

Praktikumsprotokoll

Stockert-Exkursion

Max Pernklau
Max.Pernklau@udo.edu

Matthias Jaeger
Matthias.Jaeger@udo.edu

Durchführung: 22.06.2018

Abgabe: 12.09.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Auflösungsvermögen	3
1.1	Verfahren	3
1.2	Theorie	3
1.3	Auswertung	3
1.3.1	Auflösungsvermögen	3
1.3.2	Böen	4
1.4	Zusammenfassung	6
2	Krebspulsar	7
2.1	Theorie	7
2.2	Vorort-Auswertung	8
2.3	Eigenständige Auswertung	10
	Literatur	12

1 Auflösungsvermögen

1.1 Verfahren

Das Radioteleskop wird so ausgerichtet, dass es auf einen Punkt zeigt, der in wenigen Minuten von einer bekannten Punktquelle durchquert wird. Die Ausrichtung der Schüssel wird während der Messung nicht mehr verändert.

Durch die Rotation der Erde bewegt sich im Messverlauf die Quelle durch das Sichtfeld des Teleskops. Durch den aufgezeichneten Intensitätsverlauf kann so die *point spread function* des Teleskops bestimmt werden.

Dieses Verfahren wird verwendet, da das Tracking des Teleskops die Messgenauigkeit beeinflussen könnte.

In diesem Versuch wurde *Cas A* als Punktquelle verwendet (Messnummer 83241).

1.2 Theorie

Nach dem Rayleigh-Kriterium ist eine Auflösung in der Größenordnung von

$$\delta_{\text{Rayleigh}} = \arcsin \frac{1.22\lambda}{D} \approx 35' \quad (1)$$

zu erwarten. Dabei ist $D = 25$ m der Durchmesser des Astroteilers, als Größenordnung für die Wellenlänge wurde $\lambda = 21$ cm angenommen.

1.3 Auswertung

1.3.1 Auflösungsvermögen

Die Messdaten und ein Fit einer Gauß-Kurve sind in Abb. 1 abgebildet. Es wurde eine Gauß-Kurve gefittet, da die Nebenmaxima der durch die Beugung am Teleskop entstehenden Intensitätsverteilung sehr klein im Vergleich zum Hauptmaximum sind.

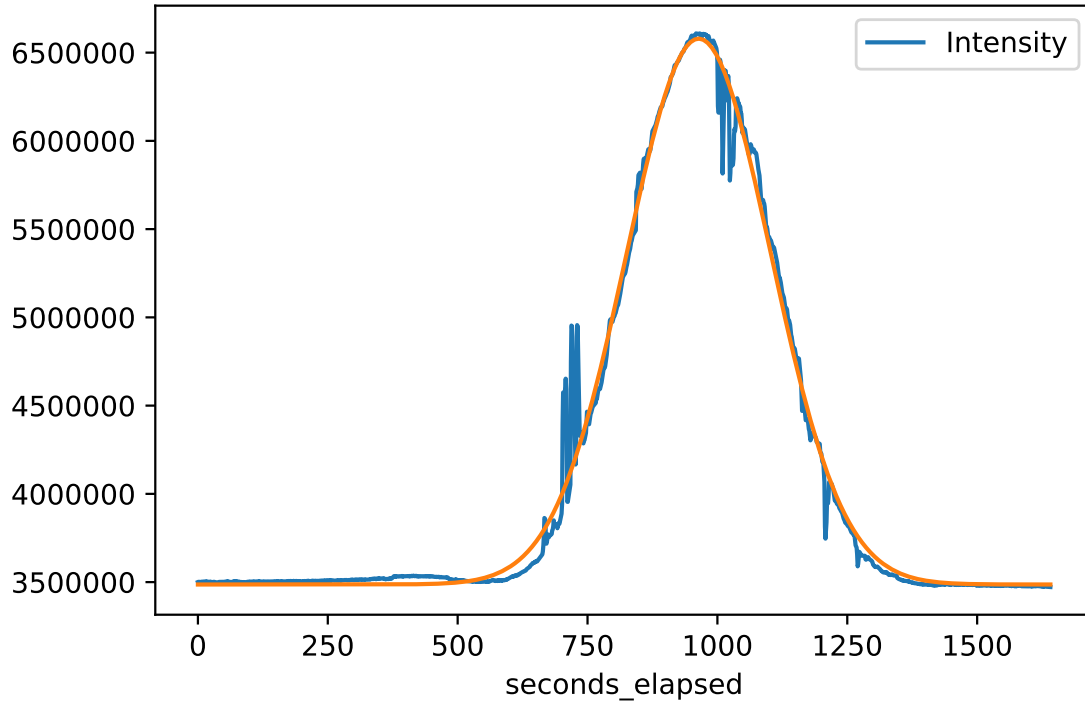


Abbildung 1: Messdaten und Gauß-Fit. Die Intensität ist in arbiträren Einheiten angegeben.

