

Welchen Zusammenhang gibt es bei dem Bedeckungsveränderlichen AH Cep zwischen der Lichtkurve und der variablen Polarisation?

Nicolaus Steenken und John Simpson

Abstract: *We measured the polarisation of the eclipsing binary AH Cep in 29 nights from November 2019 until February 2020 with Wollaston-Polarimeters. After removing the interstellar component, we were able to analyse the intrinsic polarisation of the star system. It varies between 0.1 % and 0.9% (V) at angles between 80-100 degrees. We found higher intrinsic polarisation during eclipse phases. Polarisation is increasing with smaller wavelenghts. Rayleigh scattering of the starlight on an accretion disk would be a plausible explanation.*

AH Cep ist ein Mehrfachsystem im Sternbild Cepheus vom Typ Beta Lyrae. Es besteht aus jungen B-Sternen, von denen sich die Sterne A und B in 1,77 Tagen umkreisen. Die beiden Hauptsterne A und B sind 30.000 Grad heiÙe B0.5 Sterne mit der 15 bzw. 14-fachen Sonnenmasse und bedecken sich. Sie sind sich so nahe, dass sich ihre Atmosphären berühren und Plasma überströmt. Vermutlich hat sich um den kleineren Stern B eine Akkretionsscheibe gebildet. Im Jahr 2017 entdeckte ein Team um R. Ignace mit dem Röntgensatelliten Chandra, dass AH Cep Röntgenstrahlung emittiert. AH Cep [1] hat zudem eine variable Polarisation, deren Ursprünge offenbar noch nicht geklärt sind. In einer 2008 veröffentlichten Studie konstatiert N. Elias [2] für AH Cep zwar einen Zusammenhang der variablen Polarisation mit der Umlaufperiode, aber auch, dass die Quelle von einem Großteil der Polarisation noch unbekannt ist. Erstaunlicherweise gibt es nur wenige in der Literatur dokumentierte Polarisationsmessungen. Auch in dem sehr umfassenden Beobachtungsprogramm HPOL der University of Wisconsin war AH Cep nicht vertreten.

Da AH Cep gut in den Wintermonaten von uns aus zu beobachten ist, entschlossen wir uns, die variable Polarisation und die Lichtkurve dieses interessanten Sternsystems mit unseren Selbstbau-Polarimetern in verschiedenen Wellenlängenbereichen zu messen. Nachdem wir zunächst unabhängig voneinander ähnliche Wollaston-Polarimeter entwickelt und gebaut hatten, haben wir uns in den vergangenen zwei Jahren intensiv über unsere Erfahrungen ausgetauscht. Die Messgenauigkeit konnten wir so verbessern und wir haben unsere Beobachtungsobjekte abgestimmt.

Zur besseren Vergleichbarkeit haben wir die meisten Messungen im visuellen Bereich (V) durchgeführt. Einer von uns (Simpson) hat zusätzliche Messungen in den Bereichen U, B und R durchgeführt.

Der Aufbau und die Kalibrierung eines Wollaston-Polarimeters (Steenken) ist im BAV-Rundbrief 4/2018 beschrieben.

