

Das 3-Meter Radioteleskop am "Astropeiler Stockert"

Teil 3: Pulsarbeobachtungen

Wolfgang Herrmann

1. Einleitung

Die Beobachtung von Pulsaren ist ein Ziel, welches viele Amateur-Radioastronomen verfolgen. Und in der Tat ist das ein durchaus erreichbares Ziel. Es wurde bereits mehrfach von verschiedenen Amateuren mit unterschiedlichen Ansätzen erreicht. Eine umfangreiche Zusammenstellung solcher erfolgreicher Experimente ist auf der Webseite von Steve Olney zu finden [1]. Dort findet man auch eine Reihe von Versuchen im L-Band mit Spiegeln in der Größenordnung von 3 bis 4 Metern Durchmesser [2], [3], [4], [5]. Dieses hat uns ermutigt, es auch mit unserem 3-m Spiegel zu versuchen.

2. Aufbau

2.1. 3-m Spiegel

Eine detaillierte Beschreibung des 3-m Teleskops am Astropeiler ist in [6] zu finden. Daher seien hier nur die wesentlichen Merkmale zusammengefasst. Der Spiegel ist in Azimut und Elevation steuerbar. Er hat einen Durchmesser von 3 Metern und ein f/D Verhältnis von 0,3. Das Feed ist ein sogenanntes "Kumar-Feed" mit einem rauscharmen Vorverstärker. Dieser hat eine Verstärkung von 34 dB bei einer Rauschzahl von 0,52 dB bei 1420 MHz. Die Systemtemperatur variiert je nach Elevation zwischen 100 und 60 K. Die Parameter des Teleskops sind in nachstehender Tabelle zusammengefasst.

Parameter	Wert bei 1420 MHz
3 dB Beambreite	5.1°
Systemtemperatur bei 50° Elevation	94 K
Forward Gain	0.0013 K/Jy
System equivalent flux density (SEFD) bei 50° Elevation	72,307 Jy
Aperturreffizienz	52%

2.2. HF-Kette

Für die Pulsarbeobachtungen wurde die HF Kette modifiziert. Der Grund hierfür war, dass wir unser Pulsar-Backend vom 25-m Spiegel verwenden wollten. Dies erfordert, dass das Signal auf den Bereich von 100-200 MHz heruntergemischt wird. Daher wurde ein Heterodyn-Verfahren wie in Abb. 1 verwendet.

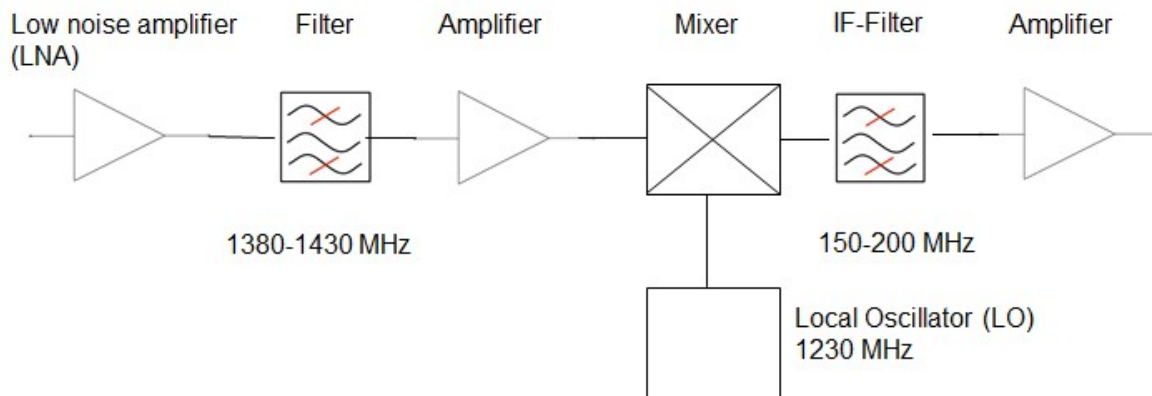


Abb 1: HF-Kette

2.3. Backend

Das in diesem Experiment verwendete Backend ist ein "Pulsar Fast Fourier Transform Spectrometer (PFFTS)". Es besteht im Wesentlichen aus einem schnellen A/D Wandler der das Zwischenfrequenzsignal von 100-200 MHz digitalisiert. Dann wird mit Hilfe eines FPGA eine Fouriertransformation in Realzeit durchgeführt. Das Backend liefert so Spektren mit einer hohen Zeitauflösung an einen Rechner zur Speicherung und späteren Auswertung. Die hier verwendete Zeitauflösung war 218 μ s. Der Takt wurde von unserem Rubidium-Normal abgeleitet.