Das Teleskop zeigt $(964,0 \pm 0,4)$ s nach Messbeginn genau auf die Punktquelle. Die Breite der Verteilung ist $\sigma = (138,8 \pm 0,4)$ s, dies entspricht $\sigma = (34,7 \pm 0,1)'$.

Zur Auflösungsbestimmung wird nun das Kriterium nach Dawes herangezogen; es besagt, dass zwei nahe beieinanderliegende, gleich helle Punktquellen noch als auflösbar gelten, wenn die Intensität zwischen den beiden Punktquellen mindestens um 5% absinkt¹. Das dadurch erhaltene Auflösungsvermögen ergibt sich zu $\delta_\varphi \approx 79'$.

1.3.2 Böen

Während der Messung wird die Position des Teleskops nicht mehr durch die Motoren verändert; Windböen können jedoch die Schüssel verformen. Die durch den Wind ausgelösten Messfehler sind in Abb. 2 dargestellt. Der Wind kam vorwiegend aus einer Richtung, sodass alle von Böen beeinflussten Messwerte der tatsächlichen Intensität vorausseilen. Dies wird ausgenutzt, um die durch den Wind erzeugte Missweisung abzuschätzen.

¹Dies ist eine Konvention. Das tatsächliche Auflösungsvermögen hängt natürlich vom Intensitätsauflösungsvermögen des Teleskopes ab.

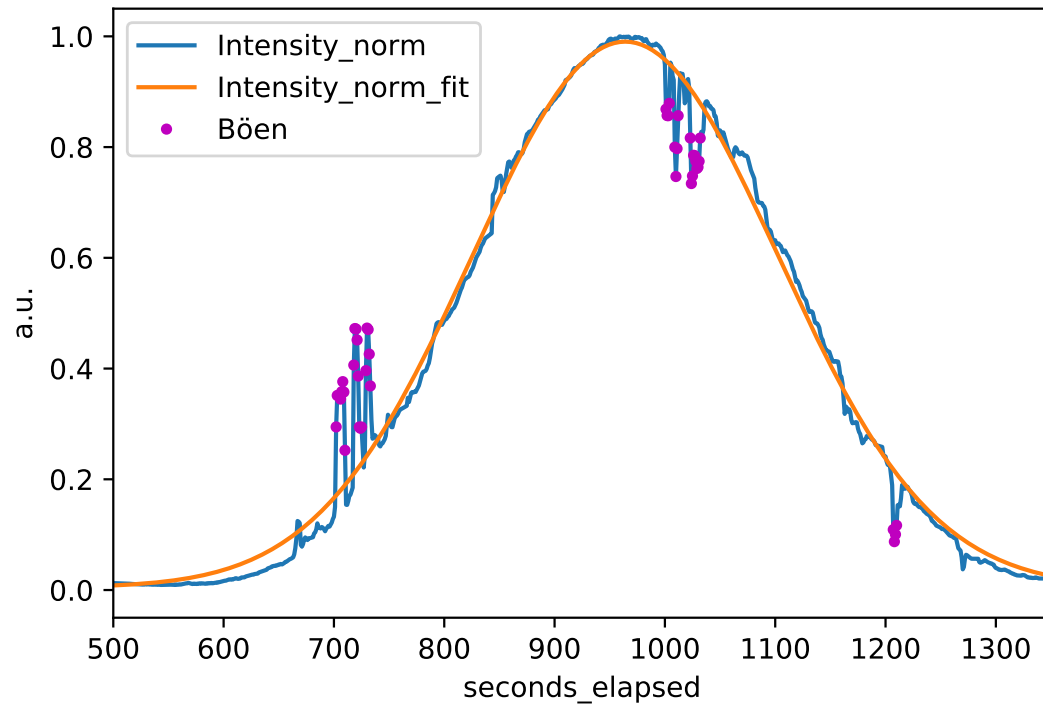


Abbildung 2: Auf das Maximum normierte gemessene und gefittete Intensität.

