

V Canes Venatici – Polarisationsmessungen an einem besonderen Mirastern

Nicolaus Steenken

Abstract: *The linear optical polarization of the semi-regular variable V CVn was fluctuating in the past five decades between 1% and 8% (1990-99) and between 0.5 and 2 % in the following five years. In the years 2018/2019 a total of 53 measurements with a Dual-Beam-Polarimeter was showing unfiltered values between 0.7% and 2 %. Since 2019 the polarization can be measured with an error of +/-0.1%. Rapid night to night changes of the polarization and brightness were observed. The polarization angle shows long term constant values around 110 degrees. In spring 2020 the measurements will be continued to analyze the short-term correlations between changes in brightness and polarization.*

V CVn – eine Herausforderung für Astronomen

Die Helligkeit des Mirasterns V CVn (M4e-M6IIIA) pulsiert unregelmäßig in ca. 192 Tagen zwischen 6.6 mag und 8.8 mag.

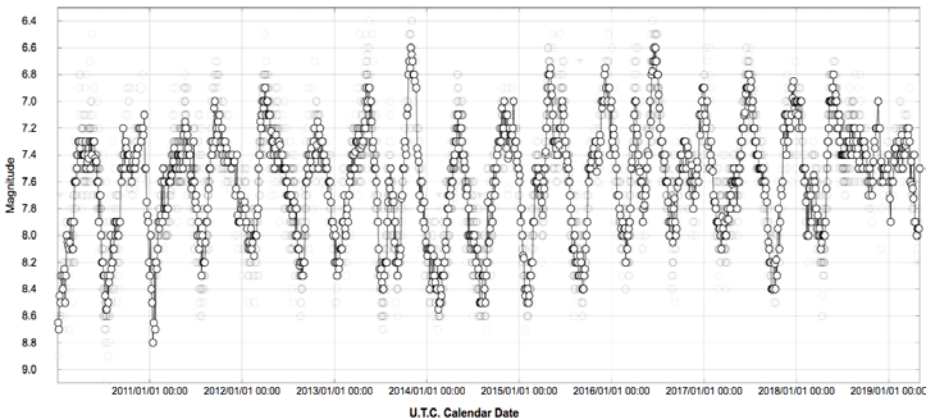


Abb. 1: V CVn im visuellen Bereich (Durchgezogene Linie = 3-Tages-Durchschnitt) im Zeitraum 1/2010 bis 5/2019, Quelle: AASVO

Die Lichtkurve zeigt unterschiedlich stark ausgeprägte Maxima und Minima, aber auch Zwischenminima und -maxima. Im Vergleich zu vielen anderen Mirasternen ist die Amplitude von 2 Größenklassen eher gering. Auch zeigen sich mehrjährige Veränderungen der Durchschnittshelligkeit.

Mirasterne haben den Hauptteil ihres Wasserstoffvorrats verbrannt und werden von mächtigen Gashüllen umgeben. Die pulsierende Helligkeit von Mirasternen wird darauf zurückgeführt, dass sich ihre umhüllenden Atmosphären regelmäßig aufblähen und wieder zusammenziehen. Die Atmosphäre ist demnach im Helligkeitsmaximum am

kleinsten und in diesem Zustand für Photonen transparent. Bläht sich die Hülle auf, so kühlt das Gas in der Hülle ab und wird für Photonen weniger durchsichtig. Die Hülle kann dann einen Durchmesser der Marsbahn um die Sonne oder mehr erreichen. Es bilden sich Staubteilchen u.a. aus Titanoxid, die wie ein Sonnenschutz wirken. Der abnehmende Gasdruck führt am Ende der Abkühlphase wieder zu einer gravitativen Kontraktion der Atmosphäre.

Bei den meisten Mirasternen kann insbesondere im Helligkeits-Minimum eine variable lineare Polarisation ihres Lichts von bis zu 2% mit variablen Polarisationswinkeln nachgewiesen werden. Die Staubteilchen in der Hülle sind an der Entstehung der Polarisation beteiligt.

Eine Besonderheit von V CVn ist die bis zu 8% hohe und stark variable Polarisation bei einem gleichzeitig relativ konstanten Polarisationswinkel.

