

TESS-Lichtkurven im Vergleich zu eigenen Beobachtungen des Delta-Scuti-Sterns VZ Cancri

Matthias Kolb

Anfang 2022 habe ich VZ Cnc photometrisch beobachtet. Es handelt sich um einen HADS(B)-Stern, einen **High-Amplitude-Delta-Scuti-Stern** vom Typ B. Delta-Scuti-Sterne sind kurzperiodische Pulsatoren, typischerweise dauert eine Periode wenige Stunden. Die HADS-Typen zeigen dabei Amplituden, also die Differenz zwischen Maximum und Minimum, von mehr als 0,3 Magnituden. Typ B bedeutet, dass die Sterne nicht nur in einer radialen Frequenz pulsieren, sondern in zwei, manchmal auch mehr. Man kann sich zum Vergleich die pulsierende Luftsäule in einer Orgelpfeife vorstellen, bei der auch nicht nur die Grundfrequenz, z.B. 440 Hz beim Kammerton A, angeregt wird, sondern eine Menge Obertöne. Diese Obertöne sorgen dann auch für den typischen Klang eines Instrumentes (neben anderen Effekten wie dem Anschwingverhalten). Bei den HASD(B)-Sternen ist die Grundfrequenz zumeist gar nicht angeregt, sondern die ersten beiden Obertöne. Man kann das aus dem Frequenzverhältnis $F1/F2$ entnehmen, welches bei etwa 0,8 liegen sollte, wie man durch die Modellierung dieser Sterne berechnet hat [3] [7] [8].

Aus der Literatur waren für VZ Cnc die Perioden der beiden Moden bekannt und ich konnte diese durch meine Beobachtungen bestätigen (siehe Tabelle 1) [4] [5] [6].

Tabelle 1 Frequenzen/Perioden von VZ Cnc

Frequenz d-1	Fu, Jiang	Cox et. al.	Kolb 2021	Periode
F1	5,606520069	5,6066	5,60695	0,17835
F2	7,002600065	7,0022	7,00329	0,14279
F1/ F2	0,80	0,80	0,80	

Von VZ Cnc war auch bekannt, dass sowohl die Amplituden wie auch die Lage des Maximums zwischen den Zyklen recht deutlich variieren, dies konnte ich ebenfalls in meinen Daten erkennen.

Vor einigen Wochen habe ich begonnen, mich intensiver mit dem Satelliten TESS zu beschäftigen und dabei bot sich mir ein Vergleich zu meinen Messungen bei VZ Cnc.

TESS (Transiting Planet Survey Satellite) dient der Suche nach Exo-Planeten mittels der Transit-Methode. Dabei wird die leichte "Verdunkelung" des Sternes gemessen, sobald ein Planet vorbeizieht. Entsprechend kann man also nur solche Planeten finden, deren Bahnebene etwa in unserer Blickrichtung liegt. TESS fotografiert dazu mit vier Kameras jeweils ein Himmelsareal von $24 \times 24^\circ$, zusammen $96 \times 24^\circ$. Der Filter der Kamera lässt Licht im roten/infraroten Bereich zwischen 600 und 1000 nm durch, abweichend von den sonst typischen photometrischen Beobachtungen von variablen Sternen durch Amateurastronomen, die ja überwiegend im V- und B-Band, also um 500 und 400 nm stattfinden. Auch sind die Pixel relativ groß, ein Pixel

entspricht etwa 21 Bogensekunden, da kann durchaus auch mal mehr als ein Stern gleichzeitig abgebildet werden. Man muss also etwas Vorsicht walten lassen, wenn man TESS-Daten für veränderliche Sterne anwendet und diese Lichtkurven mit anderen Beobachtungen vergleicht.

Wie kommt man nun an die TESS-Daten? Es gibt verschiedene Wege und ich möchte hier den einfachsten beschreiben, den man für solche Sterne wählen kann, für die es schon kalibrierte Lichtkurven im 120-Sekunden-Intervall im TESS-Datenarchiv gibt. Ein Beobachtungslauf liefert dann 16.344 (!) Daten für 24,5 Tage, durchgehend bis auf eine Pause von etwa 40 Stunden in der Mitte. Eine geradezu paradiesische Datenlage. Die meisten Sterne jedoch wurden in Kadenzen von ≥ 10 Minuten fotografiert, für kurzperiodische Pulsatoren ist das eine etwas zu langer Zeitraum.