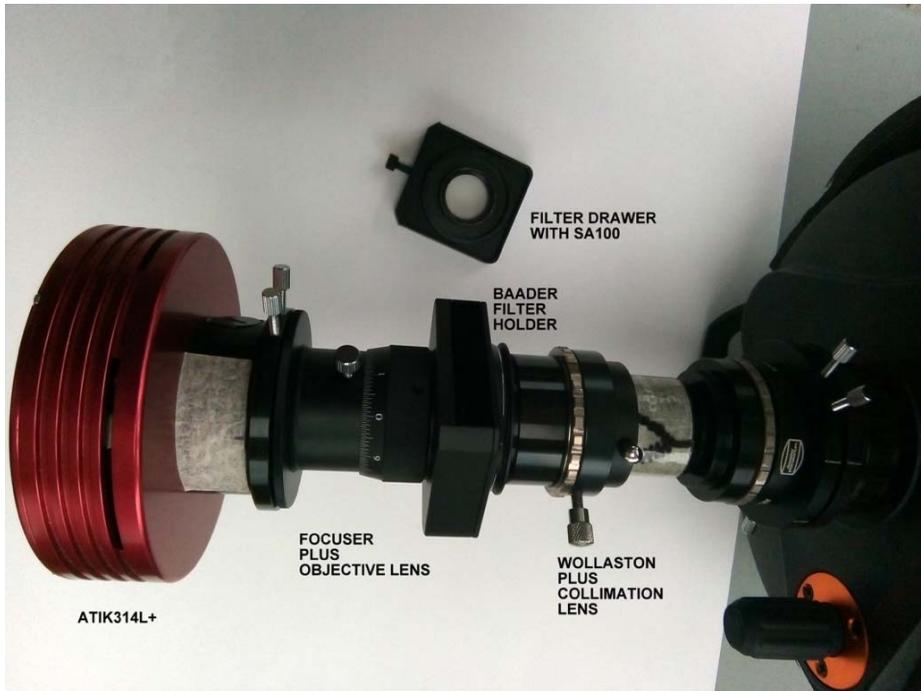


Abb. 1: Selbstbau-Polarimeter von John Simpson. Das Polarimeter verzichtet auf eine drehbare Lambda-Halbe-Platte und wird stattdessen zwischen den Aufnahmen jeweils 45 Grad gedreht

Ein Wollaston-Prisma spaltet das Licht eines Sternes in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl auf. Um für die Polarisationsmessungen eine Messgenauigkeit von ca. $\pm 0,1\%$ zu erreichen, werden für jede Messung mehrere Hundert Einzelbilder aufgenommen und auf jedem Bild beide Sternbilder photometrisch vermessen. Das Signal-/Rauschverhältnis der beiden Sternbilder auf einer Einzelaufnahme liegt typischerweise zwischen 500 und 800. Die Polarisationswerte aller Aufnahmen einer Messreihe werden in einer Excel-Tabelle ausgewertet und Mittelwerte der Stokes-Parameter sowie der Messfehler in einem 95%-Konfidenzintervall errechnet. Zur Kalibrierung der Polarimeter verwenden wir bekannte 0-Polarisationssterne, wie Beta Cassiopeiae und Sterne mit hoher konstanter Polarisation, wie Phi Cassiopeiae mit 3,4%.

Im Zeitraum November 2019 bis Anfang Februar 2020 haben wir insgesamt 29 Polarisationsmessungen im V-Bereich durchgeführt und dabei die Variabilität zwischen 1,5% und 1,9% bestätigen können. Hoch war die Veränderung beispielsweise vom 5.1.2020 an dem 1,8% gemessen wurde auf den folgenden Tag mit 1,58% Polarisation. Die Variationen auf der Zeitachse folgen keinem erkennbaren Muster.

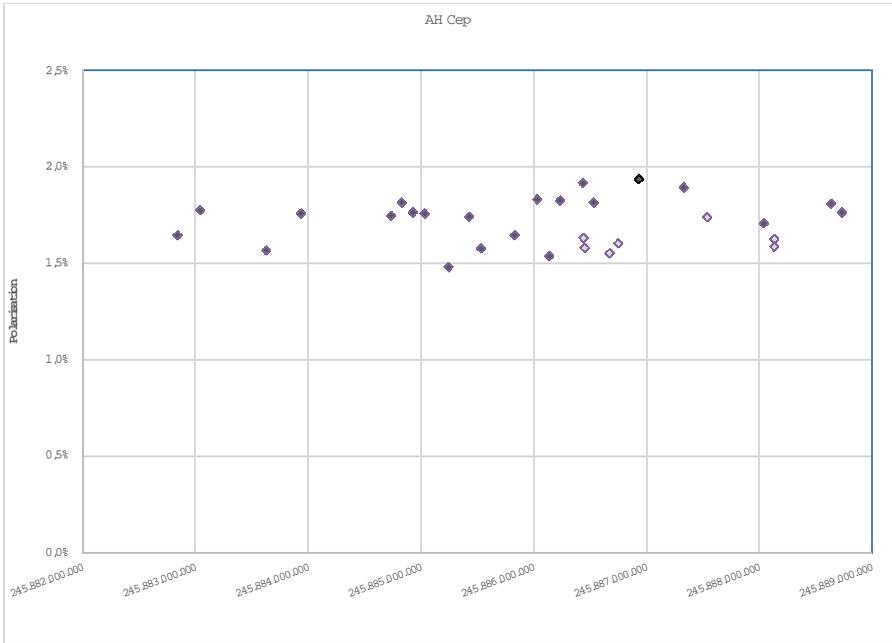


Abb. 2: Optische Polarisation (V-Bereich) von AH Cep im Zeitraum 10.12.2019 bis 07.02.2020. (Dunkle Markierung: Steenken; helle Markierung: Simpson)

