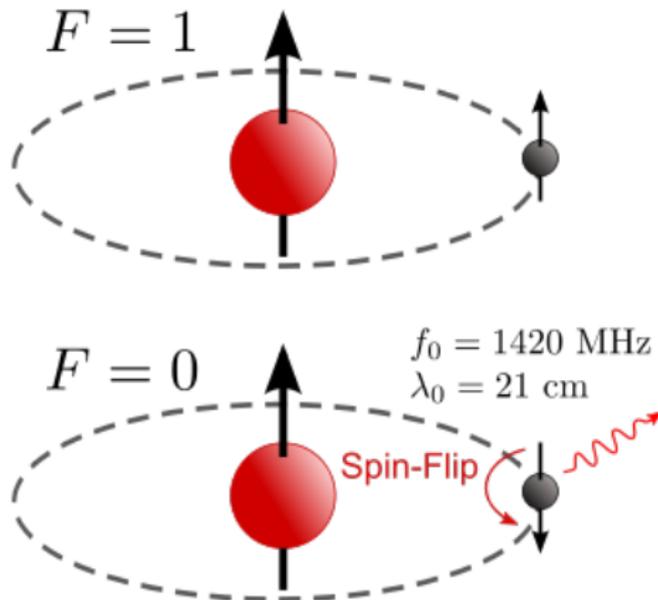
Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was für Strahlung beobachten wir?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

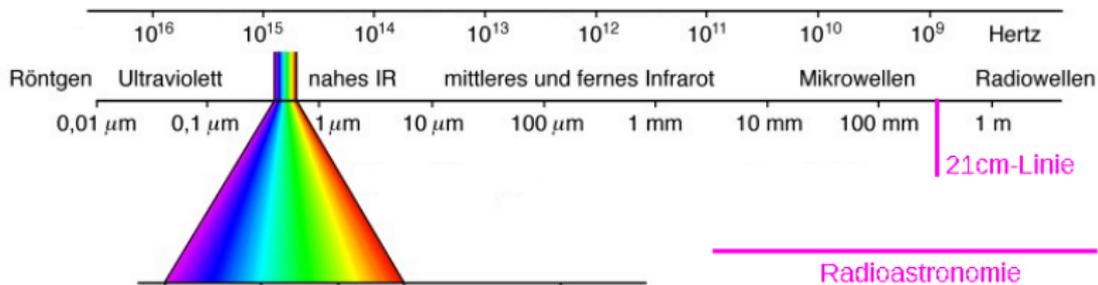
Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was für Strahlung ist das?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Physikalischer Prozess

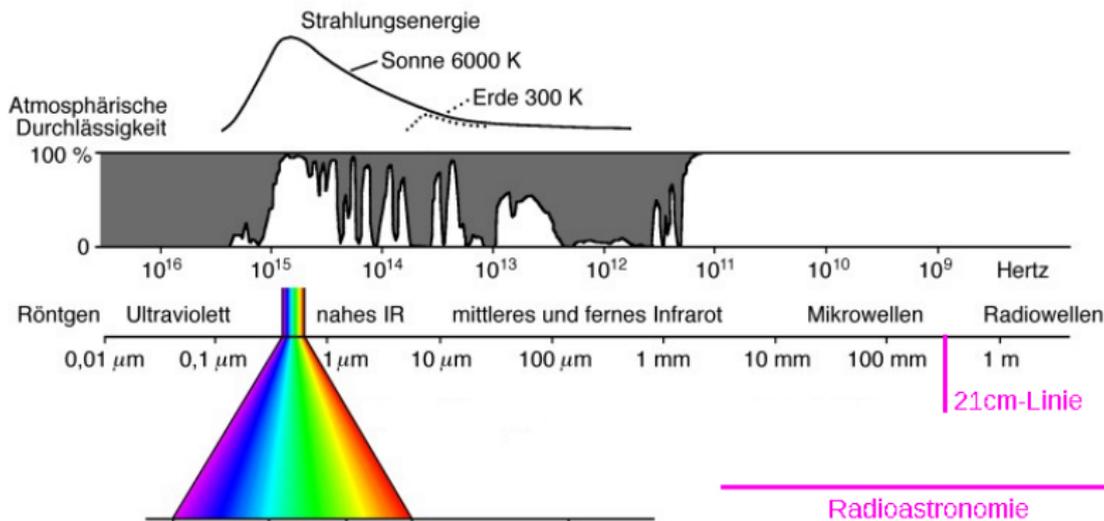
Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was für Strahlung ist das?



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?
Doppler-Effekt

Entstehung der beobachteten Strahlung

- ▶ Strahlung entsteht im **interstellaren Medium** überall in der Galaxie
- ▶ mehr Sterne → mehr interstellares Medium → mehr Strahlung

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

- ▶ Antenne (hier: 1.2m Parabolspiegel + Feed)
- ▶ 1.42 GHz Vorverstärker
- ▶ Frequenzselektiver Filter am Eingang
- ▶ Hardware zur Detektion und Digitalisierung des Signals
- ▶ Software zur Auswertung (das ist kein Problem, das können wir ja)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

- ▶ Antenne (hier: 1.2m Parabolspiegel + Feed)
- ▶ 1.42 GHz Vorverstärker
- ▶ Frequenzselektiver Filter am Eingang
- ▶ Hardware zur Detektion und Digitalisierung des Signals
- ▶ Software zur Auswertung (das ist kein Problem, das können wir ja)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

- ▶ Antenne (hier: 1.2m Parabolspiegel + Feed)
- ▶ 1.42 GHz Vorverstärker
- ▶ Frequenzselektiver Filter am Eingang
- ▶ Hardware zur Detektion und Digitalisierung des Signals
- ▶ Software zur Auswertung (das ist kein Problem, das können wir ja)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

- ▶ Antenne (hier: 1.2m Parabolspiegel + Feed)
- ▶ 1.42 GHz Vorverstärker
- ▶ Frequenzselektiver Filter am Eingang
- ▶ Hardware zur Detektion und Digitalisierung des Signals
- ▶ Software zur Auswertung (das ist kein Problem, das können wir ja)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

- ▶ Antenne (hier: 1.2m Parabolspiegel + Feed)
- ▶ 1.42 GHz Vorverstärker
- ▶ Frequenzselektiver Filter am Eingang
- ▶ Hardware zur Detektion und Digitalisierung des Signals
- ▶ Software zur Auswertung (das ist kein Problem, das können wir ja)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Doppler-Effekt

- ▶ **bewegte** Sender oder Empfänger: **Frequenzverschiebung** der ausgesandten Strahlung
- ▶ Da Frequenz bei unbewegtem Sender bekannt: **Bestimmung der Geschwindigkeit des emittierenden Gases** aus der Frequenz der gemessenen Strahlung möglich

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Doppler-Effekt

- ▶ **bewegte** Sender oder Empfänger: **Frequenzverschiebung** der ausgesandten Strahlung
- ▶ Da Frequenz bei unbewegtem Sender bekannt: **Bestimmung der Geschwindigkeit des emittierenden Gases** aus der Frequenz der gemessenen Strahlung möglich

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was heißt das für das nötige Empfangssystem?

$$f_{\text{observed}} = \frac{1.4204 \text{ GHz}}{1 - v/c}$$

- ▶ Erwartete max. Geschwindigkeit der Gaswolken ist ungefähr 200 km s^{-1}
- ▶ Beobachtung nötig nicht nur bei einer einzelnen Frequenz, sondern in einem **Ausschnitt des Spektrums**
- ▶ Größe dieses Ausschnittes: ca. 2 MHz nach obiger Formel
- ▶ Ziel: Bau eines Spektrometers für den Frequenzbereich 1419 MHz bis 1422 MHz

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was heißt das für das nötige Empfangssystem?

$$f_{\text{observed}} = \frac{1.4204 \text{ GHz}}{1 - v/c}$$

- ▶ Erwartete max. Geschwindigkeit der Gaswolken ist ungefähr 200 km s^{-1}
- ▶ Beobachtung nötig nicht nur bei einer einzelnen Frequenz, sondern in einem **Ausschnitt des Spektrums**
- ▶ Größe dieses Ausschnittes: ca. 2 MHz nach obiger Formel
- ▶ Ziel: Bau eines Spektrometers für den Frequenzbereich 1419 MHz bis 1422 MHz

Was heißt das für das nötige Empfangssystem?

$$f_{\text{observed}} = \frac{1.4204 \text{ GHz}}{1 - v/c}$$

- ▶ Erwartete max. Geschwindigkeit der Gaswolken ist ungefähr 200 km s^{-1}
- ▶ Beobachtung nötig nicht nur bei einer einzelnen Frequenz, sondern in einem **Ausschnitt des Spektrums**
- ▶ Größe dieses Ausschnittes: ca. 2 MHz nach obiger Formel
- ▶ Ziel: Bau eines Spektrometers für den Frequenzbereich 1419 MHz bis 1422 MHz

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Physikalischer Prozess

Einordnung

Entstehung der Strahlung

Was brauchen wir alles zur Beobachtung dieser Strahlung?