Es wird davon ausgegangen, dass die Steifigkeit des Teleskops so groß ist, dass sämtliche durch den Wind verursachten Schwingungen deutlich kleinere Perioden haben als das Messintervall (1 s). Die Verteilung der Böenstärke, angegeben in Bogenminuten der hervorgerufenen Abweichung, ist in Abb. 3 zu sehen.

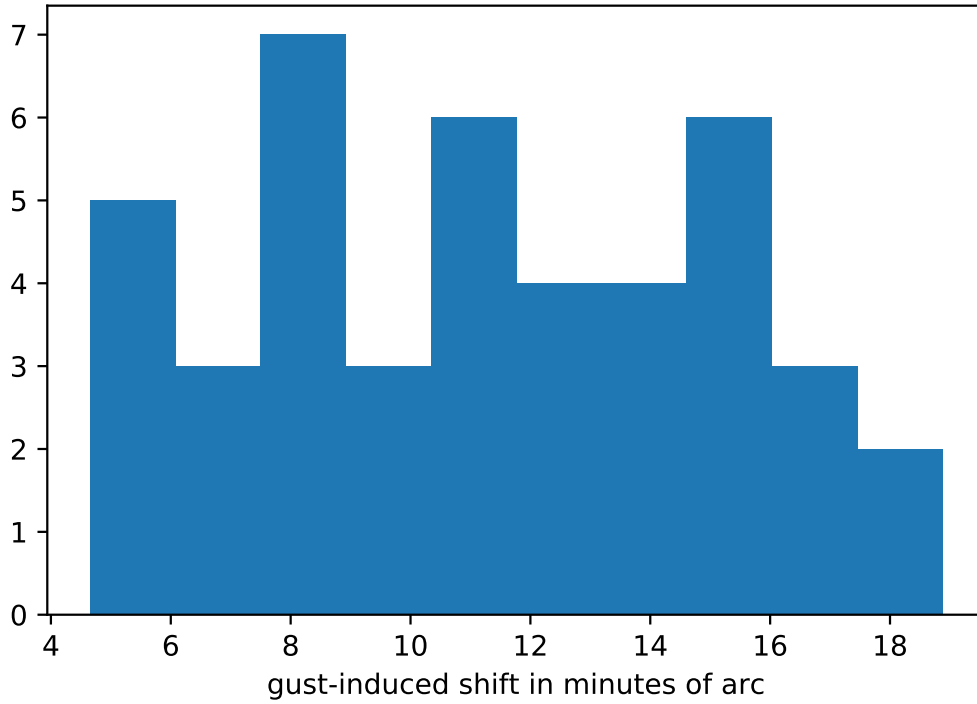


Abbildung 3: Verteilung der durch den Wind hervorgerufenen Weisungsabweichungen.

Böen, die eine kleinere Missweisung als 5' erzeugen, sind nicht dargestellt.

1.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die verschiedenen Abschätzungen zum Auflösungsvermögen alle in der gleichen Größenordnung liegen:

$$\delta_{\text{Rayleigh}} \approx 35' \quad (2)$$

$$\sigma = (34,7 \pm 0,1)' \quad (3)$$

$$\delta_{\varphi} \approx 79' . \quad (4)$$

Die Abweichungen zwischen dem Dawes-Kriterium und den anderen Werten ist hauptsächlich auf verschiedene Konventionen zurückzuführen. Die Rayleigh-Abschätzung und die Standardabweichung des Signals decken sich recht gut.

2 Krebspulsar

Der Krebspulsar ist der Neutronenstern im Zentrum des Krebsnebels und wurde 1968 entdeckt. Er rotiert etwa 30 mal pro Sekunde um seine Achse und sendet dabei elektromagnetische Strahlung aus in einem großen Frequenzbereich zwischen langwelligen Radiowellen bis in den Bereich der Gammastrahlung. Daher ist er auch im optischen Bereich sichtbar. Im Versuch wird lediglich ein kleiner Bereich dieser Frequenzen erfasst. Hieraus lässt sich beispielsweise die *Dispersion Measure* bestimmen, was im Folgenden geschehen soll.