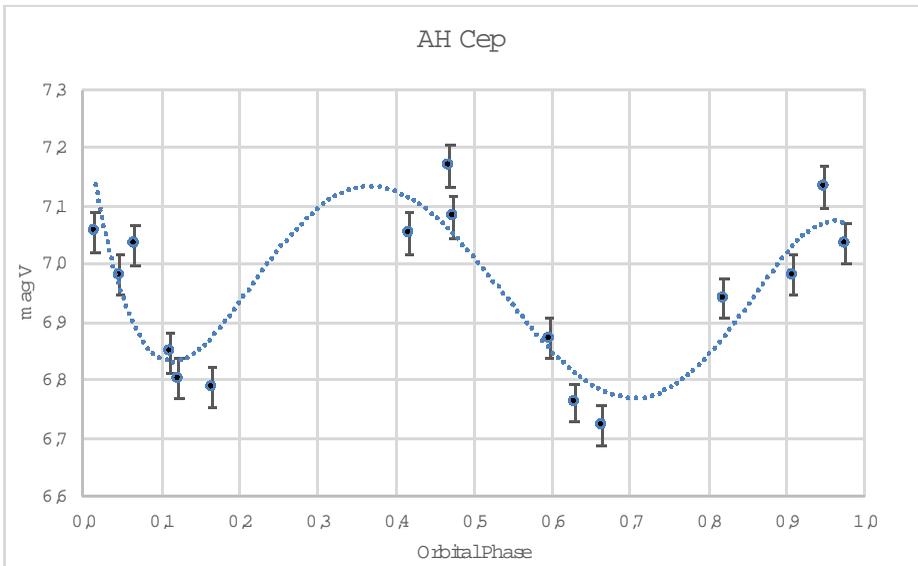


Abb. 3: Lichtkurve nach Phase

Die Helligkeit von AH Cep variiert im visuellen Bereich um etwa 0,4 mag zwischen 6,8 und 7,2 mag, je nachdem, ob sich die Sterne gerade ganz oder teilweise bedecken.

Zur Berechnung der Minima wurde von dem letzten dokumentierten Minimum in der Lichtenknecker-Datenbank ausgegangen $E(0) = 2457923.5087$ am 19.06.2017. Als Vergleichssterne wurde der nahe HD 215371 mit 6,76 mag (visuell) verwendet.

Um die Polarisation im Umlauf des Doppelsternsystems zu untersuchen, wurde die Messungen in ein Phasendiagramm umgerechnet und dargestellt.

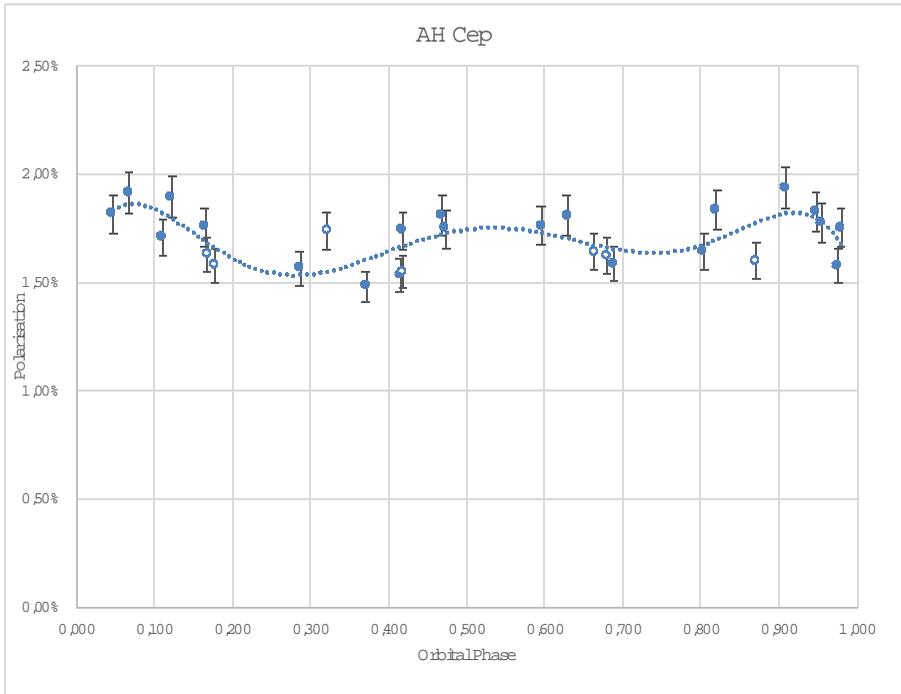


Abb. 4: Polarisation nach Phase. Die Mittelwerte (gestrichelte Linie) zeigen eine Variation der Polarisation mit der Umlaufphase. Punkte (Steenken), Kreise (Simpson)

In Abbildung 4 ist eine leichte Korrelation der Polarisation des Doppelsternsystems mit der Phase zu erkennen.