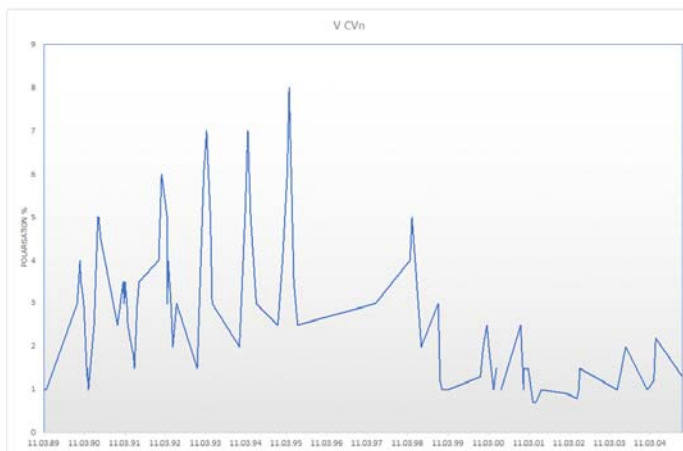


Abb. 2: Lineare Polarisation im V-Bereich, gemessen von 1989 bis 2004, Quelle: HPOL, University of Wisconsin

Über V CVn erschien 2014 in der Zeitschrift *Astronomy & Astrophysics* eine Studie, in der der Forschungsstand zusammengefasst und ein neues Modell zur Erklärung seines polarisierten Lichts vorgeschlagen wurde. Da das integrierte Licht symmetrischer Sterne selbst dann unpolarisiert ist, wenn Teile seiner Atmosphäre polarisiertes Licht aussenden, muss das Modell erklären, warum V CVn asymmetrisch ist.

Die Autoren unter Hilding Neilson diskutieren fünf mögliche Modelle:

- Starke asymmetrische **Abplattung** durch Rotation nahe der kritischen Rotationsgeschwindigkeit.

- Große und helle asymmetrische **Sternen-Flecken** mit polarisiertem Licht
- Ein bisher unentdeckter **Begleitstern**, der die Hülle asymmetrisch verzerrt
- Eine **Staubscheibe** um V CVn
- Eine **Schockfront** und ein „Miraschweif“ verursacht durch eine hohe Relativgeschwindigkeit von V CVn im interstellaren Medium

Insbesondere aufgrund der über vier Dekaden gemessenen Konstanz des Polarisationswinkels (PA) von 90–110 Grad (zu Nord), kommen die Autoren zu der Schlussfolgerung, dass nur das Modell „Schockfront mit Miraschweif“ die Polarisationsmessungen befriedigend erklären kann.

Die in der Literatur dokumentierten Polarisationsmessungen an V CVn decken den Zeitraum von Mitte der 1970er Jahre bis 2004 ab und basieren auf sporadischen Messungen, häufig im Abstand von Monaten, sehr selten im Abstand von Wochen oder gar Tagen.

Für meine Untersuchungen ergaben sich aus dem aktuellen Forschungsstand folgende Fragestellungen:

- Wie entwickelten sich Polarisationsstärke und des Polarisationswinkels in den letzten Jahren bis heute weiter?
- Welche Schwankungen zeigt Polarisierung mit einer zeitlichen Auflösung von Tagen/Wochen?
- Gibt es Regelmäßigkeiten und Korrelationen zwischen den Parametern Helligkeit, Polarisationsstärke und Polarisationswinkel?

Methodik der Polarisationsmessungen mit einem Selbstbau Dual-Beam-Polarimeter

Im BAV Rundbrief Nr. 4/2018 habe ich mein Polarimeter vorgestellt. Vier BAV-Mitglieder haben sich bei mir mit Fragen gemeldet, worauf ich ihnen eine Skizze und eine kurze Bauanleitung zugesendet habe.

Im Folgenden soll kurz der Ablauf einer Polarisationsmessung und die Berechnung der Polarisierung und des Polarisationswinkels (engl.: PA) aus den Stokes-Parametern vorgestellt werden. Die umfassendste und beste Darstellung für diejenigen, die sich näher mit Polarimetrie befassen wollen, bietet David Clarke.