Doppler-Effekt

Was heißt das für das nötige Empfangssystem?

$$f_{\text{observed}} = \frac{1.4204 \text{ GHz}}{1 - v/c}$$

- ▶ Erwartete max. Geschwindigkeit der Gaswolken ist ungefähr 200 km s^{-1}
- ▶ Beobachtung nötig nicht nur bei einer einzelnen Frequenz, sondern in einem **Ausschnitt des Spektrums**
- ▶ Größe dieses Ausschnittes: ca. 2 MHz nach obiger Formel
- ▶ Ziel: Bau eines Spektrometers für den Frequenzbereich 1419 MHz bis 1422 MHz

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

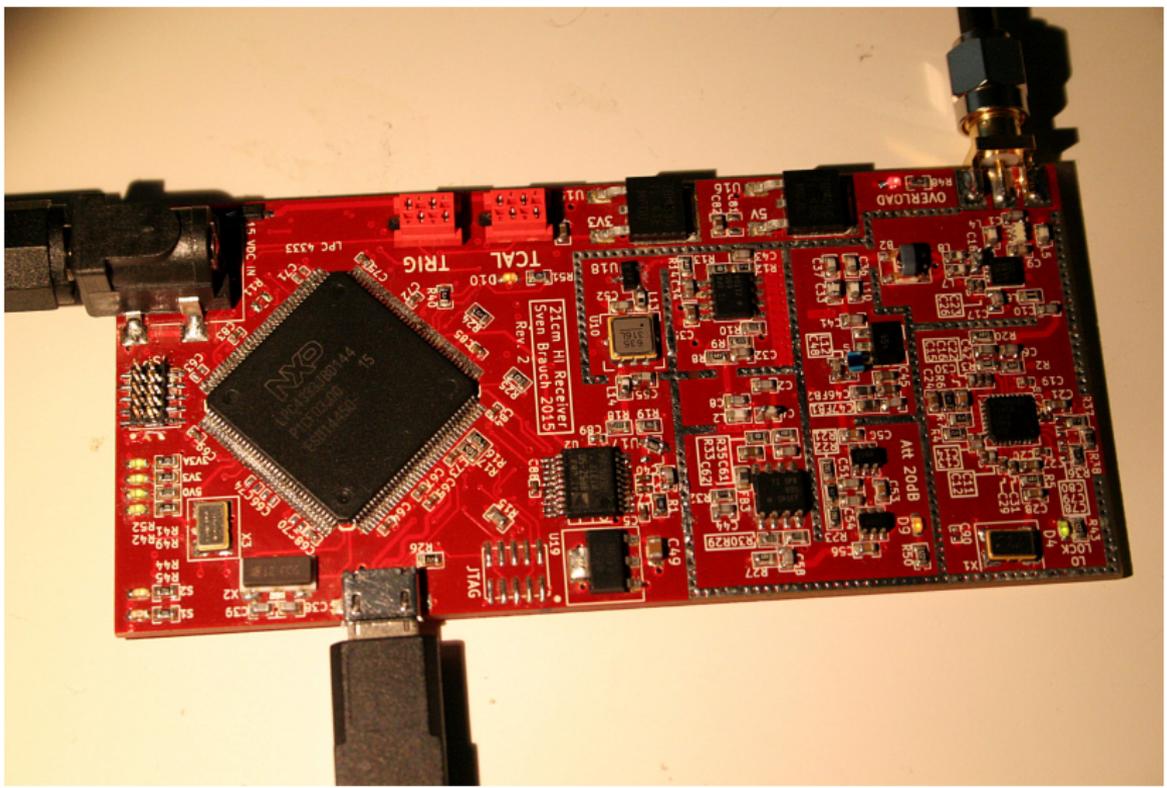
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Ein paar Bilder
Blockschaltbild
Schaltplan
Layout
Fertiges Board



Sven Brauch

Radioastronomie

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

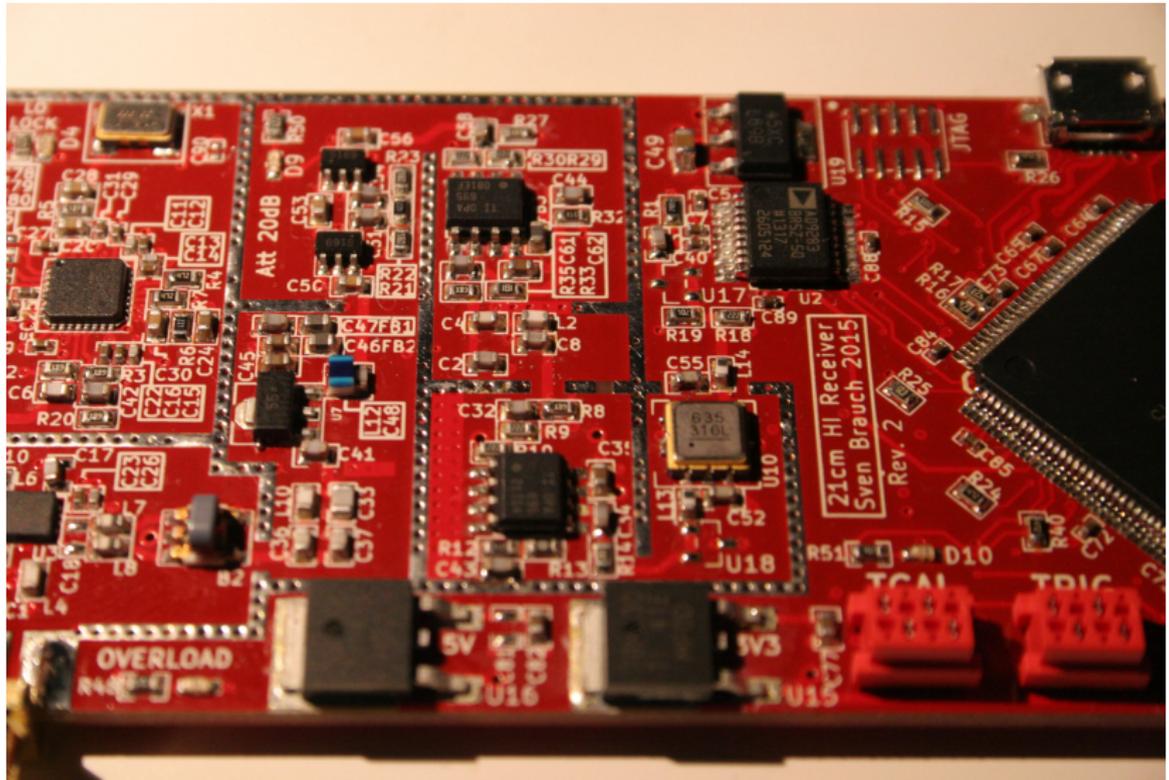
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

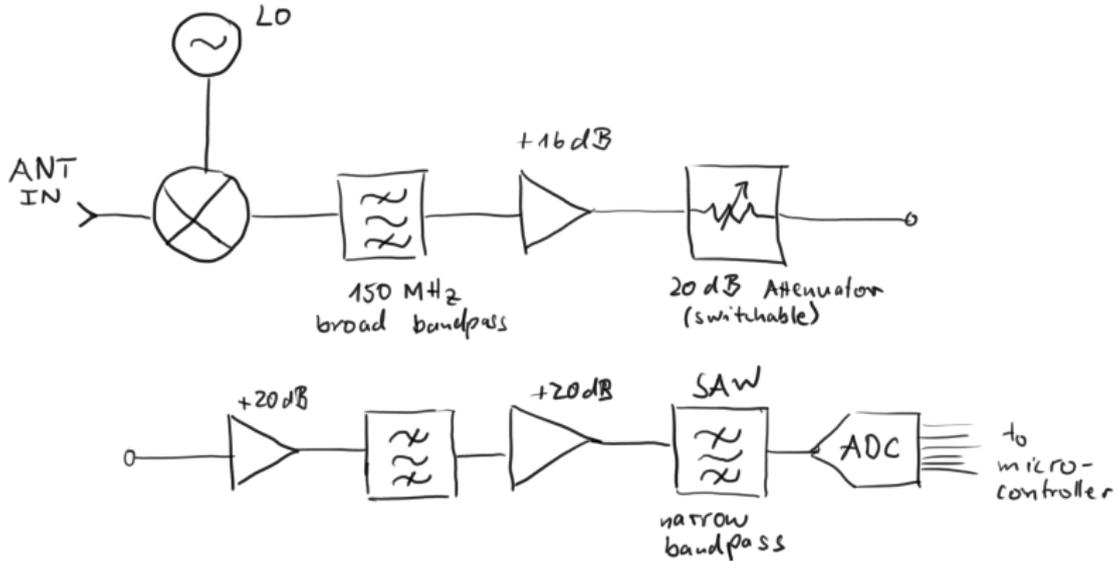
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