Das PFFTS ist eine Entwicklung des Max-Planck-Institutes für Radioastronomie und wird an verschiedenen Teleskopen verwendet. Weitere Informationen über dieses Instrument sind in Abschnitt 3.2 von [7] zu finden.

Es sollte erwähnt werden, dass ein solches komplexes Backend keineswegs Voraussetzung für die Beobachtungen von Pulsaren durch Amateure sind. Eine Lösung basierend auf Software Defined Radios ist vielfach erfolgreich verwendet worden. Im Falle des Pulsars B0329+54 mit seiner geringen Dispersion kann sogar auch eine De-Dispersion bei 1420 MHz verzichtet werden. Dies erlaubt es, mit einem einfachen Leistungsdetektor zu arbeiten, wie das Beispiel [4] zeigt. Für uns hingegen war es das Einfachste, einen existierenden Aufbau zu verwenden um schnell ein Resultat zu erzielen.

2.4. Software

Die Spektren werden in einem Format aufgezeichnet, welches spezifisch für das PFFTS ist. Diese Daten werden dann in ein Standardformat, das "Filterbank-Format" gewandelt. Dieses kann dann von Standard Pulsar-Programmen analysiert werden. Wir verwenden hauptsächlich PRESTO [8] um die De-dispersion und das Falten der Daten vorzunehmen. Es wird jedoch auch sigproc [9] verwendet. Pulsarperioden werden mit tempo [10] berechnet.

3. Beobachtungen und Auswertung

3.1. Beobachtungen

Es wurden eine Reihe von Beobachtungen an verschiedenen Tagen durchgeführt. Der erste Versuch war am 7. Juni 2020. Dieser Versuch endete mit einem "vielleicht". Das Signal sah durchaus vielversprechend aus, aber das Signal-Rauschverhältnis (SNR) war nicht ausreichend, um eine Störung (RFI) als Ursache des

Signals eindeutig ausschließen zu können. Die Tests zur Überprüfung, die weiter unten beschrieben sind, konnten nur teilweise durchgeführt werden.

Weitere Beobachtungen folgten dann am 10., 14., 17., 21., 25. Und 28. Juni. Diese waren allesamt positiv. Das Ergebnis vom 21. Juni ist nachstehend ausführlicher dargestellt.

Der PRESTO Plot dieser Beobachtung ist in Abb. 2 zu sehen. Man sieht anhand des linken Graustufen-Plots, dass das Signal weitgehend während des Beobachtungszeit von ca. 2,6 Stunden vorhanden war und dass das Signal-Rauschverhältnis fortlaufend ansteigt. Der zweite Graustufen-Plot zeigt, dass das Signal im gesamten Bandbreitenbereich vorhanden war. Beides sind Anzeichen für ein Pulsarsignal, wie weiter unten noch näher ausgeführt.