Ein Dual-Beam-Polarimeter bildet einen Stern zweifach ab, indem das Licht in einen horizontalen und in einen vertikal polarisierten Strahl aufgespalten wird. Man spricht auch von dem ordentlichen und dem außerordentlichen Strahl. Der große Vorteil der Dual-Beam-Polarimetrie ist, dass atmosphärische Schwankungen während der Aufnahme oder zwischen den Aufnahmen durch die gleichzeitige Messung beider Strahlen neutralisiert werden. Man kann die Messungen auch bei weniger günstigen Himmelsbedingungen, z.B. leichten Hochwolken, durchführen. Bei einem unpolarisierten Stern sollten die Helligkeiten beider Sternbilder möglichst genau gleich

sein. In der Praxis stellte es sich als größere Herausforderung an die Justierung und Genauigkeit der Optik heraus, die ADUs beider Stern-Bilder auf wenige Prozent gleich zu bekommen. Meine Erfahrungen haben gezeigt, dass dieses eine wichtige Voraussetzung für genauere Polarisationsmessungen ist. Wichtig ist auch, dass das Signal-Rausch-Verhältnis (S/R) des zu messenden Sterns möglichst über 500, besser bei ca. 1000 liegt.

Die Helligkeiten eines Sternes werden mit der Photometriefunktion einer Astronomiesoftware in ADU ermittelt. Ich benutze AstroArt, mittlerweile die Version 6. Das Programm besitzt eine Batch-Funktion, mit der man die Helligkeiten vieler Aufnahmen sehr bequem automatisch auswerten und in ein Textfile schreiben kann. Die weitere Auswertung erfolgt dann in einer Excel-Tabelle.

Um die Stokes-Parameter q und u zu bestimmen, muss man das Verhältnis der Helligkeiten von ordentlichem zu außerordentlichem Bild des Sternes in vier verschiedenen Drehwinkeln, nämlich bei 0 / 45 / 90 und 135 Grad des Bildes messen. Insgesamt sind also 8 Helligkeiten des Sterns photometrisch zu bestimmen. Praktisch wird das erreicht, indem man eine Lambda-Halbe-Platte vor dem Wollaston-Prisma vor jeder Aufnahme um jeweils den halben Winkel (22,5 / 45 / 67,5 Grad) dreht.

Ein typischer Datensatz einer Polarisationsmessung für V CVn sieht dann so aus:

Grad	außerordentlich	ordentlich
0	447650	453160
45/22,5	441513	440069
90/45	439315	425924
135/67,5	432003	419307
Summe	1312831	1285300

Tab. 1: Beispiel für Messwerte (ADU) von V CVn. Jeder Wert ist ein Mittelwert von 20 Aufnahmen

Im nächsten Schritt werden aus den Werten in Tabelle 1 die Stokes-Parameter q und u berechnet und in einem weiteren Rechenschritt die Polarisationsstärke p und der Polarisationswinkel Θ in Grad mit den Formeln von Stokes:

$$p = \quad \Theta = 0.5 \arctan ()$$

Der errechnete Winkel Θ muss anschließend um den Winkel korrigiert werden, um den die Aufnahme gegenüber der Nord-Süd-Himmelsrichtung verdreht ist. Der Korrekturwinkel lässt sich einfach durch Vergleich der Aufnahme mit dem entsprechend gedrehten Bild der Sternkarte aus der Star-Atlas-Funktion von AstroArt ermitteln. Der sich daraus ergebene Winkel PA gibt den Positionswinkel der Polarisationsrichtung gegenüber der N-S-Himmelsrichtung.

Bei Test und Justierung des Polarimeters, aber auch während der Messreihen, sollten immer wieder Kalibriersterne mit konstanter und bekannter Polarisation gemessen werden. Mein Ziel war es, die Polarisationsstärke auf +/- 0,1% und die Polarisationsrichtung auf +/-5 Grad genau messen zu können. In Tabelle 2 sind meine Kalibrierergebnisse aus dem Februar 2019 aufgeführt, die zeigen, dass die Genauigkeit mittlerweile erreicht wurde. Meine Messreihen im Jahre 2018 hatten noch einen Messfehler von +/- 0,5%.