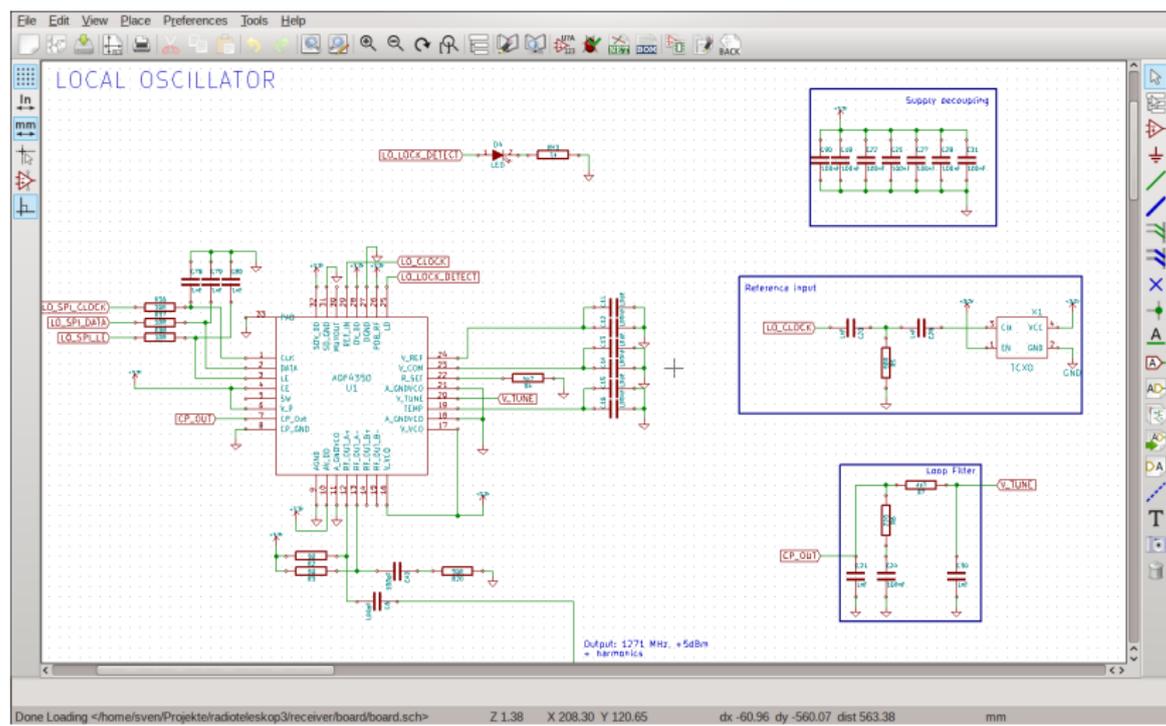
Layout

Fertiges Board



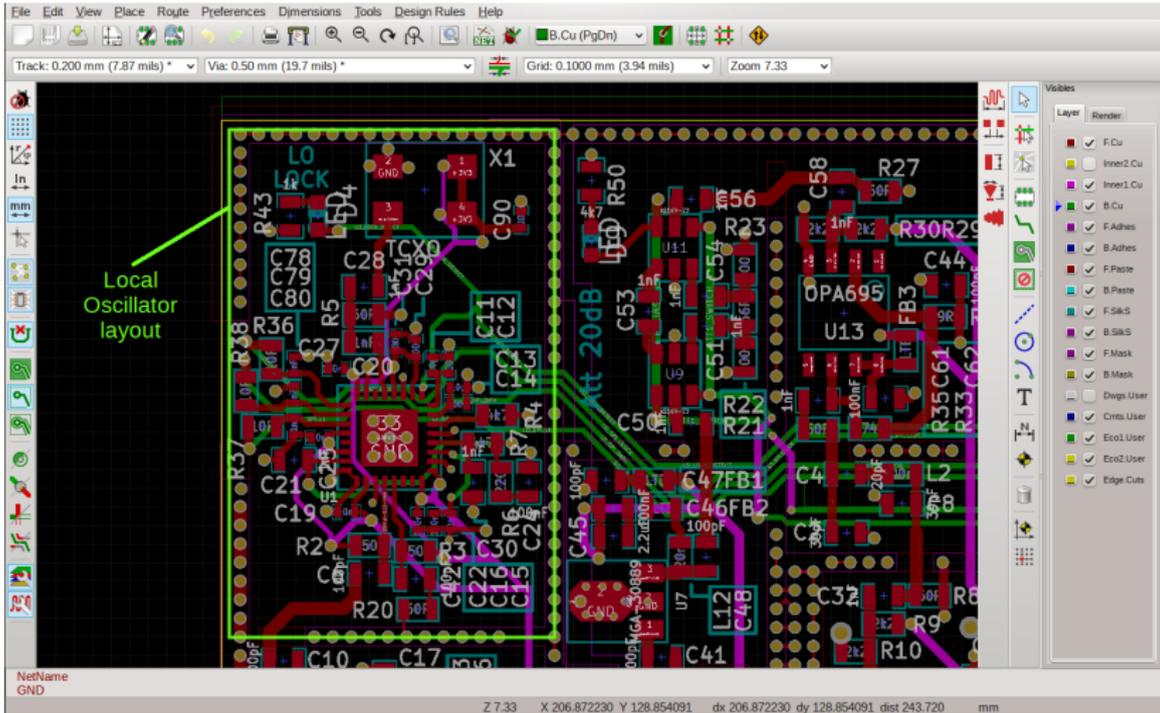
Wo sind wir eigentlich im Universum
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Ein paar Bilder
Blockschaltbild
Schaltplan
Layout
Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Ein paar Bilder
Blockschaltbild
Schaltplan
Layout
Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

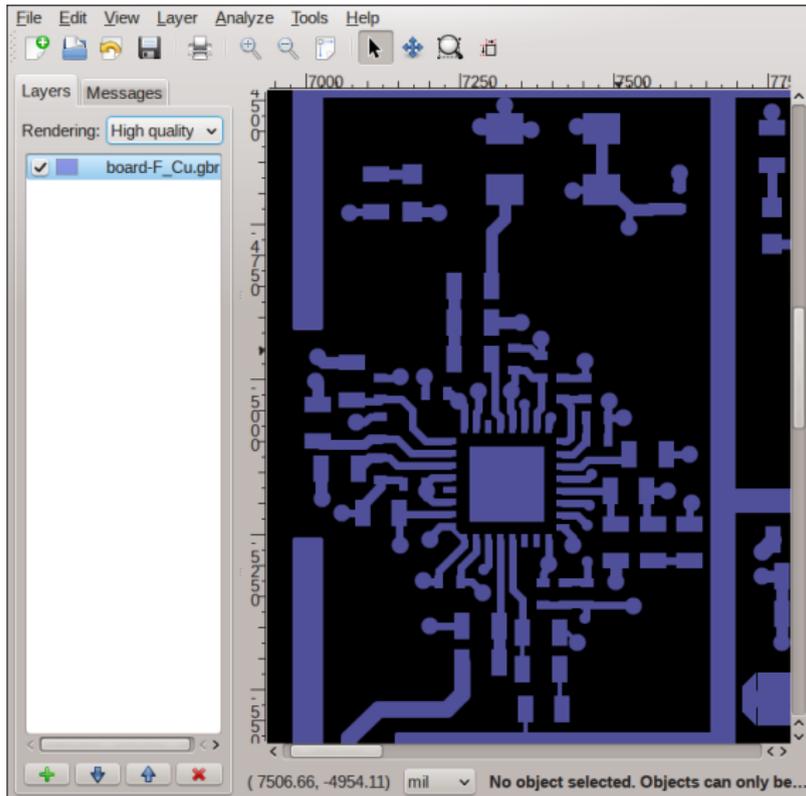
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

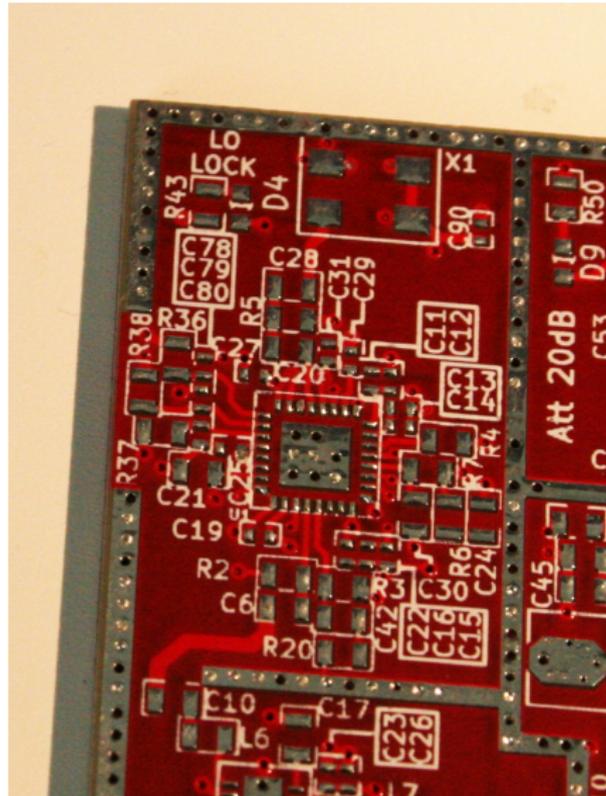
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

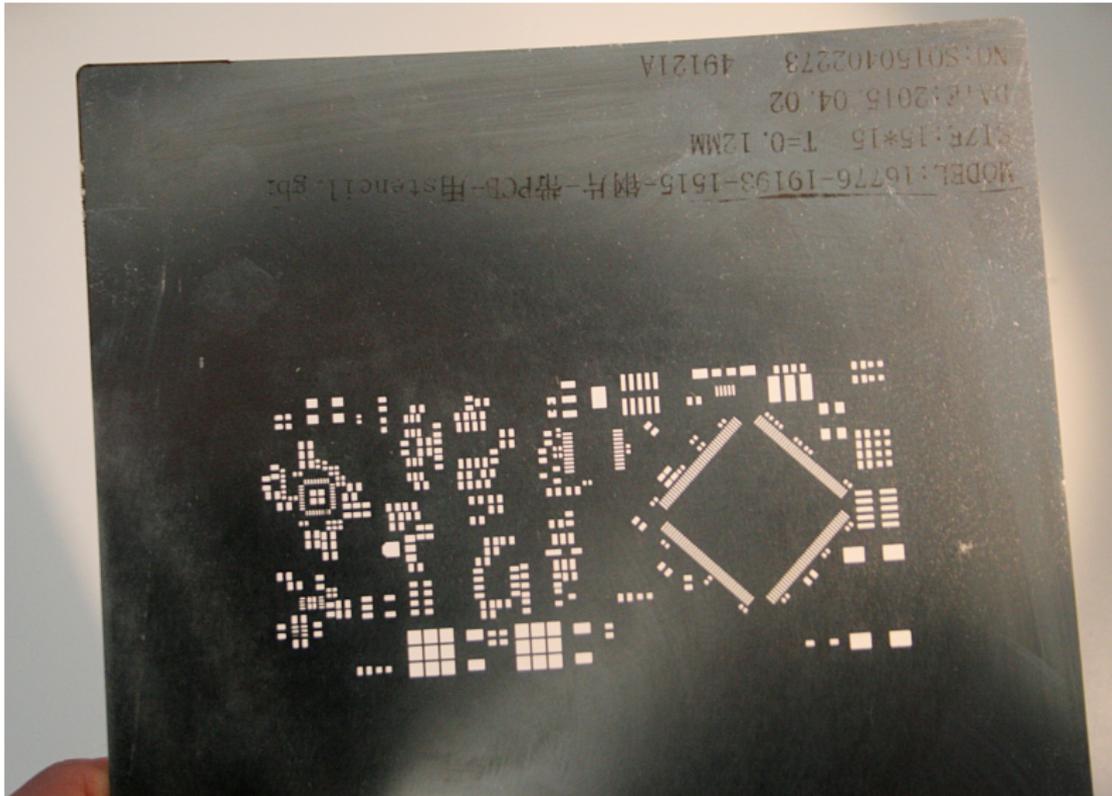
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