Um zu sehen, ob und wann ein Stern, für den man sich interessiert, fotografiert wurde, kann man das Web TESS Viewing Tool (WTV) benutzen:

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/tess/webtess/wtv.py>.

Nach Eingabe des Namens oder der Koordinaten erhält man als Ergebnis z.B. für VZ Cnc fünf Beobachtungskampagnen zwischen 2019 und 2022 mit drei der vier Kameras. Eine weitere Beobachtung ist für das Frühjahr 2023 geplant.

Der nächste Schritt führt dann zum Mikulski-Archiv mit dem MAST-Portal: <https://mast.stsci.edu/portal/Mashup/Clients/Mast/Portal.html>. Hier kann man wieder Name oder Koordinaten eingeben und erhält eine Tabelle mit Dateien von Satellitenbeobachtungen, nicht nur von TESS. So findet man z.B. auch Kepler-Daten und viele UV-Spektren. Aber aufpassen: Es werden auch Dateien zu Sternen angeboten, die im Umfeld der Koordinaten liegen, daher immer in der letzten Spalte gucken, dort steht der Abstandswinkel.

Für die Lichtkurven oder Spektren klickt man einfach auf die entsprechenden Icons und kann die Kurven sofort sehen und auch hineinzoomen. Zum Download kann man sich einen Warenkorb mit Daten füllen und kostenfrei auf die lokale Festplatte laden. Die Daten sind im mehrdimensionalen FITS-Format. Ich nutze das Programm VStar der AAVSO [1] [2], um die Daten einzulesen und auszuwerten. Auch jetzt sollte man wieder aufpassen: Man bekommt sowohl Rohdaten als auch korrigierte Lichtkurven. Unbedingt beide anschauen, denn die maschinellen Korrekturen scheinen manchmal auch Artefakte zu erzeugen. Künstliche Intelligenz (AI) ist nicht immer übermäßig schlau. Ich verwende im Weiteren die Rohdaten. Zur Kalibrierung der Magnituden wird im Fitsheader unter #TESSMAG ein Wert angegeben (bei VZ Cnc 7.352). Dort finden sich auch andere Parameter des Sterns wie T_{eff} , $\log g$, Metallizität.

Man sieht sehr schön in der Abbildung 1, dass die Lichtkurve deutlich Veränderungen der Maxima, sowohl hinsichtlich Lage als auch Amplitude aufweist: Die Abstände zwischen zwei Peaks sind nicht gleich der Hauptperiode von 0,1784 Tagen, sondern pendeln um diesen Wert; das ist der Einfluss der zweiten Schwingung mit einer

Periode von 0,1428 Tagen. Sehr schön sieht man auch die Beat-Periode von 0,716 Tagen, dem Kehrwert der Differenz der beiden Schwingungsmoden. Die Amplituden sind etwas kleiner als bei den photometrischen Messungen aus der Literatur und meinen Ergebnissen, was an dem Wellenlängenbereich von TESS liegt. Auch in der Literatur findet man Belege, dass die Amplituden im blauen/grünen Bereich größer sind als bei höheren Wellenlängen.

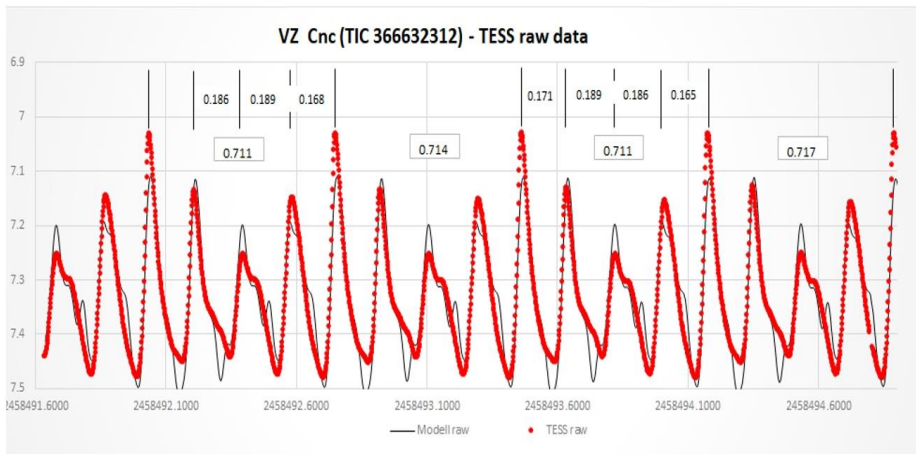


Abb. 1: Ausschnitt aus der TESS-Lichtkurve vom Januar 2021. Die schwarze Kurve bildet ein Modell aus der Fourieranalyse ab.