Stern	HD	P % (Lit.)	PA deg. (Lit.)	P %	PA deg.
Phi Cas	7927	3,34%	92,3	3,4%, 3,2%	94 / 99*
-	21447	0,04%	-	0,15%	-
2H Cam	21291	3,50%	116	3,40%	114
Eta Pers	17506	0,92%	118	0,74%	116

Tab. 2: Kalibriersterne mit in der Literatur dokumentierten konstanter Polarisation. Grau hinterlegt sind die im Rahmen der Kalibriermessungen 2019 gemessenen Werte * zwei verschiedene Nächte

Seit 2019 verwende ich als Kamera eine gekühlte ATIK 414EX mit einer deutlich höheren Empfindlichkeit, einem geringeren Rauschen und einem deutlich größeren Chip sowie Astroart6 mit Batch Photometry. Die Zahl der Aufnahmen pro Winkel konnte durch die automatisierte Auswertung von 3 im Jahr 2018 auf 20 in 2019 erhöht und die Auswertzeit einer Messreihe von 25 auf ca. 15 Minuten gesenkt werden.

Bisher verwende ich keinen visuellen Filter, da alle bisher getesteten Filter (Schott, Baader, Astronomik) eine eigene Polarisation von 0,2% bis 0,5% verursachten. Ein Test mit einem Astrodon Filter steht noch aus.

Polarisation von V CVn in den Jahren 2018/2019

V CVn kann in meiner Sternwarte aufgrund eines Hauses im Westen und eines Baumes im Norden jeweils in den Monaten April bis Juli beobachtet werden. Im Jahr 2018 habe ich Messungen an 36 klaren Nächten durchführen können. Die Polarisation lag zwischen 0,3% und 1,9%, bei einem Messfehler von +/- 0,5%.

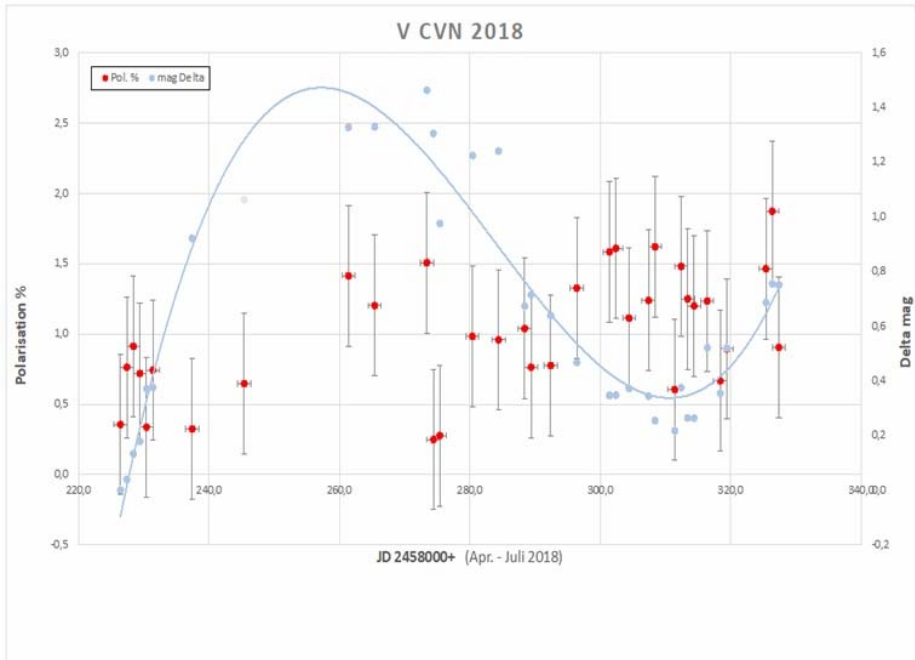


Abb. 3: Polarisation von V CVn im Jahr 2018 (dunkle Punkte). Die hellen Punkte zeigen die relative Helligkeitsentwicklung von V CVn im Vergleich zur ersten Messung der Messreihe in Magnituden (Delta mag), die Kurve deren gemittelte Trendlinie.

Die Messergebnisse aus dem Jahr 2018 zeigen, dass sich die Polarisation von V CVn im Bereich von 0,3% bis 1,9% bewegte. Der gemessene Polarisationswinkel streute um 90 Grad, allerdings mit einem noch hohen Messfehler von +/- 15 Grad.