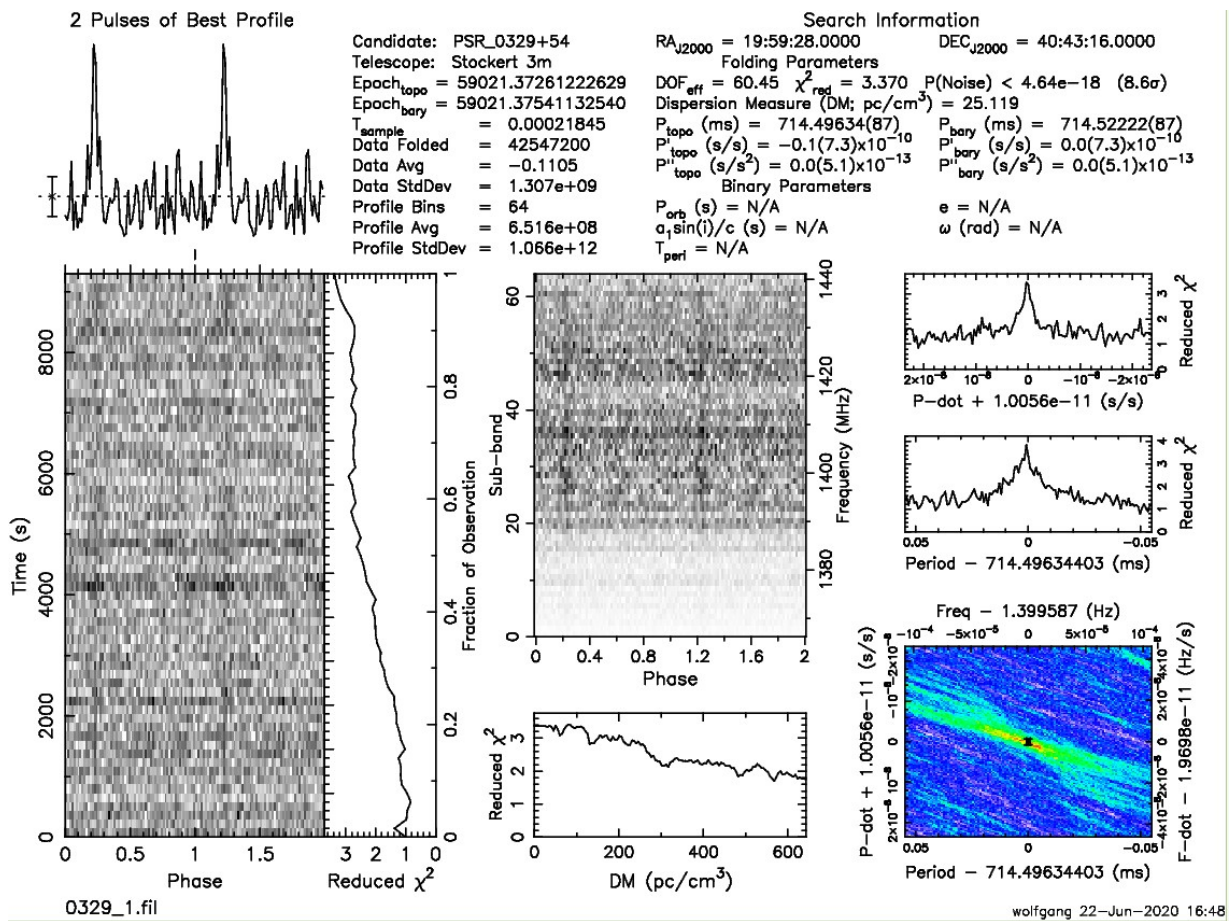


Abb. 2: PRESTO Plot der Beobachtung von B0329+54 am 21. Juni 2020

Die Aufzeichnungsbandbreite betrug 75 MHz. Dies ist breiter als die Bandbreiten der HF- und ZF Filter, die etwa 50 MHz ist. Daher nimmt die Intensität zu niedrigen Frequenzen hin ab.

Das Profil ist in Abb. 3 noch näher dargestellt. Hier wurde mit sigproc in 128 Bins gefaltet.