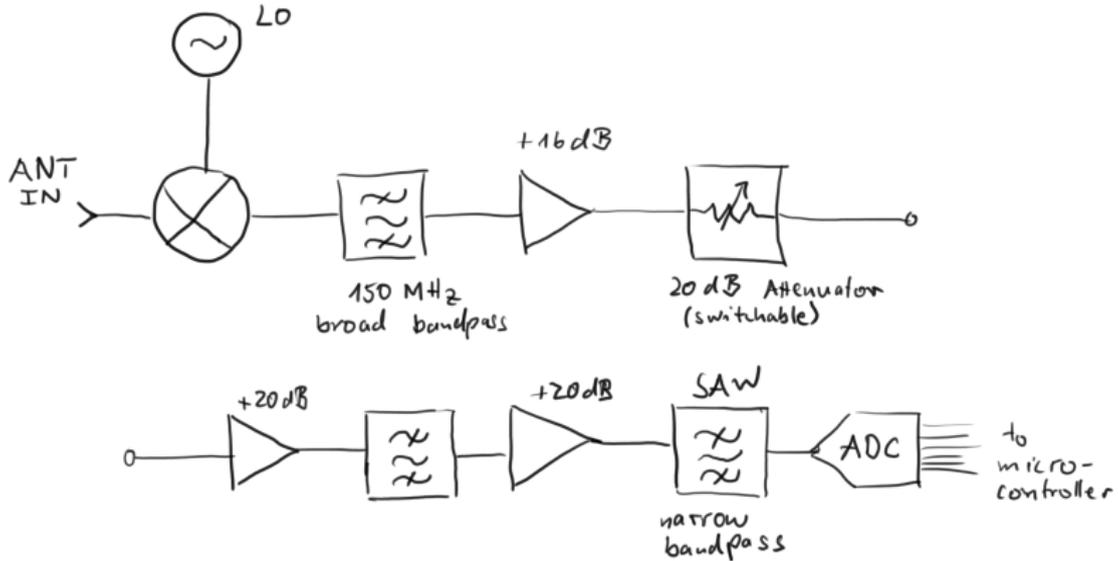
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

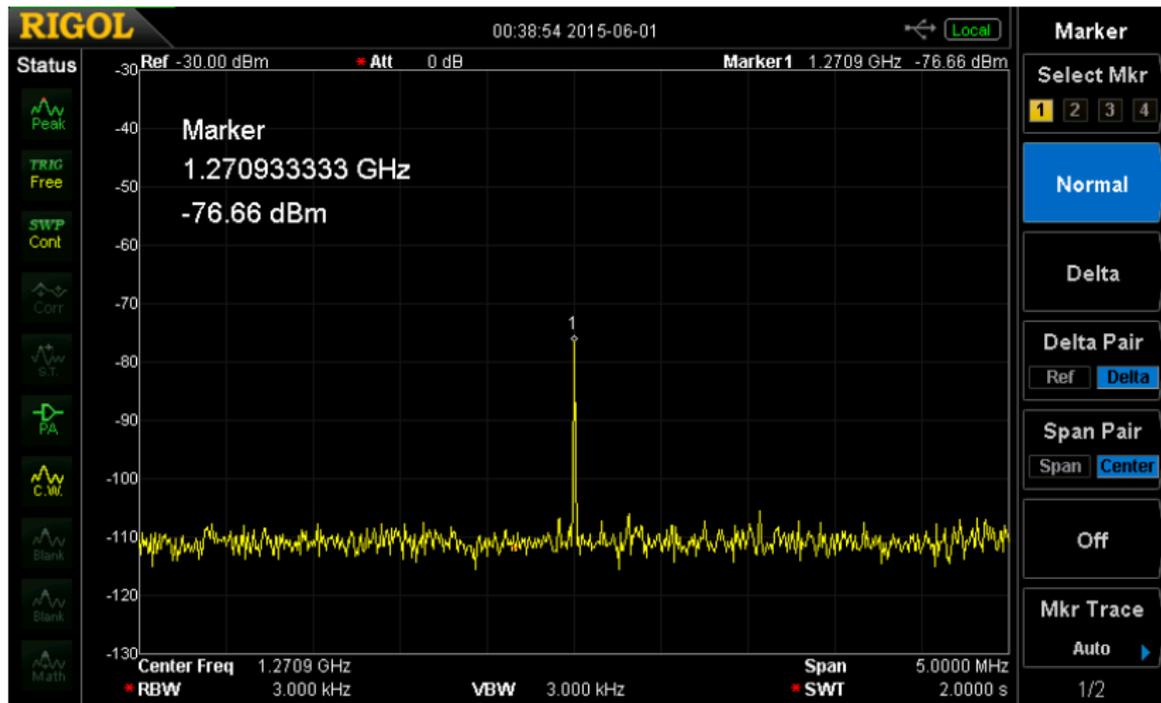
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

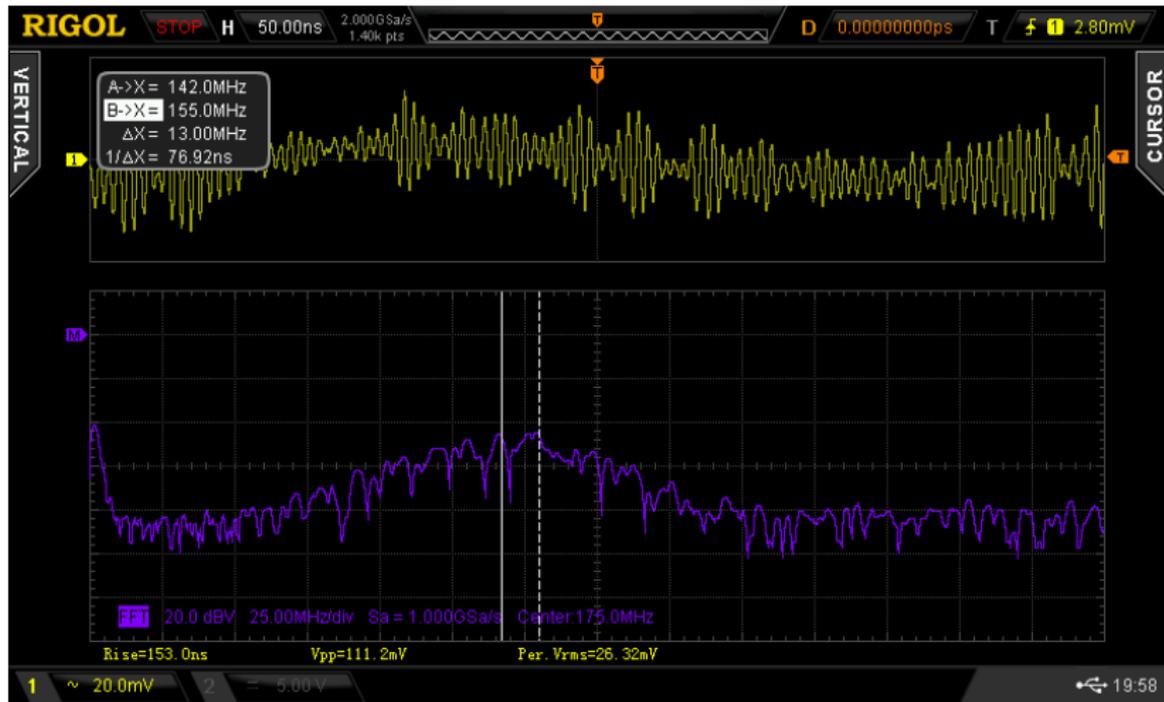
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

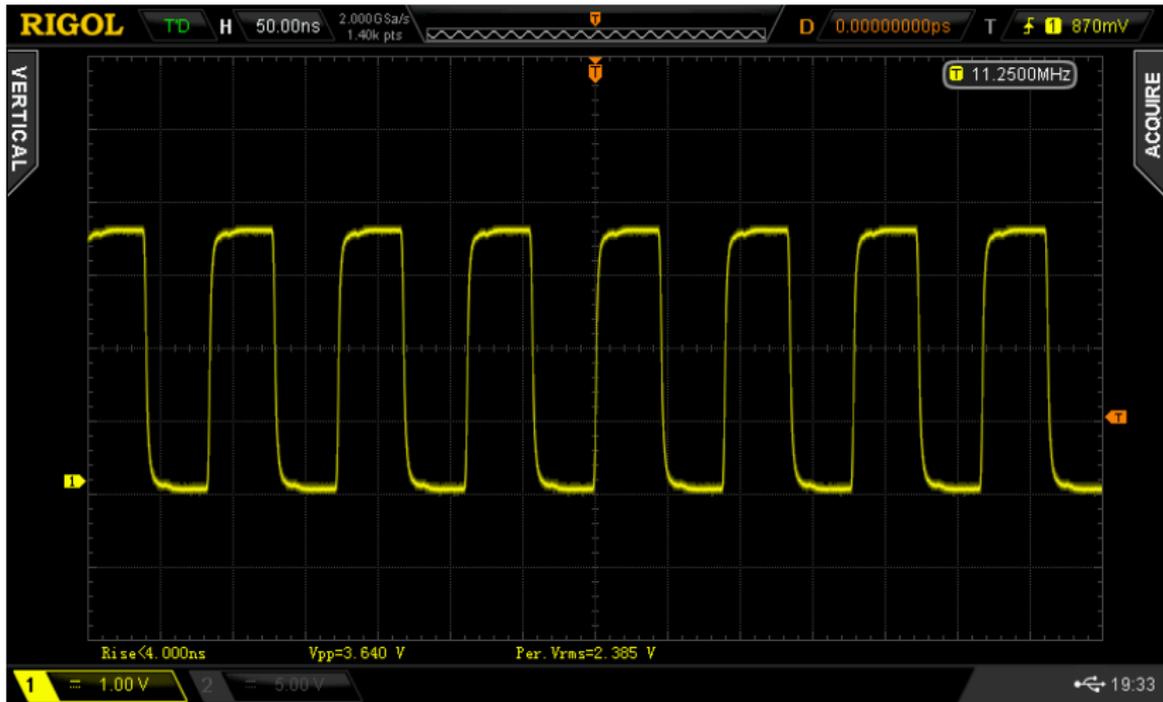
Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Ein paar Bilder