Die gemessene Polarisation eines Objektes setzt sich aus der der intrinsischen Polarisation des Objektes und der Polarisation durch interstellaren Staub in Richtung des Objektes zusammen. Die interstellare Polarisation wird im Allgemeinen als konstant angenommen. Durch Abschätzen und Entfernen des interstellaren Anteils aus den Polarisationsmessungen kann man die Natur und das Verhalten der intrinsischen Polarisation besser verstehen.

Für diese Schätzung des interstellaren Beitrags stehen zwei Methoden zur Verfügung. In der Vizier-Datenbank kann der Heiles-Katalog (2000) verwendet werden, der mehr als 9.000 Sternpolarisationsmessungen enthält. Wir haben Sterne innerhalb einer 10-Grad-Sichtlinie von AH Cep und im Bereich von 550-750 Parsec ausgewählt und einen abstandsgewichteten Durchschnitt der Polarisation verwendet. Im Ergebnis liegt die interstellare Polarisation bei AH Cep in der Größenordnung von 1,34%. Die Mittelung der Stokes-Q- und U-Komponenten auf ähnliche Weise ergab 58,1 Grad für den Polarisationswinkel.

<u>POLARISATION OF STARS WITHIN 10 deg@ 550-750pc OF AH CEP</u>						
<u>HEILES (2000) CATALOGUE IN VIZIER</u>						
<u>R[pc]</u>	<u>wt=1/dist</u>	<u>P</u>	<u>PA</u>	<u>Q</u>	<u>U</u>	<u>E(B-V)</u>
713	0,014085	0,84	28	0,47	0,70	0,6
568	0,013514	0,75	98	-0,72	-0,21	0,7
560	0,012195	1,26	70	-0,97	0,81	0,2
673	0,032258	0,75	72	-0,61	0,44	0,3
565	0,012987	0,66	87	-0,66	0,07	1
691,8	0,02008	0,98	48	-0,10	0,97	0,6
609	0,030303	1,31	77	-1,18	0,57	0,2
565	0,012987	1,34	44	0,05	1,34	0,4
717	0,013333	2,03	44	0,07	2,03	0,5
550	0,01087	1,17	59	-0,55	1,03	0,6
739	0,010309	0,74	49	-0,10	0,73	0,4
554	0,011364	0,65	55	-0,22	0,61	0,5
747	0,009524	0	0	0,00	0,00	0,6
632	0,100000	2,39	76	-2,11	1,12	0,6
605,5	0,027397	0,51	18	0,41	0,30	0,5
674	0,03125	1,688	68,5	-1,23	1,15	0,4
726	0,011905	0,98	70	-0,75	0,63	0,3
695	0,018868	0	0	0,00	0,00	0,1
631	0,090909	1,6	0,38	1,60	0,02	0,6
684	0,02381	0,7	37	0,19	0,67	0,7
<u>average R</u>	<u>wt sum</u>	<u>average P</u>	<u>PA by av QU</u>	<u>average Q</u>	<u>average U</u>	<u>average E(B-V)</u>
645,0	0,507947	1,0	58,1	-0,32	0,65	0,49
		<u>wt P</u>	<u>PA by wt QU</u>	<u>wt Q</u>	<u>wt U</u>	<u>wt E(B-V)</u>
		1,34	60,0	-0,4	0,63	0,51

Tabelle 1: Auszug aus Heiles (2000) Katalogdaten in Vizier für Sterne innerhalb von 10 Grad von AH Cep

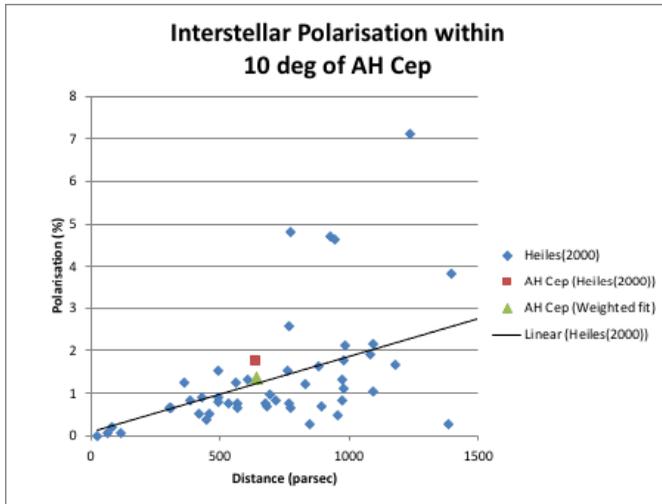


Abb. 5: Interstellare Polarisation im Umkreis von 10 Grad von AH Cep

Eine zweite Methode zur Schätzung der interstellaren Polarisation bietet das empirische Gesetz von Serkowski, das den Grad der interstellaren Polarisation mit der Wellenlänge der Polarisationsmessungen in Beziehung setzt [3].