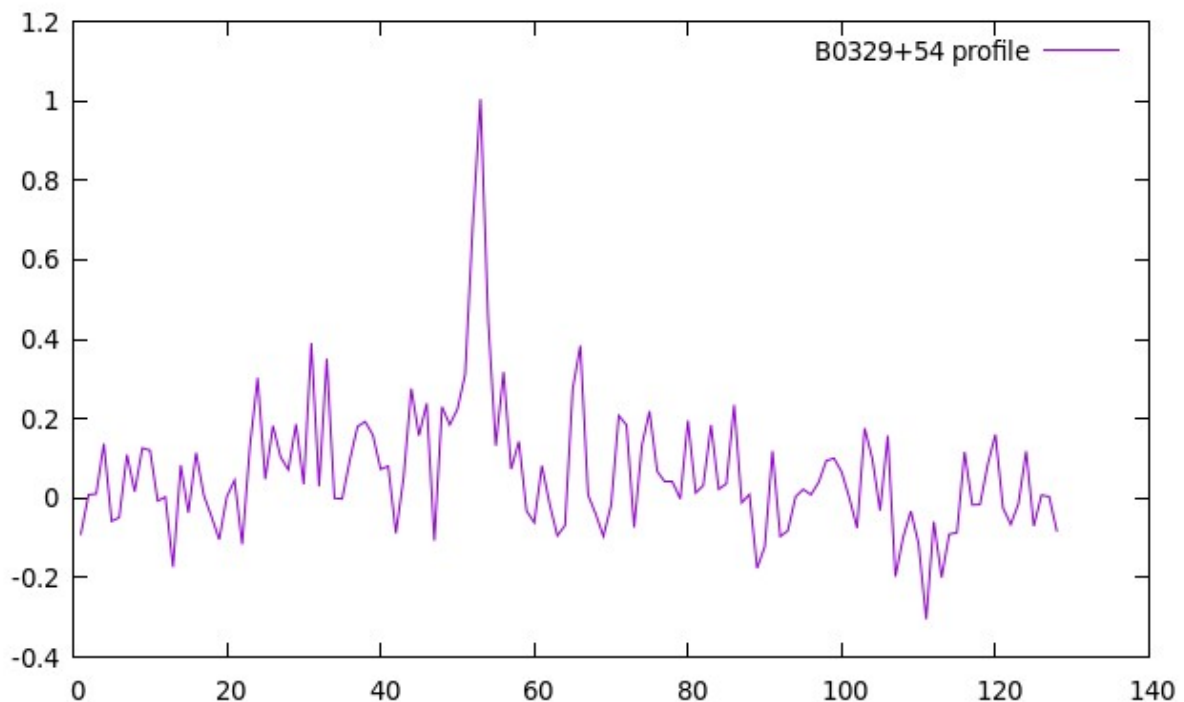


Abb 3: Profil (128 Bins)

3.2. Verifizierung der Ergebnisse

Pulsarsignale sind schwach, insbesondere wenn sie mit kleinen Antennen empfangen werden. Das Signal-Rauschverhältnis ist gering. RFI hingegen kann sehr leicht ein Pulsarsignal vortäuschen. Daher ist es erforderlich, sehr sorgfältig zu prüfen ob das empfangene Signal tatsächlich von einem Pulsar stammt. Dies erfolgt durch eine Reihe von Tests, die sich die physikalischen Eigenschaften von Pulsaren zu Nutze machen, um die Spreu vom Weizen zu trennen. Solche Tests sind nachstehend näher beschrieben.

Wiederholung von Beobachtungen

Naturgemäß muss eine Pulsarbeobachtung reproduzierbar sein. Eine gewisse Einschränkung gibt es durch Szintillation, durch die ein Pulsar mal starker und mal schwächer sein kann. Dies ist insbesondere auch bei diesem Pulsar der Fall. Hier jedoch waren alle Beobachtungen erfolgreich, wenn man das "vielleicht" vom 7. Juni mit einrechnet.

Datum der Beobachtung	Integrationszeit	Sigma der Detektion
7. Juni 2020	0,53 Stunden*	10,1**
10. Juni 2020	1,2 Stunden	6,5
14. Juni 2020	1,2 Stunden	5,1
17. Juni 2020	4,2 Stunden	10,8
21. Juni 2020	2,6 Stunden	8,6
25. Juni 2020	3,9 Stunden	10,1
28. Juni 2020	3,6 Stunden	10,9

*tatsächlich Beobachtungszeit länger, wegen RFI jedoch nur teilweise nutzbar

******obwohl das Sigma hoch ist, kann dies durch RFI verursacht sein. Es wird daher als „vielleicht“ angesehen.

Überprüfung der korrekten Pulsarperiode

Pulsare haben eine sehr stabile Rotationsperiode, die nur sehr langsam über die Zeit abnimmt. Jedoch gibt es eine Dopplerverschiebung aufgrund der Bewegung der Erde um die Sonne und weitere Effekte wie die Drehung der Erde. Das führt dazu, dass die topozentrische (gemessene) Periode vom Beobachtungszeitpunkt abhängt. Für bekannte Pulsare kann dieser Effekt mit hoher Präzision berechnet werden. Dies erfolgt durch Programme wie z.B. tempo [10].

So können berechnete und gemessene Periode verglichen werden. Für ein echtes Pulsarsignal müssen diese innerhalb der Messgenauigkeit übereinstimmen.