Wie kann man nun diese Frequenzen einfach ermitteln? Das geschieht standardmäßig mittels einer Fourieranalyse, mit der man eine periodische Funktion in Summen von Sinus- und Cosinus-Funktionen zerlegt. Man erhält im ersten Schritt ein Diagramm mit den Frequenzen, die am stärksten zur Amplitudenveränderung der Lichtkurve beitragen (ein sogenanntes Powerspektrum).

Abbildung 2 zeigt dieses Spektrum für den Beobachtungszeitraum Anfang 2021, direkt vor meinen Messungen. Man sieht sehr schön die beiden Frequenzen der Obertöne bei $5,6065$ und $7,0027 \text{ d}^{-1}$. Weitere Peaks zeigen Kombinationsfrequenzen der Formel $n \cdot F_1 + m \cdot F_2$ mit $n, m = 0, +1, -1, -2, \dots$

Um die Frequenzen möglichst genau zu ermitteln, kann man noch das sog. *Pre-Whitening* verwenden, bei der man ein Modell mit der Hauptfrequenz an die Messdaten fittet und dann die Residuen, also die Differenzen zwischen den Mess- und Modellwerten, einer erneuten Fourieranalyse unterwirft (und so weiter). Wie man der Abbildung entnehmen kann, sind sehr viele dieser Kombinationen sichtbar, aber nicht alle mathematisch möglichen liegen über dem Rauschen von etwa $0,3 \text{ mmag}$.

Period Analysis (DC DFT) for TIC 366632312

(series: TESS raw)

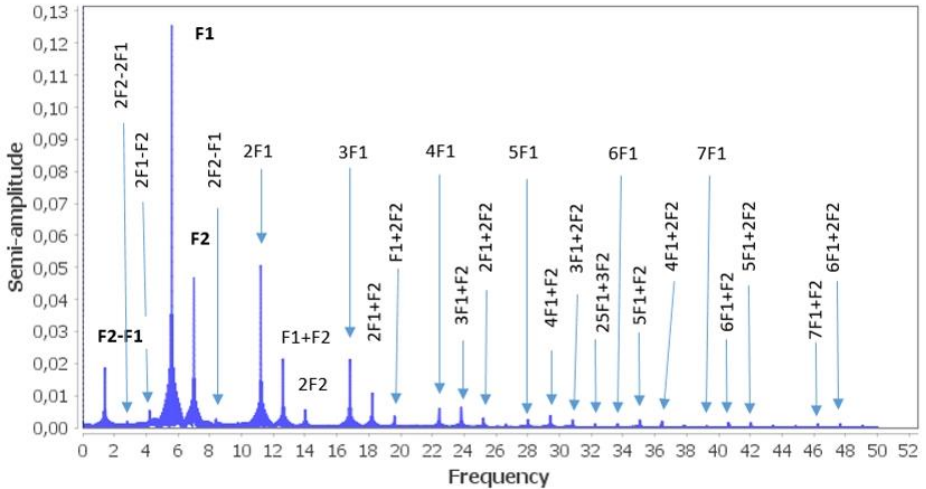


Abb. 2: Powerspektrum mit Semi-Amplituden und Frequenzanalyse

Es findet sich kein Hinweis auf die Fundamentalschwingung, die bei etwa $4,3 \text{ d}^{-1}$ liegen müsste. Zur Feststellung, ob auch nichtradiale Moden im mmag-Bereich auftreten, muss man die Analysen noch verfeinern.