Eine Korrelation der Polarisationsdaten mit den Helligkeitsveränderungen war nicht erkennbar. Interessant sind einige „Ausreißer“ in der Polarisationsstärke, also Werte, an denen sich die Polarisation um 0,5% innerhalb eines Tages verändert. Ich habe mir daraufhin die Originaldaten von HPOL angesehen und festgestellt, dass in den Jahren 1989 bis 2004 zweimal an zwei aufeinander folgenden Tagen gemessen wurde. In beiden Fällen veränderte sich die Polarisationsstärke im V-Bereich von einem Tag zum nächsten deutlich, einmal um +0,3% und einmal um +0,5%. Eine Erklärung für diese rapiden Schwankungen findet sich in dem Modell von Neilson nicht. Auch die Helligkeit von V CVn ändert sich häufig von Tag zu Tag um 0,1 mag oder mehr. Dieses Flackern deutet offenbar darauf hin, dass die Atmosphäre des Sterns sehr dynamisch kontrahiert und expandiert.

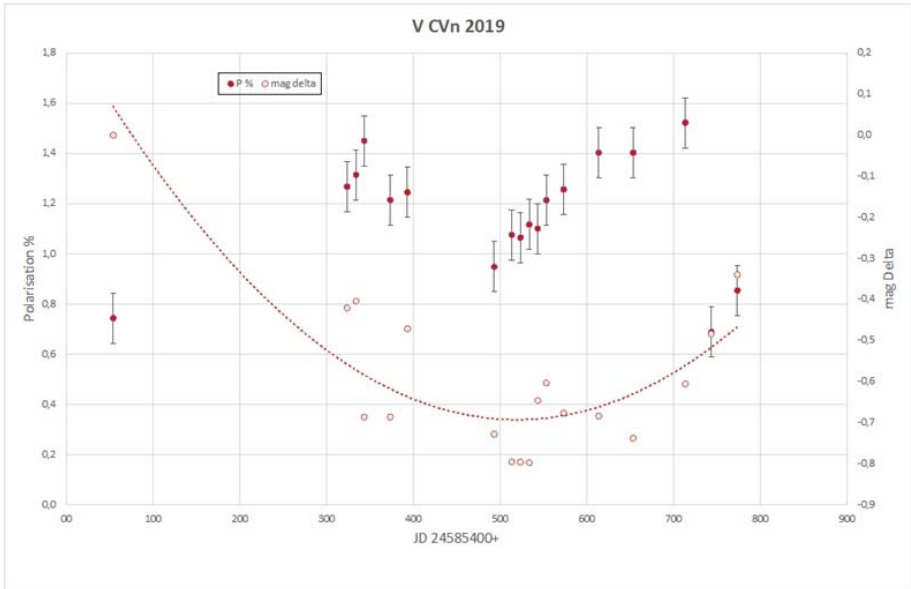


Abb. 4: Polarisation von V CVn im Jahr 2019 (dunkle Punkte). Die kleinen Kreise zeigen die relative Helligkeitsentwicklung von V CVn im Vergleich zur ersten Messung der Messreihe in Magnituden (Delta mag), die gestrichelte Kurve deren gemittelte Trendlinie.

Datum	JD 24585400+	P %	mag delta	PA deg
02.03.2019	53,8	0,74	0,0	91
29.03.2019	323,4	1,27	-0,42	101
30.03.2019	333,7	1,31	-0,40	106
01.04.2019	343,1	1,45	-0,69	102
03.04.2019	373,3	1,21	-0,69	104
05.04.2019	392,9	1,25	-0,47	104
15.05.2019	493,0	0,95	-0,73	85
17.04.2019	513,3	1,08	-0,80	109
18.04.2019	523,3	1,06	-0,80	101
19.04.2019	533,4	1,12	-0,80	110
20.04.2019	543,2	1,10	-0,65	105
21.04.2019	553,2	1,21	-0,60	104
23.04.2019	573,2	1,26	-0,68	124
27.04.2019	613,5	1,40	-0,68	108

01.05.2019	653,2	1,40	-0,74	135
07.05.2019	713,3	1,52	-0,61	99
10.05.2019	743,3	0,69	-0,48	134
13.05.2019	773,4	0,85	-0,34	104

Tab. 3: Lineare optische Polarisation (P) in % von V CVn im Jahre 2019. Mag Delta ist die Helligkeitsdifferenz zur ersten Messung der Messreihe. PA ist der Polarisationswinkel in Grad zu Nord.