$$p(\lambda) = p(\lambda_{\max}) * \exp[-K * \ln(\lambda_{\max} / \lambda)]$$

Spätere Verbesserungen dieses empirischen Gesetzes durch Whittet und andere zeigten, dass K eine Funktion von λ_{\max} ist, jedoch ist $K = 1,15$ für optische Wellenlängen eine gute Näherung. Unsere Messungen haben wir zu einem einzigen, gemittelten UBVR-Datensatz zusammengefasst, der mit den jeweiligen Standardfehlern gewichtet wurde. Ein Kleinste-Quadrate-Algorithmus wurde angewendet, um das Gesetz an die abgeleiteten Mehrfarbenpolarisationen anzupassen. Hieraus ergab sich eine Schätzung von $p(\lambda_{\max}) = 1,62\%$ mit einem Anpassungsfehler von $<0,1\%$ in allen Wellenlängenbereichen. Abgesehen von dem Fehlen einer damit verbundenen Schätzung des Polarisationswinkels besteht jedoch dabei das Risiko einer Überschätzung von $p(\lambda_{\max})$ durch die intrinsische Polarisation der Quelle. Aus diesem Grund haben wir uns entschieden, die Ergebnisse aus der Bewertung von Sternen im Heiles (2000)-Katalog mit $p(\lambda_{\max}) = 1,34\%$ und Polarisationswinkel $p_a = 58,1$ Grad zu verwenden und die Sensitivität etwaiger Schlussfolgerungen zu bewerten Annahmen über die Größe von $p(\lambda_{\max})$. Nach Entfernung der interstellaren Komponente wird der Grad der intrinsischen Polarisation auf $0,55\%$ ($\sigma = 0,17\%$) mit einem Mittelwert des Polarisationswinkels von $86,3$ ($\sigma = 9,9$) Grad geschätzt.

In Abbildung 6 wird die Auswirkung der beiden Werte für den Polarisationsgrad von $1,34\%$ und $1,62\%$ in der qu-Ebene visualisiert. Es zeigt sich, dass sich bei den unterschiedlichen Werten weder die Größe der intrinsischen Polarisation noch der

Bereich der Polarisationswinkel signifikant ändert. Die intrinsische Variabilität der Messungen ist also der Schlüsselfaktor, der die Polarisations Eigenschaften bestimmt.