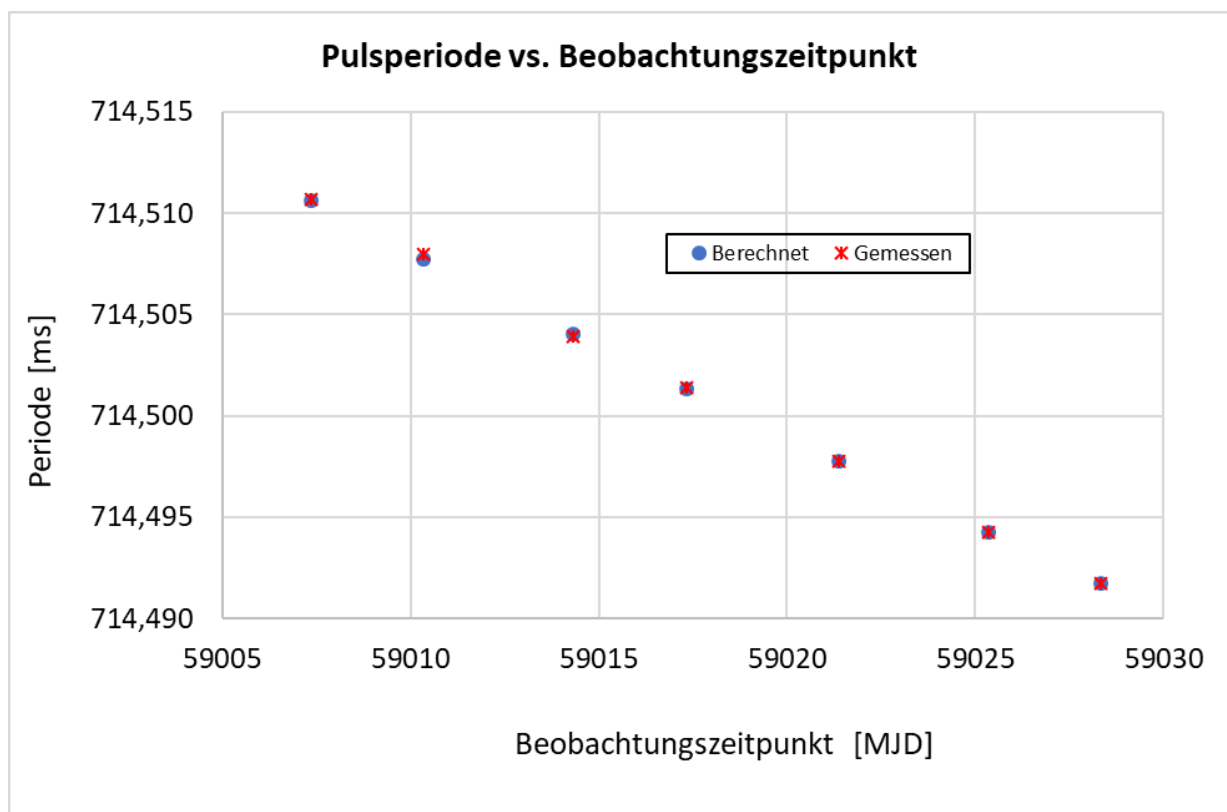


Abb 4: Topozentrische Periode bei verschiedenen Beobachtungszeitpunkten
(Beobachtungszeitpunkt als Modified Julian Date)

Dieser Vergleich ist in Abb. 4 zu sehen. Die Pulsarperiode für jede Beobachtung wurde dadurch bestimmt, dass die Daten mit etwas unterschiedlichen Perioden gefaltet wurden und die Periode ermittelt wurde, bei der das Signal-Rauschverhältnis maximal war. Es ergab sich eine exzellente Übereinstimmung zwischen erwarteter (berechneter) Periode und der gemessenen.

Prüfung auf Breitbandigkeit

Pulsare sind Synchrotronstrahler und emittieren daher in einem weiten Spektralbereich. Daher erwartet man, das Signal im gesamten beobachteten Frequenzband zu sehen. Dies wird bereits in dem Plot der Intensität in Abhängigkeit der Frequenz aus dem PRESTO Plot deutlich, siehe Abb. 5.