Blockschaltbild

Schaltplan

Layout

Fertiges Board

```
sven@localhost ~ » dmesg --color=always |tail -n 4
[176998.664934] usb 2-1.1: new high-speed USB device number 5 using ehci-pci
[176998.843251] cdc_acm 2-1.1:1.0: ttyACM0: USB ACM device
[176998.843689] usbcore: registered new interface driver cdc_acm
[176998.843692] cdc_acm: USB Abstract Control Model driver for USB modems and ISDN adapters
```

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

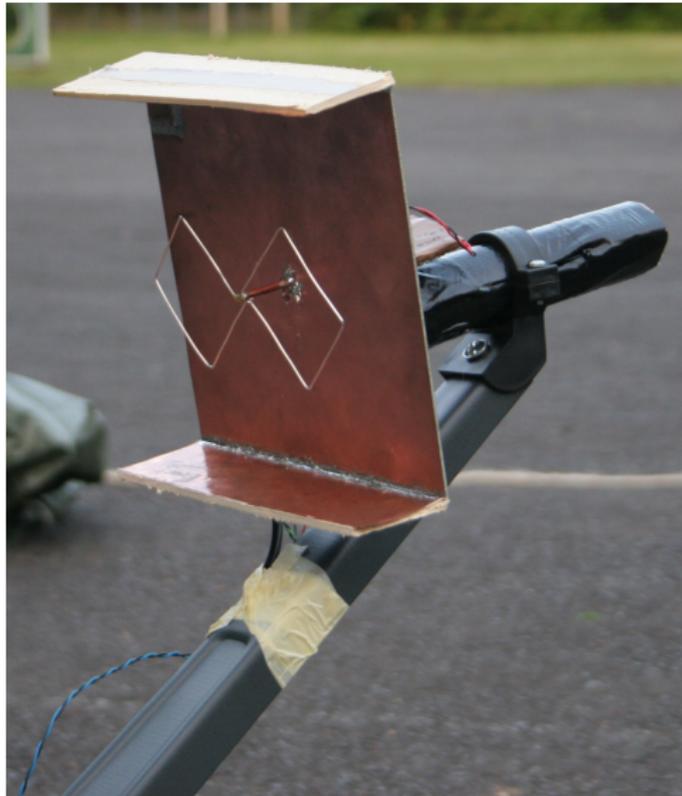
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

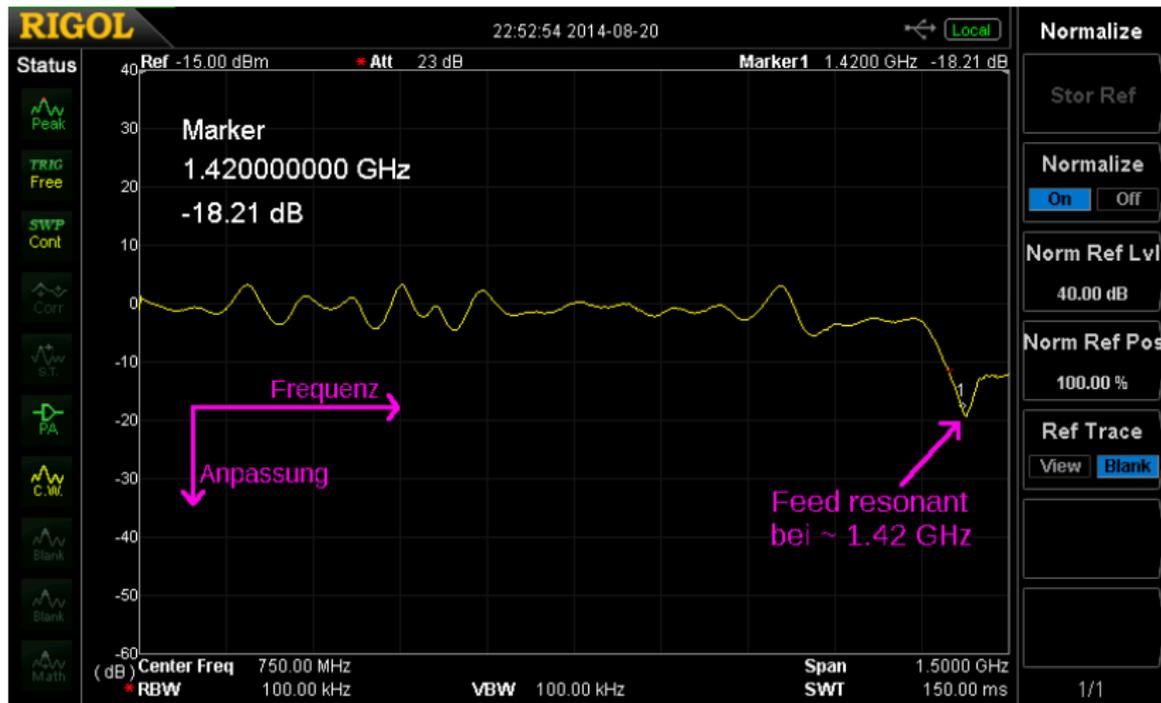
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Warum Vorverstärker?

- ▶ Zu detektierendes Signal **extrem schwach**
- ▶ Bestmögliche Erfassung: **thermisches Rauschen** ist limitierend
- ▶ zu detektierende Leistung: -174 dBm Hz^{-1} (ca. $5 \times 10^{-21} \text{ W Hz}^{-1}$)

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

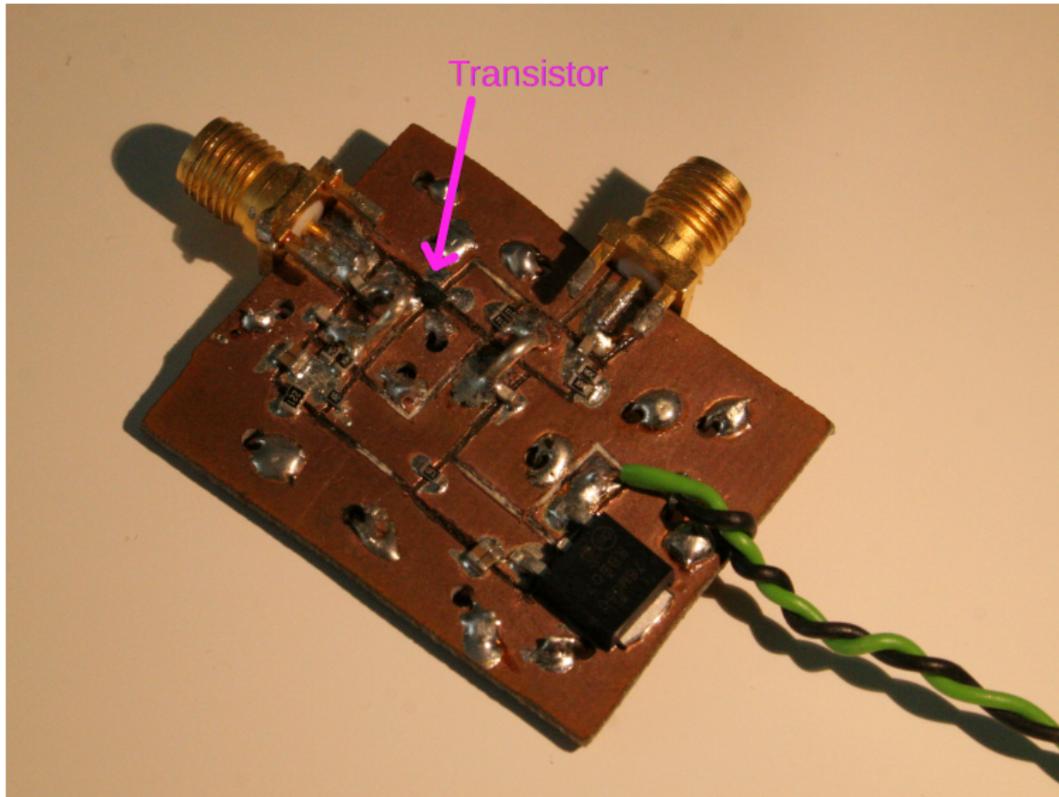
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

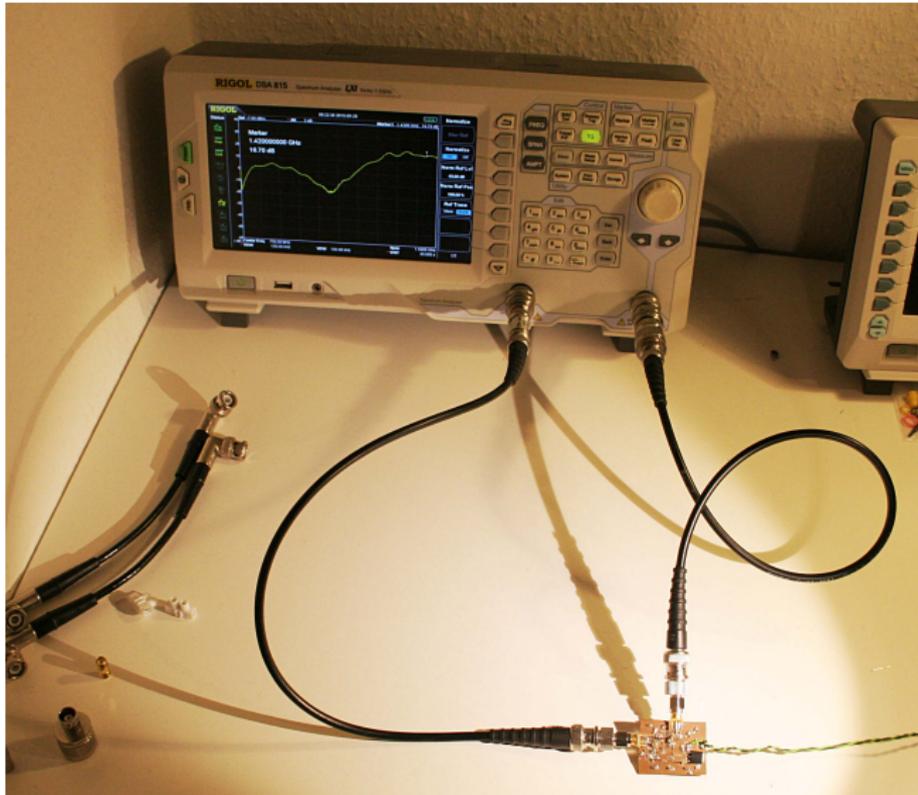
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