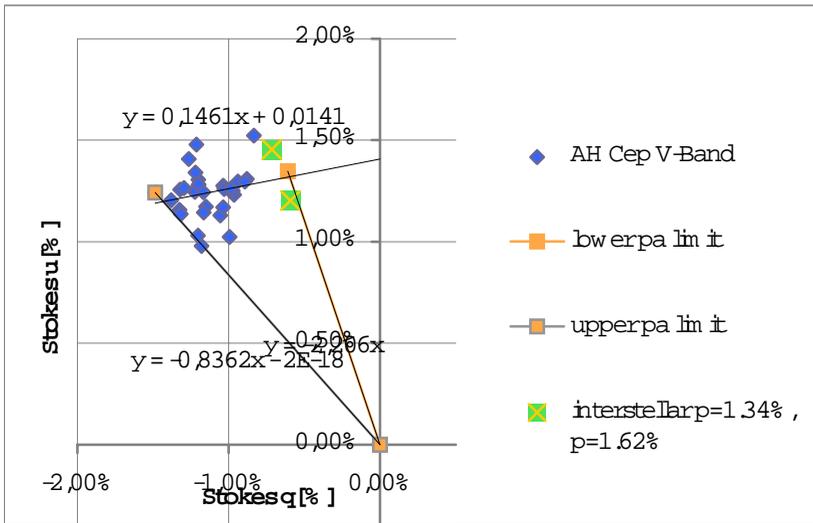


Abb. 6: Geometrische Darstellung der Polarisation von AH Cep nach Stokes

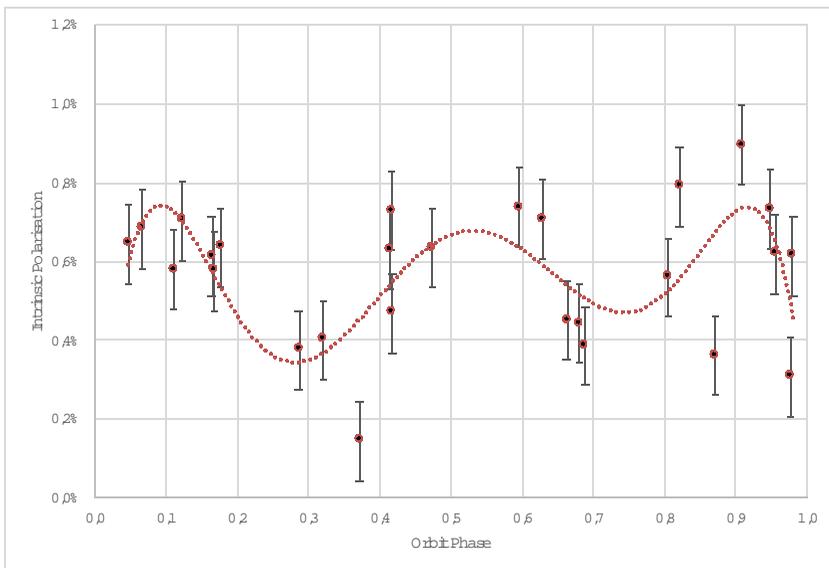


Abb. 7: Intrinsische Polarisation nach Phase. In den Phasen 0,25 und 0,75 ist die intrinsische Polarisation deutlich niedrig.

Da ein großer Teil der Polarisation interstellaren Ursprungs ist, variiert die intrinsische Polarisation mit der Phase deutlich stärker.

Der Polarisationswinkel PA (relativ zu Nord = 0) der intrinsischen Polarisation von AH Cep bewegt sich mit wenigen Ausnahmen zwischen 80 und 100 Grad.

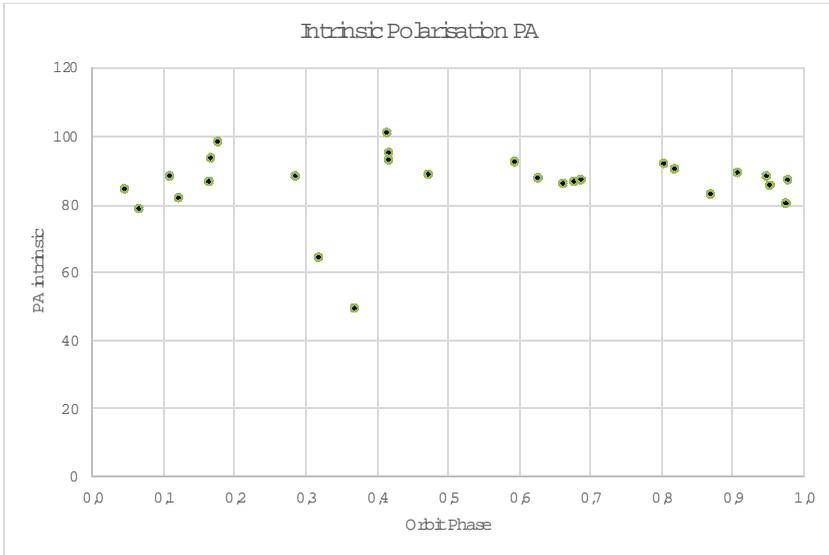


Abb. 8: Der Positionswinkel (PA) der intrinsischen Polarisation im Verlauf der Phase. Zwischen Phase 0,3 und 0,4 wurde zweimal ein deutlich veränderter PA gemessen

Durch Herausrechnen der interstellaren Polarisation kann man auch die Ursachen für die beobachtete intrinsische Polarisation näher zu untersuchen. Insbesondere das Verhalten der Polarisation in verschiedenen Wellenlängenbereichen kann bekannte Polarisationssignaturen aufdecken. Zum Beispiel wird die Thomson-Streuung durch Elektronen in einer Scheibe um entweder einen einzelnen Stern oder den Doppelstern durch ein charakteristisches Polarisations- / Wellenlängenprofil und einen von der Wellenlänge unabhängigen Polarisationswinkel nachgewiesen. Obwohl die Anzahl unserer Messungen noch begrenzt ist, wurden logarithmische Darstellungen der UBVR-Messungen als Funktion Wellenlänge in den Abb. 9 und 10 dargestellt.