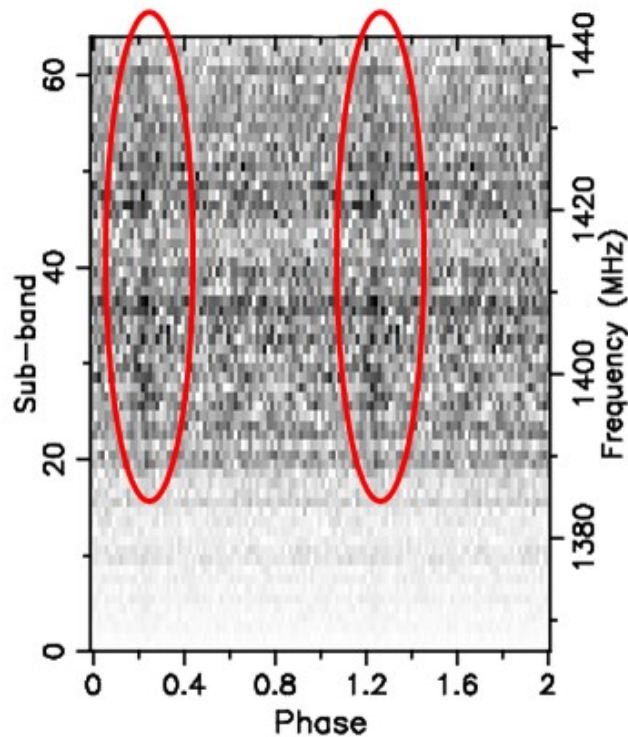


Abb. 5: Intensität über Frequenz

Eine weitere Überprüfung der Breitbandigkeit kann dadurch erfolgen, indem man jeweils Teile des Spektrums (Subbänder) faltet. Das Signal sollte dann in allen Subbändern in Erscheinung treten, wenn auch mit einem geringeren SNR. Dies sieht man in Abb. 6.

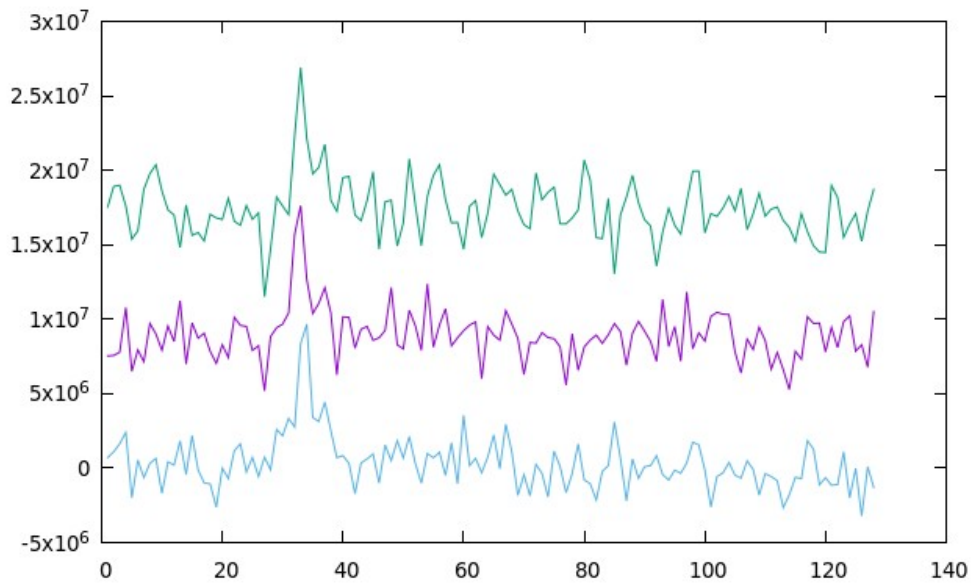


Abb. 6: Profile in Subbändern

Prüfung auf Periodizität

Ein Pulsar emittiert fortlaufend Pulse. Im Gegensatz dazu wird ein einzelnes RFI Ereignis ("Spike") nur einmalig auftreten. Eine Überprüfung kann dadurch erfolgen, dass man das Signal mit der doppelten Pulsperiode faltet. Dann müssen so wie in Abb. 7 zwei Pulse erscheinen.