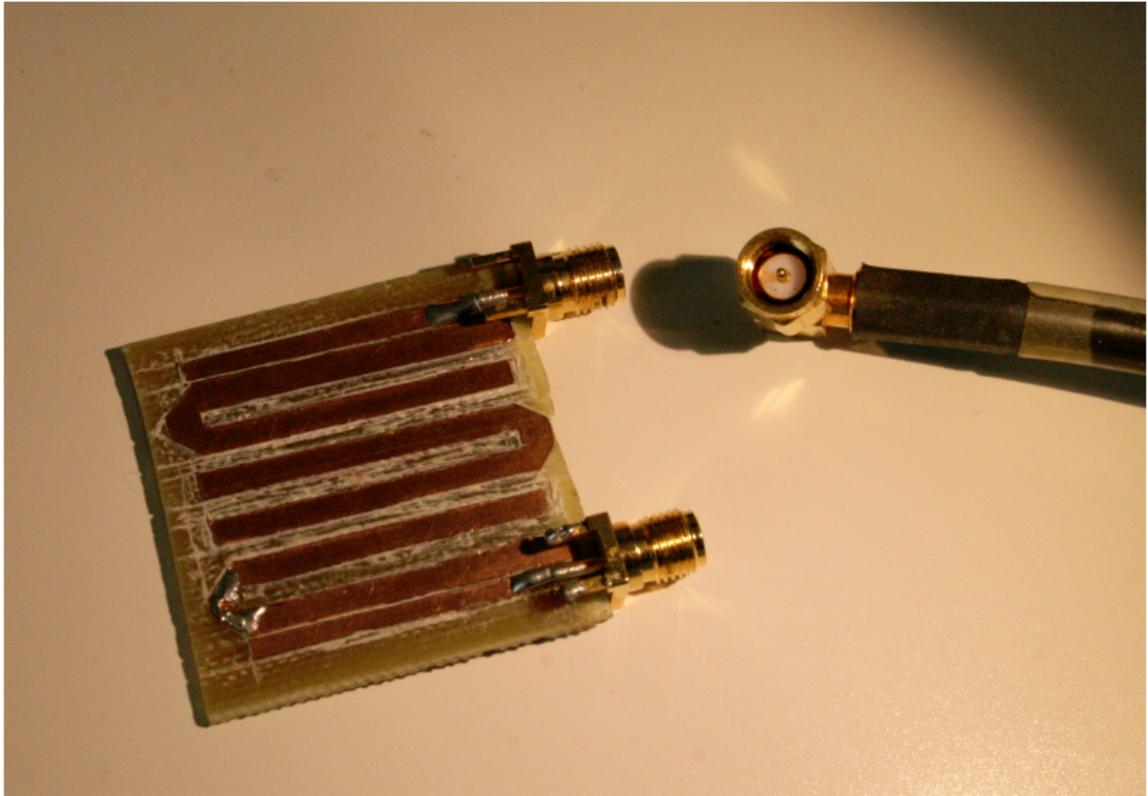
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

Parabolantenne und Feed

Vorverstärker

Spiegelfrequenzfilter



Wo sind wir eigentlich im Universum?
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

GSM
Kalibration
„First Light“-Aufnahme
Ältere Ergebnisse
Weitere Pläne

Inhalt

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

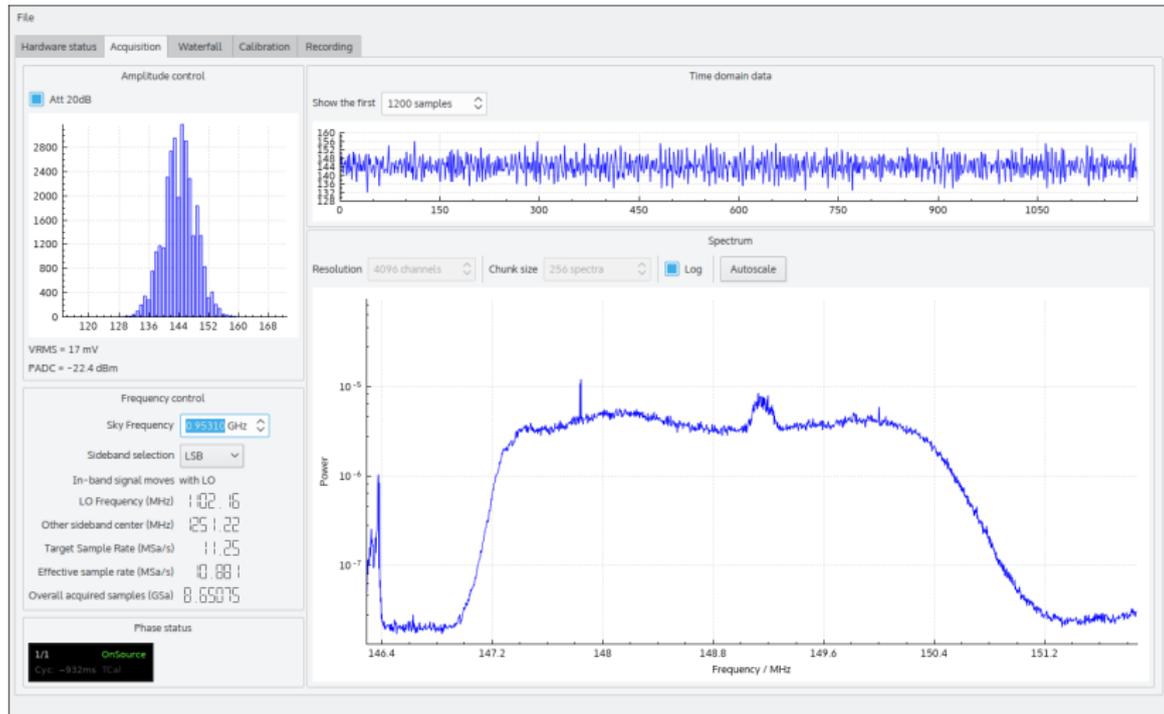
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

Wo sind wir eigentlich im Universum?
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

GSM
Kalibration
„First Light“-Aufnahme
Ältere Ergebnisse
Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

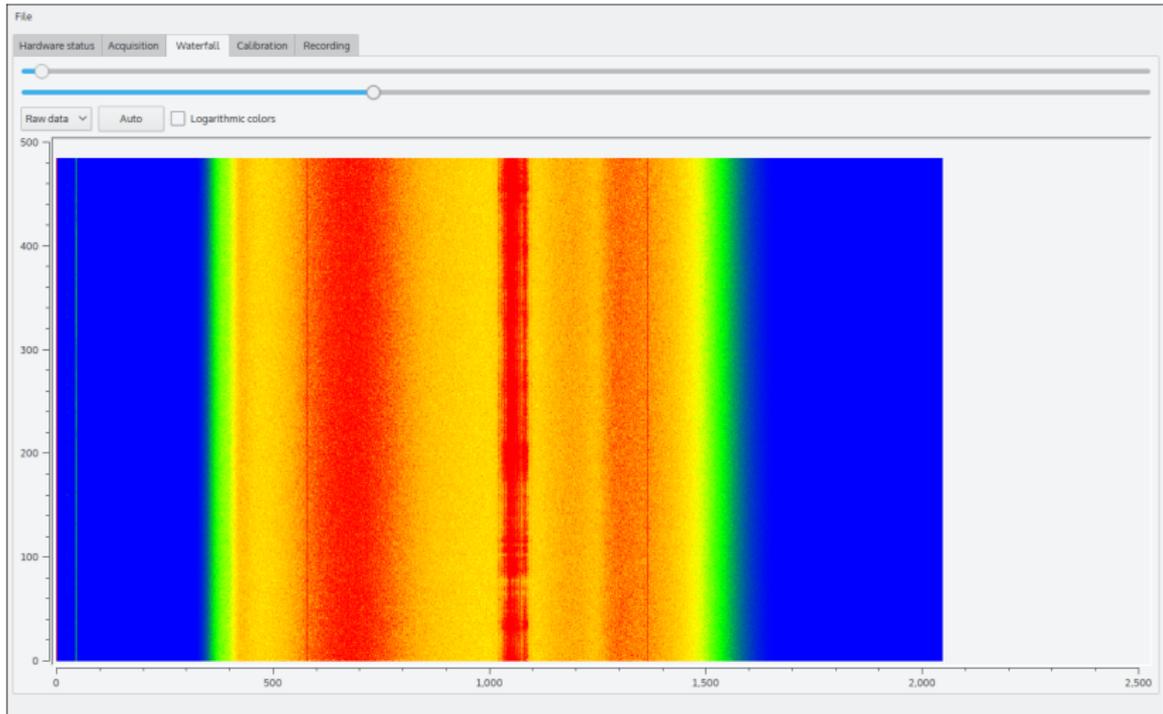
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