Ferner ist der Krebspulsar auch bekannt für seine Eigenschaft, gelegentlich (etwa einmal in zehn Minuten) einen *Giant Pulse* auszusenden. Dieses Phänomen wurde während des Versuchs eingehend untersucht, bleibt in der eigenständigen Auswertung jedoch unberücksichtigt, da hierfür aufwändige Analyse-Programme verwendet werden müssen.

2.1 Theorie

Die vom Pulsar ausgesendete elektromagnetische Welle benötigt als Folge der Dispersion eine gegenüber der Geschwindigkeit in Vakuum längere Zeitspanne, um die Antenne zu erreichen. Wie der Name schon verrät, misst die *Dispersion Measure* dabei die Stärke dieser Dispersion, welche durch die Elektronendichte n_e des interstellaren Mediums sowie die Distanz d des Pulsars bestimmt wird.

$$DM \equiv \int_0^d n_e dl \quad (5)$$

Für die Zeitspanne bis zum Eintreffen des Pulses der Frequenz ν gilt [1]

$$t_p = \frac{d}{c} + \frac{e^2}{2\pi m_e c} \frac{DM}{\nu^2}, \quad (6)$$

wobei der zweite Summand die Verzögerung als Folge der Dispersion beschreibt. Da die Distanz d bzw. die absolute Zeit t_p nicht bekannt sind, wird im Folgenden die Frequenzabhängigkeit ausgenutzt, um die *Dispersion Measure* zu berechnen.

Dazu wird die Differenz $\Delta t_i \equiv t(\nu_i) - t(\nu_{i+1})$ betrachtet. Für diese gilt gemäß Gleichung (6)

$$\Delta t_i = \frac{e^2}{2\pi m_e c} DM_i (\nu_i^{-2} - \nu_{i+1}^{-2}). \quad (7)$$

Hieraus folgt durch Umstellen

$$DM_i = \Delta t_i \frac{2\pi m_e c}{e^2} (\nu_i^{-2} - \nu_{i+1}^{-2})^{-1}. \quad (8)$$

An dieser Stelle muss noch berücksichtigt werden, dass die Formel in cgs-Einheiten notiert ist. Die Masse m_e ist in g, die Lichtgeschwindigkeit c in cm s^{-1} anzugeben. Ferner ist $e = 4,803\,204\,27 \cdot 10^{-10} \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ s}^{-1}$ und schließlich wird DM zumeist in $\text{cm}^{-3} \text{ pc}$ angegeben. Für letzteres gilt $1 \text{ pc} \approx 3 \cdot 10^{18} \text{ cm}$. Glücklicherweise ist in [1] die Umrechnung angegeben. Damit folgt schließlich

$$\frac{DM_i}{1 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}} = \frac{1}{4140} \frac{\Delta t_i}{1 \text{ s}} ((\nu_i/1 \text{ MHz})^{-2} - (\nu_{i+1}/1 \text{ MHz})^{-2})^{-1} \quad (9)$$

2.2 Vorort-Auswertung

Die Abbildung 4 zeigt die Zusammenstellung der Auswertung, welche vom Versuchsleiter vor Ort vorgenommen wurde. Hieraus gehen sowohl *Dispersion Measure* (Diagramm unten mittig sowie