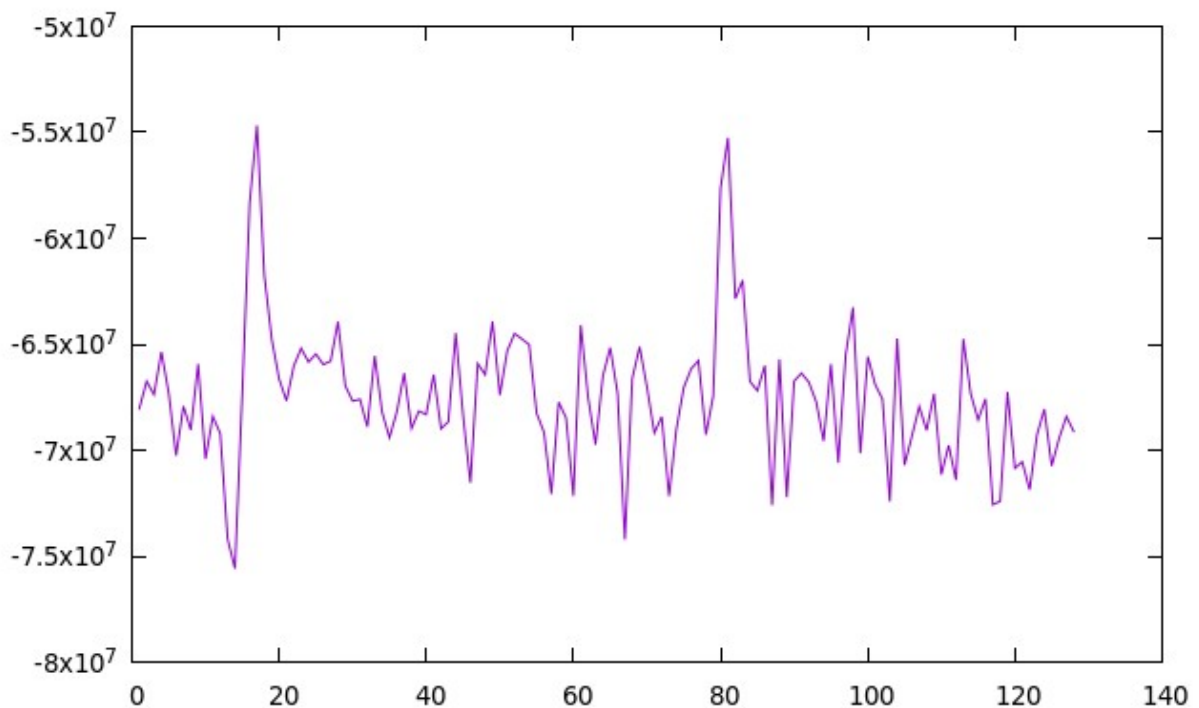


Abb. 7: Profil mit doppelter Periode gefaltet

Prüfung des Pulsprofils

Pulsare haben ein spezifisches Pulsprofil mit einer definierten Pulsbreite. Im Falle des B0329+54 sind dies 6 ms. Um dies zu überprüfen, wurden die Daten mit 714 Bins gefaltet, so dass man eine Zeitauflösung von 1 ms erhält. Diese ist höher als die in den bisher gezeigten Profilen, was allerdings auf Kosten des Signal-Rauschverhältnisses geht. Der untenstehende Plot in Abb. 8 zeigt, dass die Pulsbreite in der richtigen Größenordnung liegt. Aufgrund des beschränkten SNR ist allerdings eine genaue Bestimmung nicht möglich. Der Pulsar hat im Übrigen eine spezifische Eigenschaft bei 1400 MHz, nämlich einen Vor- und einen Nachpuls. Diese gehen allerdings bei diesen Beobachtungen in Rauschen unter und sind nicht erkennbar.