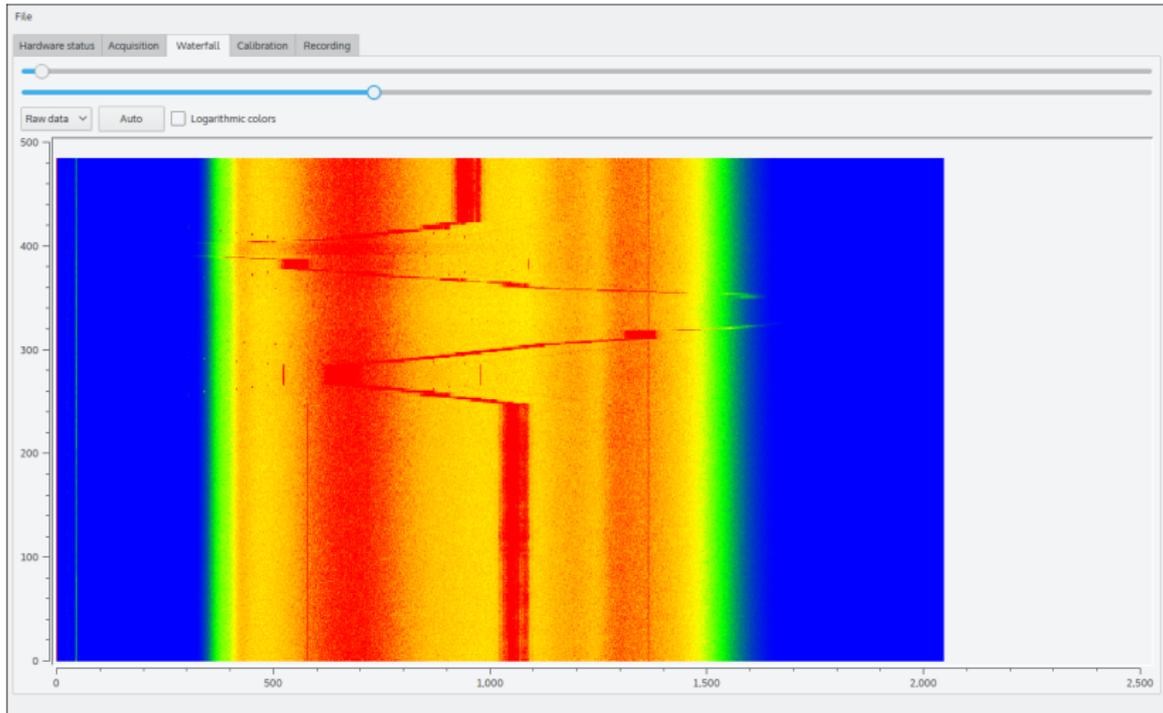
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

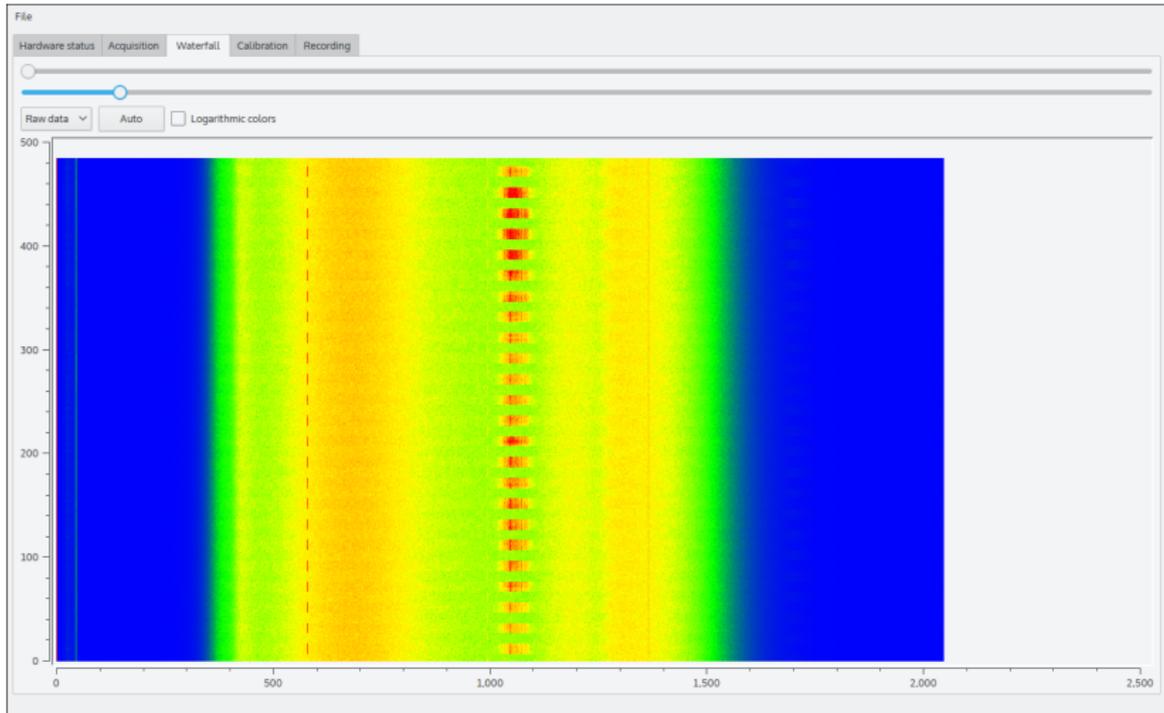
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

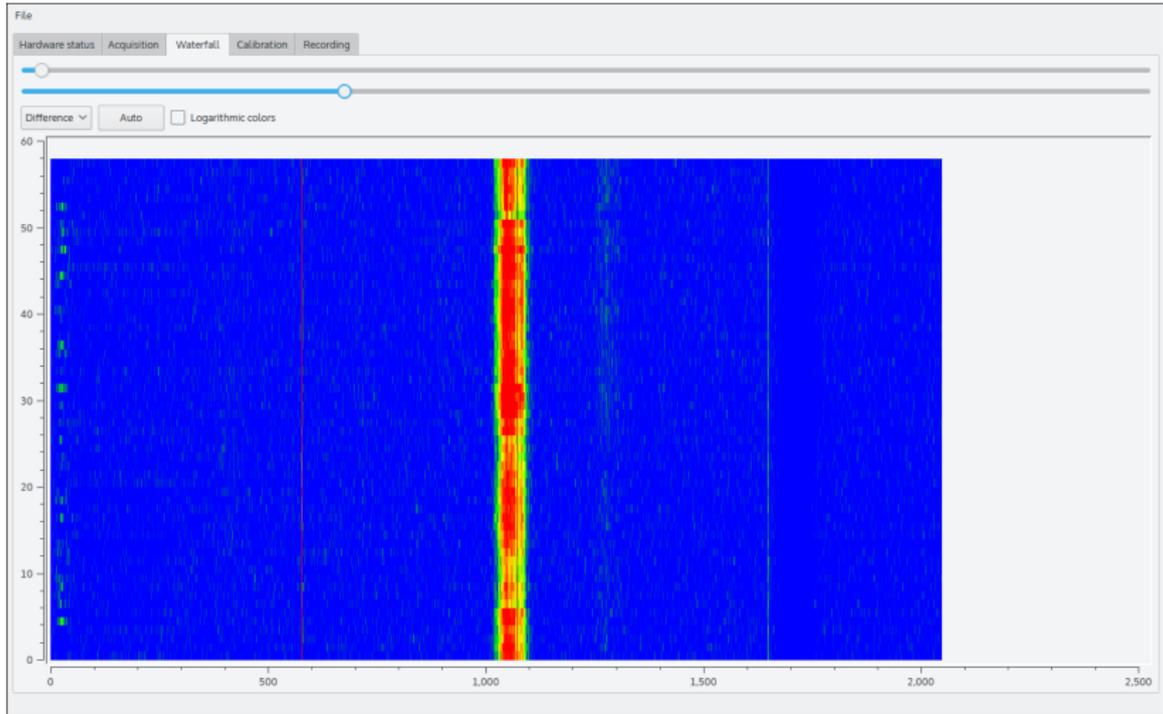
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne

Alles fertig! Zeit für ein paar echte Experimente . . .

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

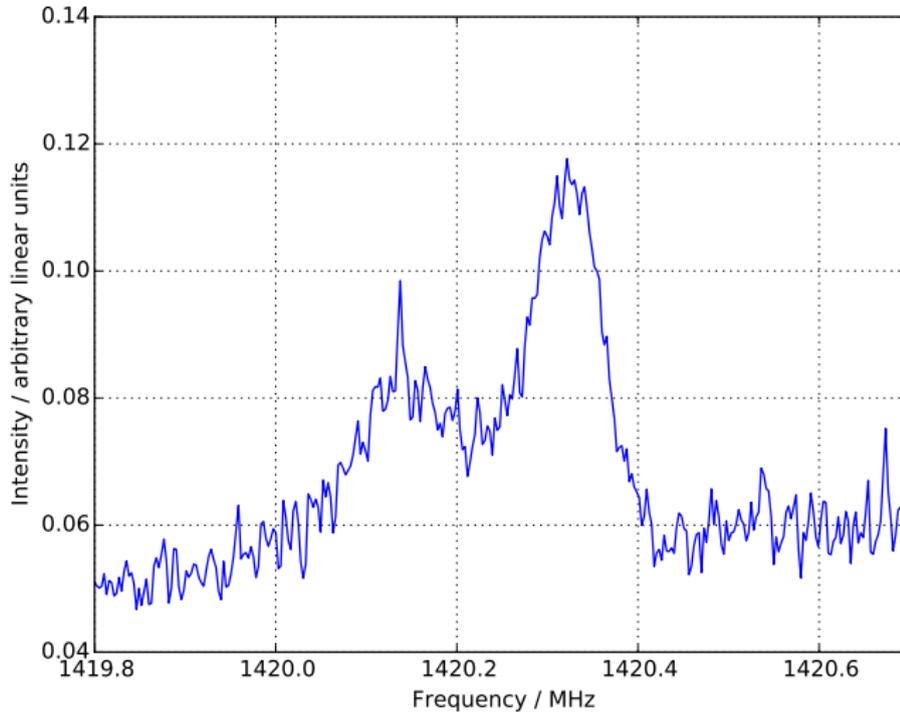
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