Die Polarisation von AH Cep nimmt mit abnehmender Wellenlänge zu. Die Ergebnisse in den Wellenlängenbändern zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Einzelmessungen. Eine gemittelte lineare Regression über alle Polarisationsdatenpunkte ergibt eine Steigung von $m = -1,3$. Die Rayleigh-Streupolarisation zeigt eine Wellenlängenabhängigkeit, die unter perfekten Umständen proportional zu $1 / \lambda^4$ ist und zu einer Steigung von -4 führt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Polarisation bei AH Cep durch Rayleigh-Streuung und

nicht durch Thomson-Streuung verursacht wird. Dieser Befund ist noch nicht eindeutig und muss durch weitere Messungen überprüft werden.

Die Polarisationswinkel scheinen zwischen den Wellenlängenbereichen und in den verschiedenen Beobachtungsnächten signifikant zu variieren. Elektronenstreuung würde zu einem Profil führen, das im Sichtbaren keine Polarisationswinkel-Wellenlängenabhängigkeit zeigt. Auch hier sind für die eindeutige Interpretation und Bestätigung des beobachteten Verhaltens weitere Messungen notwendig.

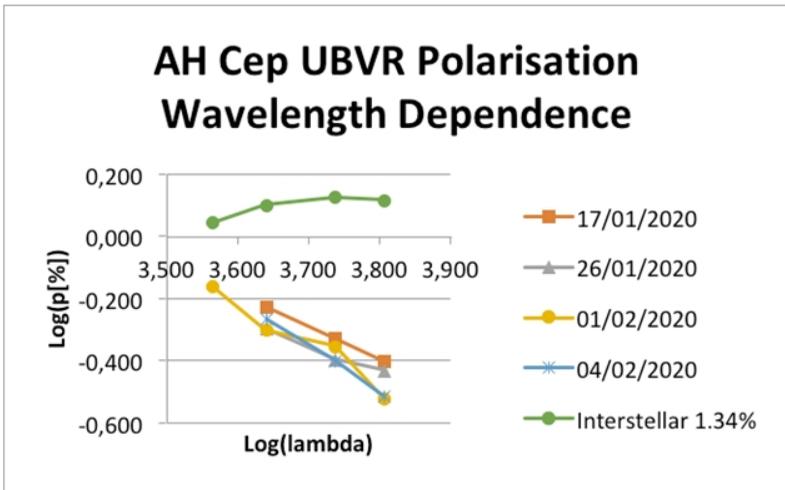


Abb. 9 Wellenlängenabhängigkeit der Polarisation in verschiedenen Nächten

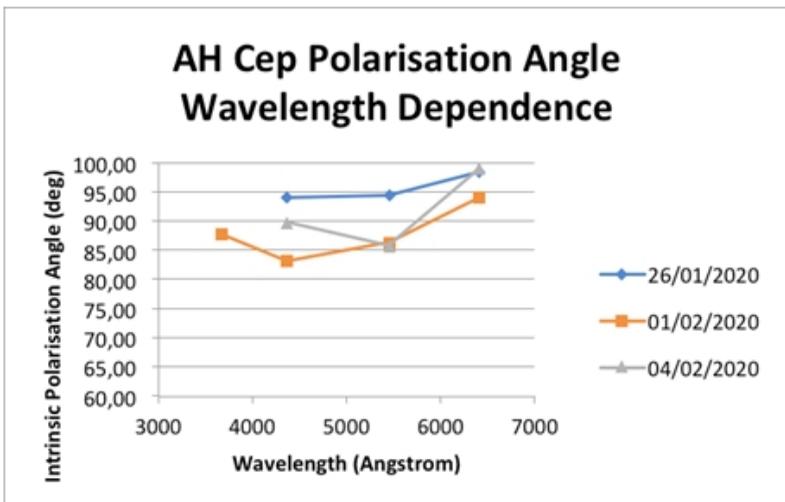


Abb. 10 Wellenlängenabhängigkeit des Polarisationswinkels

Es gibt in der Literatur verschiedene Erklärungsmodelle für die polarisierte Strahlung von Beta-Lyrae-Sternen. Jennifer Hoffmann et.al. haben 1998 eine Studie [4] über die veränderliche Polarisation des Sternes Beta Lyrae veröffentlicht, welche den Ursprung der polarisierten Strahlung einer Akkretionsscheibe erklärt. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die polarisierte Strahlung aus einer Akkretionsscheibe kommt, in der die Strahlung beider Sterne an dieser Scheibe reflektiert und polarisiert wird.