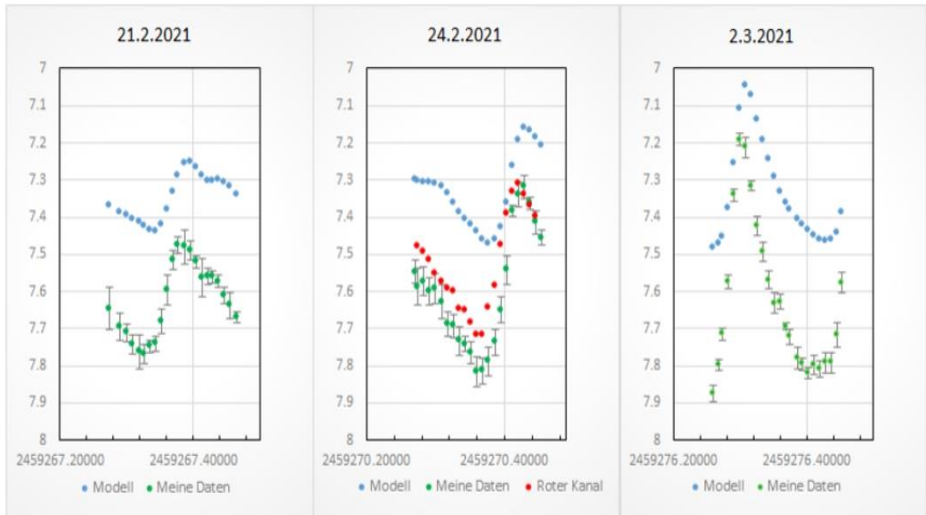


Abb. 3: Eigene Beobachtungen im Vergleich zum Modell der TESS-Fourieranalyse

Letztlich wollte ich aber meine Messungen mit TESS-Daten vergleichen, nur überlappen sich die Beobachtungszeiträume aber leider nicht. Also habe ich aus der Fourieranalyse der beiden TESS-Kampagnen vor und nach meinen Beobachtungen anhand der wichtigsten Frequenzen ein Modell in VStar gefittet. Wie man in Abbildung 1 sieht, fittet selbst so ein komplexes Modell mit insgesamt über 50 Parametern die Messkurve nicht vollständig ab; insbesondere die Dynamik, also die Amplitudenmodulation, ist ungenau. Besser sind aber die Lagen der Maxima und Minima und die wesentlichen Features wie Schulter in einigen Perioden. Abbildung 3 zeigt einige meiner Lichtkurven im Vergleich zu den Modellberechnungen.

Wie erwartet sind die Lagen der Maxima auf einige Minuten gleich, die Amplituden im Modell zu klein, aber insgesamt doch eine schöne Übereinstimmung. Der Abstand der Maxima mag mit den unterschiedlichen Integrationszeiten oder Synchronisation der Uhren liegen.

Die Amplituden haben mir aber dann doch keine Ruhe gelassen und ich habe die Aufnahmen vom 24.2.21 nochmal für den roten Kanal ausgewertet. In der Tat ist die Amplitude der Pulsation ca. 0,1 mag geringer als im grünen Kanal.

War TESS denn bei der Planetensuche erfolgreich? Scheint nicht so. Der aktuelle Stand des NASA-Kataloges (<https://exoplanets.nasa.gov/discovery/exoplanet-catalog/>) zeigt keinen Eintrag für VZ Cnc.

Danksagung

This paper includes data collected by the TESS mission. Funding for the TESS mission is provided by the NASA's Science Mission Directorate. (<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/>)

Literatur

- [1] VStar: <https://www.aavso.org/vstar>
- [2] Benn, D. 2012, "Algorithms + Observations = VStar", JAAVSO, v40, n2, pp.852-866.
- [3] J.O. Petersen, J. Christensen-Dalsgaard, Astron. Astrophys. 31, 463-474 (1996)
- [4] J.-N. Fu, S.-Y. Jiang, Astron. Astrophys. Suppl. Ser. 136, 285-292 (1999)
- [5] C. Boonyarak, P. Khokjuntod, S.-Y. Jiang, Astrophys. Space Sci (2009) 324: 5-11
- [6] K. Kolb, BAV Rundbrief 2021/2, <https://www.bav-astro.eu/rb/rb2021-2/75.pdf>
- [7] T.-Z. Yang et. al., The Astronomical Journal, 161:27, 2021
- [8] D.M. Bowman et. al., MNRAS 504, 4029-4053 (2021)