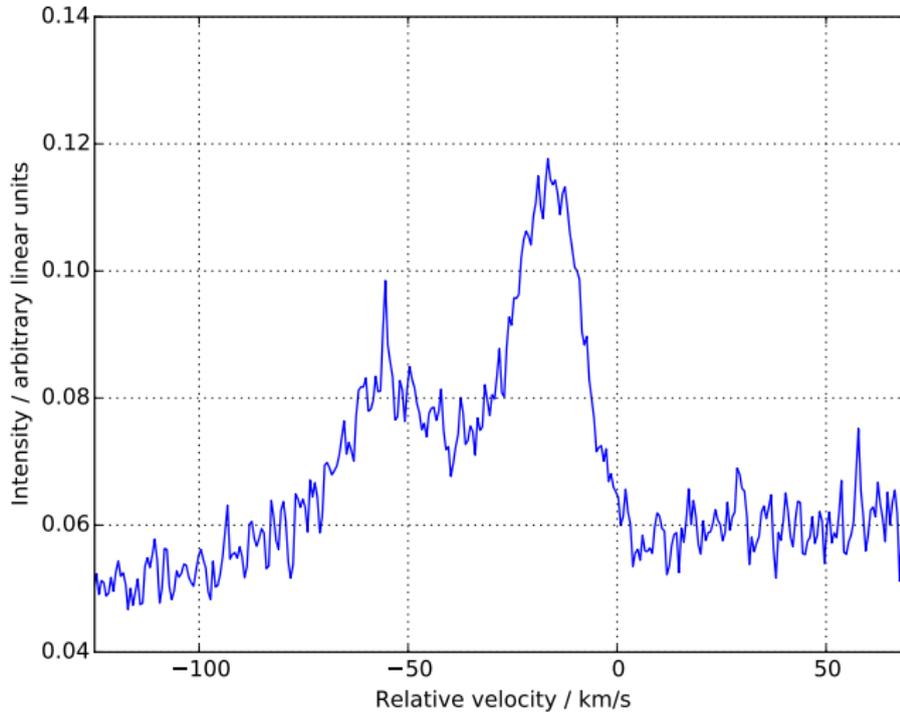
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

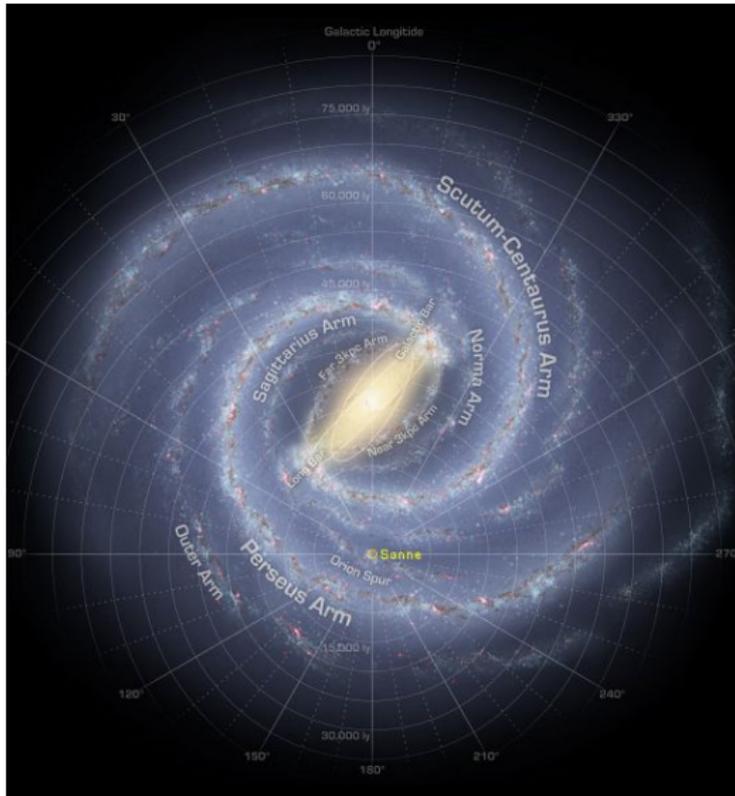
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

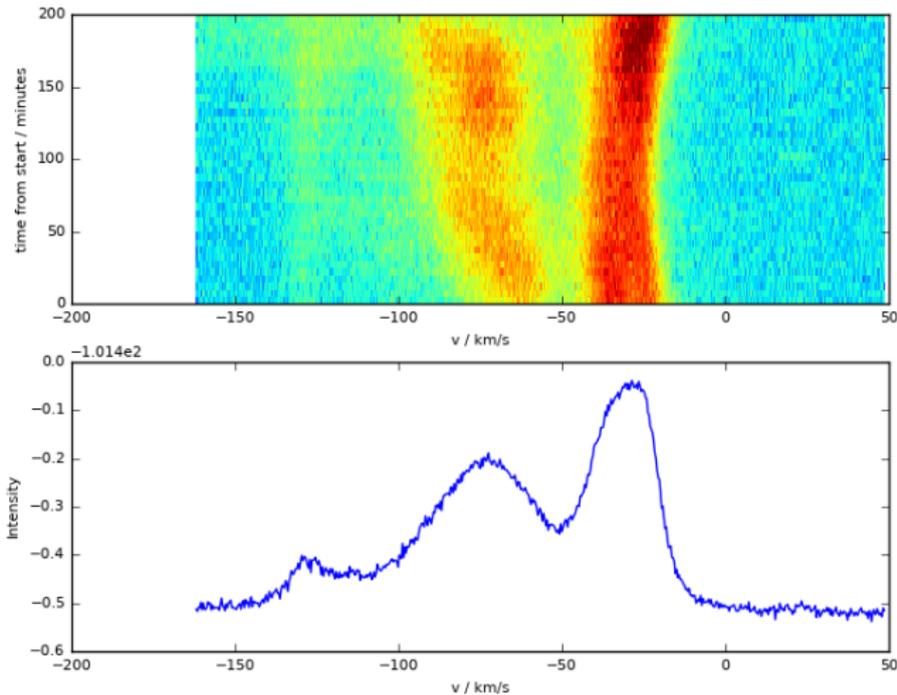
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

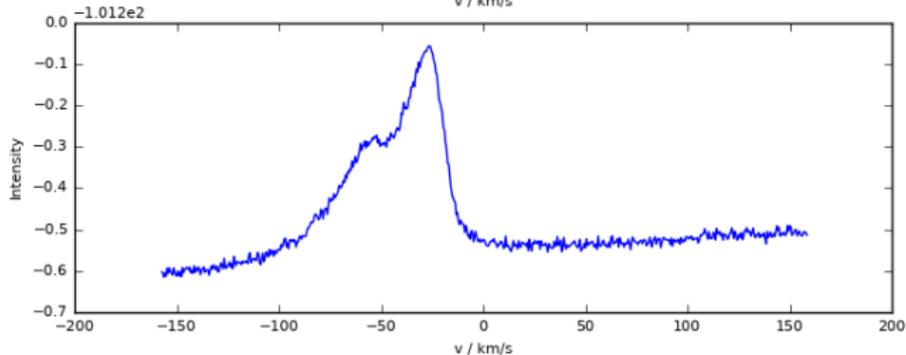
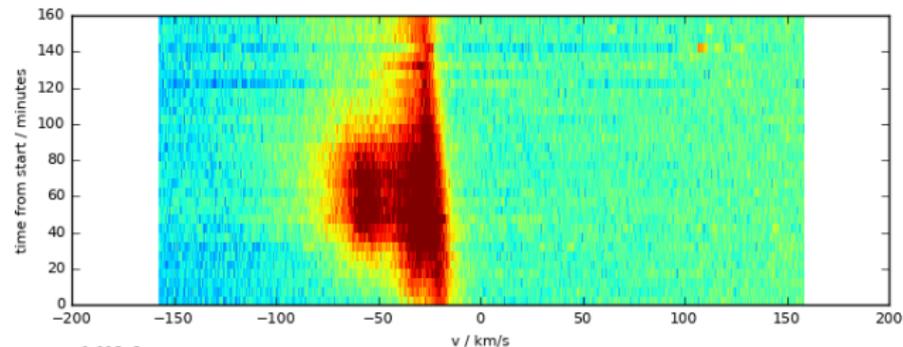
GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne



Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne

Weitere Pläne

- ▶ **Interferometrie** mit mehreren Boards und mehreren Antennen
- ▶ **Aufnahme einer „Karte“** (aka Bild) bei 21 cm durch Abrastern des Himmels
- ▶ Detektion der Strahlung von der **Andromeda-Galaxie**

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne

Weitere Pläne

- ▶ **Interferometrie** mit mehreren Boards und mehreren Antennen
- ▶ **Aufnahme einer „Karte“** (aka Bild) bei 21 cm durch Abrastern des Himmels
- ▶ Detektion der Strahlung von der **Andromeda-Galaxie**

Wo sind wir eigentlich im Universum?

Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs

Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme

Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter

Ergebnisse

GSM

Kalibration

„First Light“-Aufnahme

Ältere Ergebnisse

Weitere Pläne

Weitere Pläne

- ▶ **Interferometrie** mit mehreren Boards und mehreren Antennen
- ▶ **Aufnahme einer „Karte“** (aka Bild) bei 21 cm durch Abrastern des Himmels
- ▶ Detektion der Strahlung von der **Andromeda-Galaxie**

Wo sind wir eigentlich im Universum?
Die 21-cm-Linie des neutralen Wasserstoffs
Das Teleskop: ZF-Modul und Datennahme
Das Teleskop: Antenne, Vorverstärker und Filter
Ergebnisse

GSM
Kalibration
„First Light“-Aufnahme
Ältere Ergebnisse
Weitere Pläne

Danke für eure Aufmerksamkeit!

Kontakt: mail@svenbrauch.de
Blog: blog.svenbrauch.de