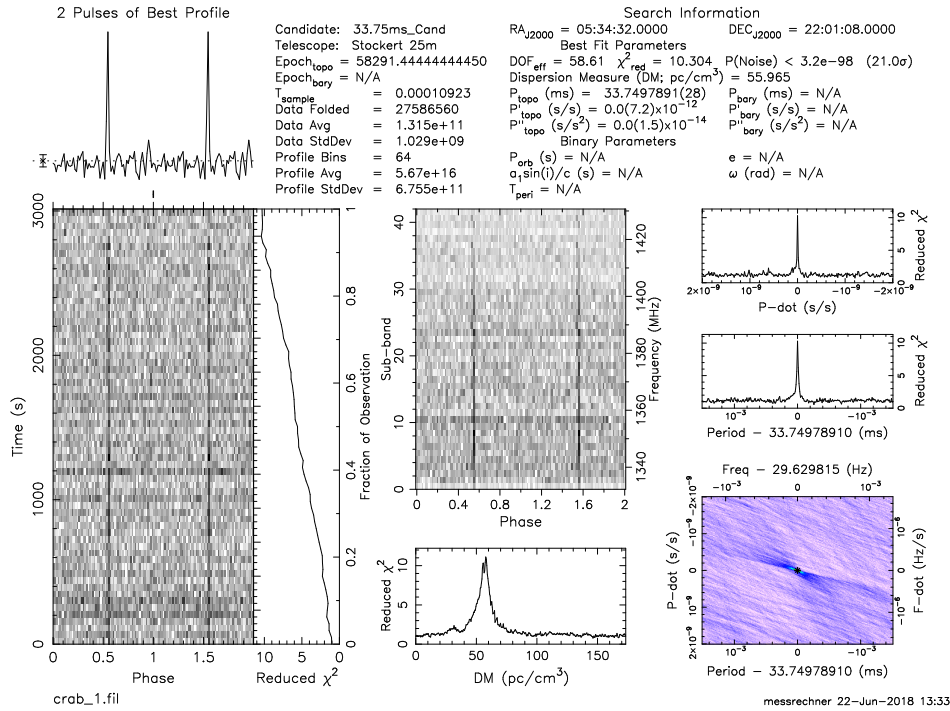


Abbildung 4: Auswertung der Krebspulsar-Messung vor Ort.

Zahlenwertangabe im oberen Bereich), als auch Rotationsperiode T hervor (Diagramm unten rechts).

Die Ergebnisse einer Messung über eine Dauer von 50 Minuten sind in Abbildung 5 zu sehen. Interessant ist insbesondere die untere Darstellung. Hier sind die *Giant Pulses* klar zu erkennen, zum Beispiel bei 2500 s. In dem Diagramm oben links ist zu erkennen, dass für wenige Pulse das Signal-zu-Rausch Verhältnis größer als 60 ist. Die Ursache von *Giant Pulses* ist noch ungeklärt.