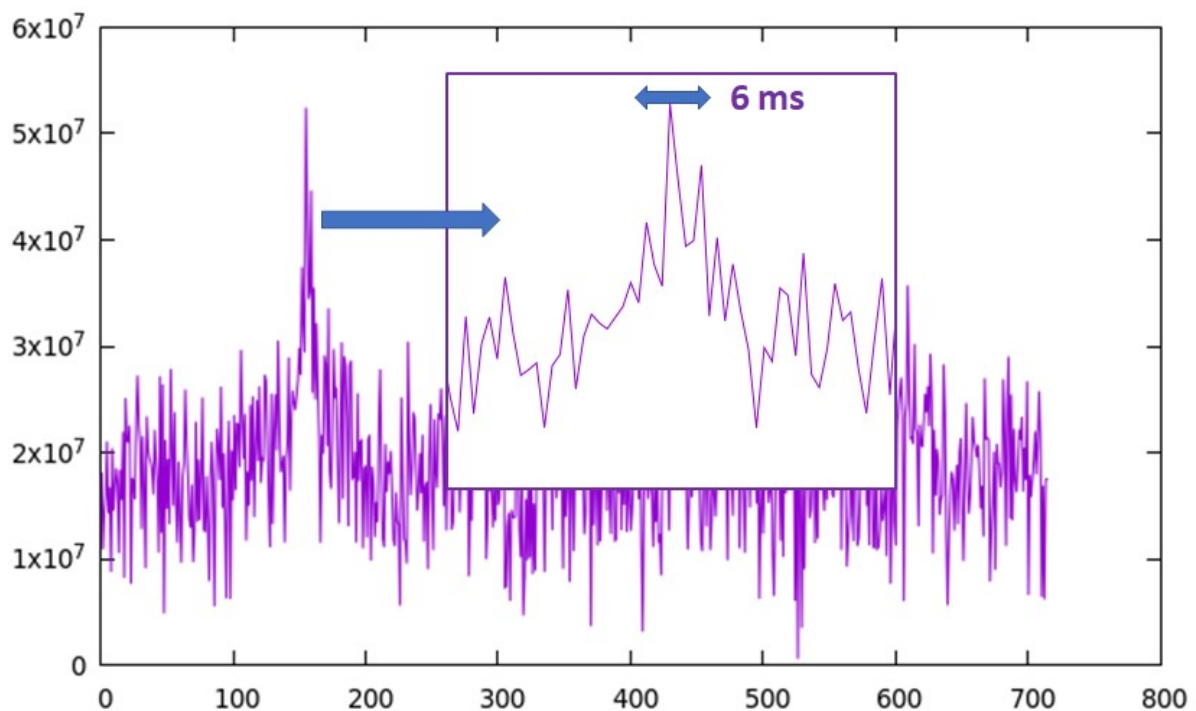


Figure 8: Analysis of pulse width

Überprüfung der Dispersion

Ein sehr spezifisches Kennzeichen von Pulsaren ist die Dispersion. Dies ist eine frequenzabhängige Verzögerung des Pulses durch das interstellare Medium. Leider ist die Dispersion des Pulsars B0329+54 recht klein, so dass diese bei dem geringen SNR dieser Beobachtungen nicht zuverlässig auswertbar ist.

4. Zusammenfassung

Der Pulsar B0329+54 wurde erfolgreich mit dem 3-m Radioteleskop des Astroteiler Stockert beobachtet. Die Beobachtung ist reproduzierbar, und verschiedene Tests haben gezeigt, dass es sich um ein echtes Pulsarsignal und nicht um einen Artefakt aufgrund einer Störung handelt.

Literatur:

- [1] Website von Steve Olney <http://neutronstar.joataman.net/>
- [2] Beobachtung von Hannes Fasching: https://www.qsl.net/oe5jfl/pulsar/pulsar_3m_dish.htm
- [3] Beobachtung von Tadeja Sade and Matjaz Vidmar:
<http://neutronstar.joataman.net/sites/s5/docs/jn65tw.pdf>
- [4] Beobachtung von Jean-Jaques Maintoux: https://f1ehn.pagesperso-orange.fr/pages_radioastro/Images_Docs/PSR_Meas_2017_revA3_Eng.pdf
- [5] Beobachtung von Andrea Dell'Immagine and Gabriele Tucci:
http://neutronstar.joataman.net/sites/iw5bhy_ik5vls_lucca/
- [6] W. Herrmann, Das 3-m Radioteleskop, Teil 1 und 2, Astropeiler Website
- [7] E.D. Barr et al., The Northern High Time Resolution Universe Pulsar Survey I: Setup and initial discoveries, <https://arxiv.org/pdf/1308.0378>
- [8] <https://www.cv.nrao.edu/~sransom/presto/>
- [9] <http://sigproc.sourceforge.net/>
- [10] <http://tempo.sourceforge.net/>