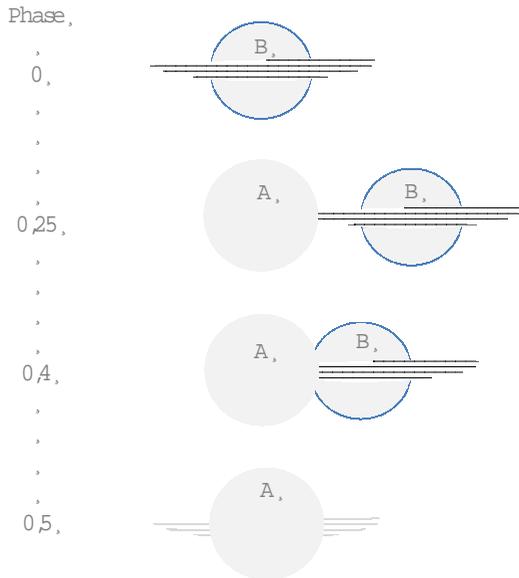


Abb. 11: Schematische Darstellung der Phasen von AH Cep analog Beta Lyrae. Um den kleineren Stern B hat sich eine Akkretionsscheibe gebildet, in der sich Plasma sammelt, das vom „Donator“ A überströmt. In der Scheibe wird das Sternenlicht reflektiert und erzeugt polarisiertes Licht.

Nach diesem Modell könnte der Verlauf der Polarisation nach Phasen folgendermaßen erklärt werden. Im primären Minimum (Phase 0) bedeckt Stern B den helleren Begleiter A. Die Akkretionsscheibe von B verursacht in dieser Phase den relativ höchsten Anteil polarisierter Strahlung des Doppelsterns. Sobald A wieder hinter B auftaucht, wird AH CEP insgesamt wieder heller und der Anteil polarisierter Strahlung verringert sich. Im Helligkeitsmaximum (Phase 0,25 und 0,75), wenn A und B nebeneinander sichtbar sind, verringert sich der Anteil polarisierter Strahlung.

Wenn die Akkretionsscheibe des kleineren Sterns B durch den größeren Stern A in Phase 0,5 bedeckt wird, ist der Anteil der polarisierten Strahlung im Minimum, aber

verschwindet nicht gänzlich, da die Scheibe auch hinter A sichtbar bleibt. Die hohe Dynamik in der Akkretionsscheibe verursacht vermutlich bei jedem Umlauf einen variablen Anteil polarisierter Strahlung.

Der Vergleich der von uns gemessenen intrinsischen Polarisation bei AH Cep mit dem Modell von Hoffmann für Beta Lyrae erklärt die Minima in den Phasen 0,25 und 0,75 recht plausibel. Die relativ hohe gemessene Polarisation um Phase 0,5 wird durch das Modell nicht vorhergesagt und wurde bei Beta Lyrae auch nicht beobachtet. Eine mögliche Erklärung könnte sein, dass die Akkretionsscheibe polarisiertes Licht asymmetrisch reflektiert, oder dass sich um beide Sterne eine Scheibe gebildet hat. Sollte der größte Anteil der polarisierten Strahlung z.B. nur von einem Rand der Akkretionsscheibe stammen, würde dieses erklären, warum auch in Phase 0,5 der Anteil der polarisierten Strahlung hoch bleibt. Beim Vergleich mit Beta Lyrae ist zu berücksichtigen, dass bei diesem Bedeckungsveränderlichen die beiden Sterne 12,9 Tagen für einen Umlauf benötigen, also mehr als die 7-fache Zeit wie bei AH Cep.

In Anbetracht der geringen Anzahl von UBVR-Messungen müssen diese Ergebnisse und etwaige Rückschlüsse mit Vorsicht behandelt werden. AH Cep hat sich als interessantes, herausforderndes und in gewisser Hinsicht mysteriöses Objekt erwiesen, das eingehender untersucht werden sollte. Wir möchten mehr über die eigentliche Natur der variablen Polarisation, den Streumechanismus und die möglichen Korrelationen des Polarisationsverhaltens in den verschiedenen Wellenlängenbereichen herausfinden.

nicolaus@steenken.info

john.jean.simpson@gmail.com

Literatur:

- [1] R. Ignace et al., An X-Ray Study of two B+B Binaries: AH CEP and CW CEP, 2017, AJ Vol. 850
- [2] N. M. Elias et al., Polarimetric measures of selected variable stars, 2008, A&A 489
- [3] Serkowski, K., Mathewson, D.L., & Ford, V.L. 1978, ApJ, 196, 261
- [4] Hoffmann et.al., Spectropolarimetric Evidence for a bipolar Flow in Beta Lyrae, The Astronomical Journal, 1998 April