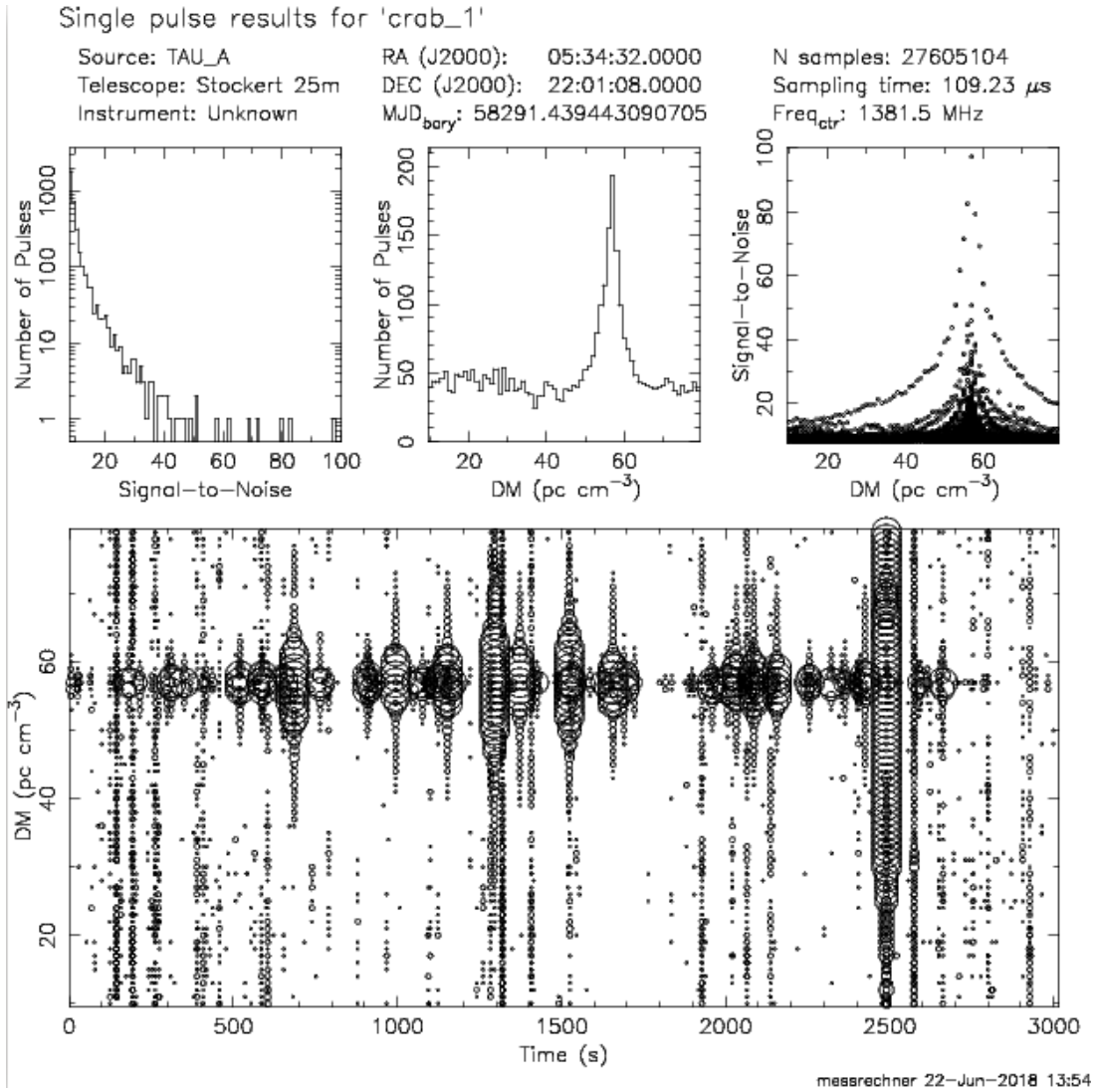


Abbildung 5: Auswertung der Krebspulsar-Messung vor Ort mit Hinblick auf *Giant Pulses*.

2.3 Eigenständige Auswertung

Im Versuch wurde das Signal des Krebspulsars in vier verschiedenen Frequenzbändern aufgenommen. Die Messdaten sind in Abbildung 6 aufgetragen. Die Zeitachse beschreibt dabei die

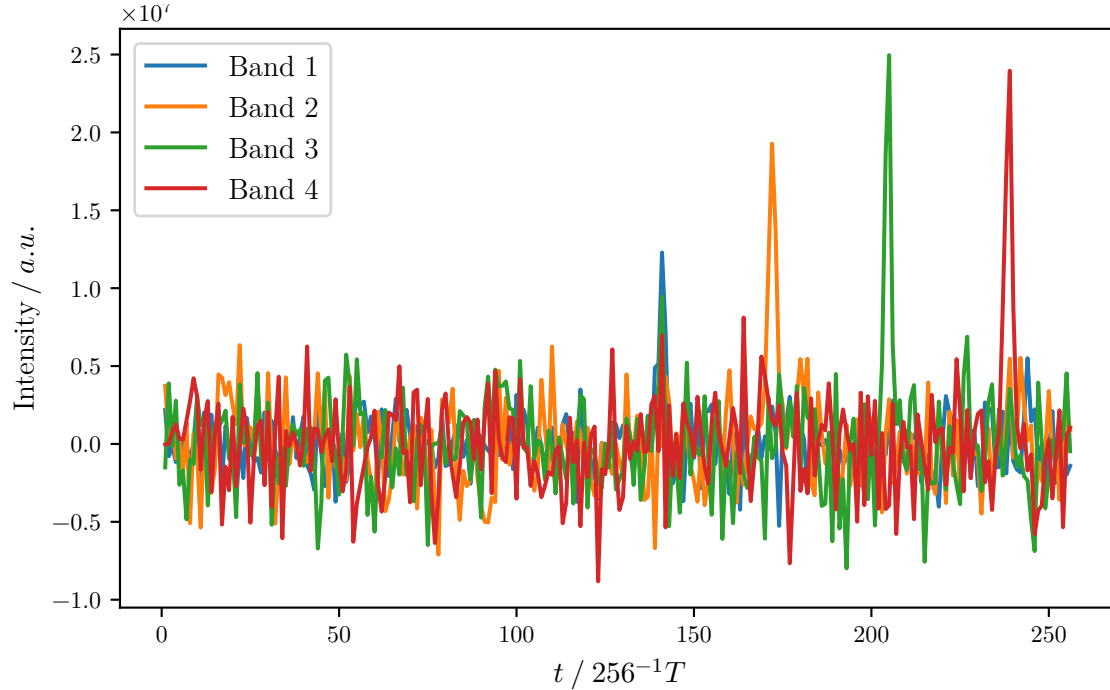


Abbildung 6: Messdaten mit vier Frequenzbändern. Der Peak links ist der höchsten Frequenz zuzuordnen und umgekehrt.