Im Jahr Beobachtungszeitraum 2019 bewegte sich die Polarisation von V CVn bis Anfang Mai bei abnehmender Helligkeit tendenziell nach oben, nämlich von 0,7% am 2. März bis auf knapp 1,6% Anfang Mai. Eine solche Antikorrelation zwischen Helligkeit und Polarisation wurde bei Mirasternen und V CVn bereits nachgewiesen, meines Wissens jedoch nicht in Zeiträumen von Wochen bzw. Tagen. Am 10. März stieg die Helligkeit deutlich an und die Polarisation reduzierte sich innerhalb von nur 3 Tagen von 1,5 auf 0,7%.

Aufgrund der höheren Messgenauigkeit von +/-0,1% ist deutlich erkennbar, dass sich die Polarisationsstärke in ruhigen Phasen kontinuierlich verändert in unruhigen Phasen tägliche Sprünge von bis zu 0,5% machen kann.

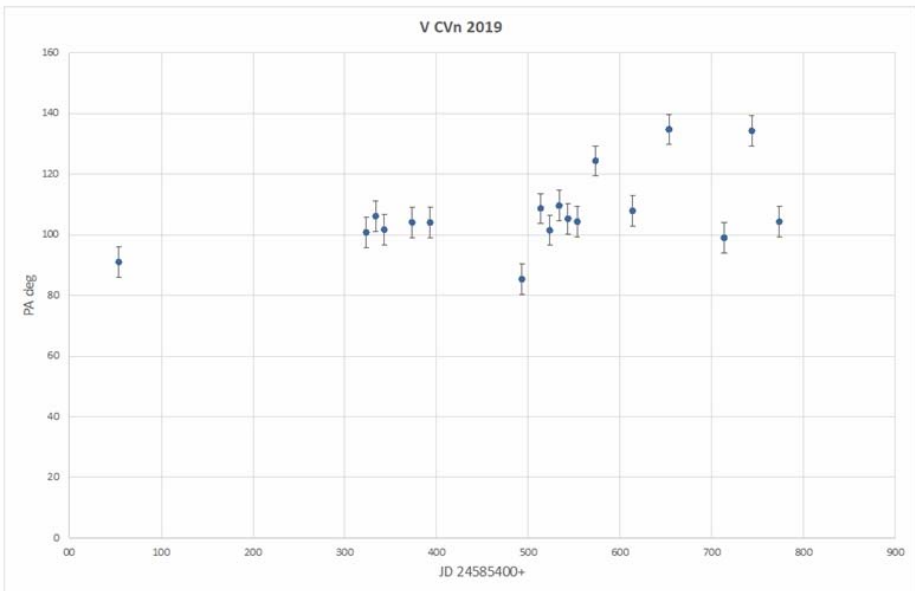


Abb. 5: Polarisationswinkel PA von V CVn in 2019

Der 2019 gemessene Polarisationswinkel streute um einen Mittelwert von ca. 110 Grad. Ob die vier Messungen mit Abweichungen von mehr als 20 Grad nach oben und

unten auf Messfehler zurückzuführen sind, oder auf tatsächliche Veränderungen, ist noch zu klären.

Im Frühjahr 2020 plane ich die Messungen an V CVn sowohl ungefiltert als auch mit einem V-Filter weiterzuführen. Ziel ist es, die Genauigkeit der Messungen zu steigern und den Zusammenhang zwischen Helligkeitsschwankungen und Veränderungen der Polarisationsstärke besser zu erforschen. Meine Hypothese ist, dass sich in unruhigen Phasen Helligkeit und Polarisation gegenläufig verhalten (antikorrelieren). Es wäre hilfreich, wenn sich ein oder mehrere Mitsreiter beteiligen würden, der/die unabhängig die Helligkeitsveränderungen dieses interessanten Sterns mit einer Genauigkeit von mindestens 0,05 mag in diesem Zeitraum möglichst häufig messen könnte(n).

Nicolaus Steenken, nicolaus@steenken.info