Aufteilung in 256 Datenpunkte, welche zusammen eine Periode der Pulsarrotation bilden. Die Periodendauer wurde dabei im Versuch zu $T = 33,749\,789\,1$ ms bestimmt. Wegen des Zusammenhangs (6) muss angenommen werden, dass zeitlich frühere Signale höheren Frequenzen zugeordnet sind. Die Zuordnung der Frequenzen wurde mehr oder weniger geraten, da die gespeicherte Datei hierzu keinen direkten Aufschluss lieferte. Als Anhaltspunkt wurde stattdessen die vor Ort vorgenommene Auswertung verwendet, wo als Frequenzbereich ca. 1330 MHz bis 1430 MHz in der Abbildung 4 zu sehen sind. Dieser Bereich wird geviertelt, sodass sich die Mittenwerte $\bar{\nu}$ in Tabelle 1 ergeben. Die Peaks wurden der Einfachheit halber nicht gefittet, sondern lediglich der

Tabelle 1: Messdaten Krebspulsar in einem Frequenzbereich zwischen 1330 MHz und 1430 MHz. Die Größe t bezeichnet die Position des Peaks auf der Zeitachse.

Band	$\bar{\nu} / \text{MHz}$	$t / 256^{-1}T$
1	1342,5	238
2	1367,5	204
3	1392,5	171
4	1417,5	140

Maximalwert als entsprechender Messwert t verwendet.

Die gemäß Gleichung (9) benötigten Größen sind zusammen mit dem Resultat für die *Dispersion Measure* in Tabelle 2 angegeben. Hieraus wird die mittlere *Dispersion Measure* samt Fehler des

Tabelle 2: Dispersion Measure und die für die Berechnung selbiger relevanten Größen.

i	$\Delta t_i / \text{ms}$	$((\nu_i/1 \text{ MHz})^{-2} - (\nu_{i+1}/1 \text{ MHz})^{-2})^{-1} / 10^6$	$DM_i / \text{cm}^{-3} \text{ pc}$
1	4,48	49,75	53,86
2	8,83	25,56	54,53
3	12,92	17,49	54,60

Mittelwertes zu

$$DM = (54,3 \pm 0,2) \text{ cm}^{-3} \text{ pc} \quad (10)$$

ermittelt. Trotz der Tatsache, dass die Frequenzzuordnung geraten werden musste und diese mit lediglich vier Bändern vergleichsweise grob ist, liegt das Ergebnis sehr nahe an dem Wert $DM_{\text{vorOrt}} = 55,965 \text{ cm}^{-3} \text{ pc}$ der Vorort-Auswertung, siehe Abbildung 4. Letztere wird mutmaßlich mit Hilfe einer feineren Frequenzinformation gewonnen. Dann kann statt dem oben beschriebenen Verfahren die Ableitung der Laufzeit nach der Frequenz verwendet werden.

Abschließend wird eine effektive Dichte errechnet. Dazu wird die Dichte in Gleichung (5) als konstant gesetzt, sodass

$$DM = d \cdot n_{\text{eff}} \quad (11)$$

gilt. Gemäß [2] beträgt der Abstand zum Krebspulsar etwa $d = 2200 \text{ pc}$, womit

$$n_{\text{eff}} = DM/d \approx 0,025 \text{ cm}^{-3} \quad (12)$$

folgt. Als Vergleich wird in der Literatur [1] für das interstellare Medium $n_e \approx 0,05 \text{ cm}^{-3}$, also ein doppelt so großer Wert angegeben.

Literatur

- [1] *Dispersion measure*. Sep. 2018. URL: https://casper.berkeley.edu/astrobaki/index.php/Dispersion_measure.
- [2] R N Manchester u. a. „The Australia telescope national facility pulsar catalogue“. In: *The Astronomical Journal* 129.4 (2005), S. 1993.