

Neue α^2 CVn-Veränderliche aus der ZTF-Datenbank im Rahmen eines Studentenprojektes erforscht

Klaus Bernhard und Stefan Hümmerich

Dieser Beitrag stellt eine Zusammenfassung der Veröffentlichung „A case study of ACV variables discovered in the Zwicky Transient Facility survey“ (Faltová et al., 2021) dar, in welcher durch Datamining entdeckte α^2 CVn-Sterne und -Kandidaten untersucht und charakterisiert wurden. Das Paper ist dabei in Zusammenarbeit mit einer Studentengruppe rund um Prof. Ernst Paunzen (Masaryk Universität, Brno, Tschechien) entstanden.

Einleitung

Auf den ersten Blick erscheinen Hauptreihensterne, die etwas heißer als unsere Sonne sind und den Spektralklassen B, A und F angehören, relativ gleichartig und wenig interessant. Im Gegensatz zu sonnenähnlichen Sternen besitzen sie keine äußere Konvektionszone und zeigen daher auch nicht Phänomene wie Sonnenflecken, Protuberanzen oder Flares.

Doch bereits Ende des neunzehnten Jahrhunderts fiel der amerikanischen Astronomin Antonia Maury auf, dass manche dieser Sterne spektroskopische Besonderheiten zeigen (Maury & Pickering, 1897). So beschrieb sie z.B. für den Stern α^2 CVn eine extrem schwache Ca II K Linie und ungewöhnlich starke Si II $\lambda\lambda 4128/30$ Linien. Einige Jahre später stellten die deutschen Astronomen Paul Guthnick und Richard Prager erstmals mit einem für die damalige Zeit hochgenauen Photometer in α^2 CVn-Veränderlichkeit mit einer Periode von 5.5 Tagen und einer Amplitude von nur wenigen hundertstel Magnituden fest (Guthnick & Prager, 1914). α^2 CVn wurde im Folgenden zum Prototyp einer eigenen Veränderlichenklasse, die im General Catalog of Variable Stars (Samus et al., 2017) mit „ACV“ abgekürzt wird.

Die ersten systematischen Studien dieser pekuliären Sterne ließen jedoch noch auf sich warten und wurden von William Morgan in den Jahren 1931-33 durchgeführt (vgl. z.B. Morgan, 1933). Morgan unterschied bereits fünf Gruppen pekuliärer Sterne nach ihren auffälligsten spektroskopischen Charakteristika: die Mn II, $\lambda 4200^1$, Eu II, Cr II, und Sr II Sterne. Mittlerweile ist klar, dass etwa 10 Prozent der heißeren Hauptreihensterne in irgendeiner Weise chemisch pekuliär (CP-Sterne) sind. Viele verschiedene Klassen von CP-Sternen wurden beschrieben, wie z.B. die Metalllinien-/Am-Sterne, die Ap-Sterne (zu denen auch α^2 CVn gehört), die Quecksilber-Mangan (HgMn)-Sterne sowie die heliumstarken und heliumschwachen Sterne (z.B. Preston, 1974).

Einige Fragen zum eigentümlichen Verhalten der ACV Sterne, also der photometrisch veränderliche Ap-Sterne, konnten bereits geklärt werden: Durch die stabile Schichtung

¹ Die $\lambda 4200$ Linie wurde erst im Jahre 1962 von William Pendry Bidelman als eine hochangeregte Si II Linie identifiziert (Bidelman, 1962).

der Sternatmosphäre und einer entsprechend langsamen Rotation tritt eine starke Anreicherung von bestimmten chemischen Elementen wie Silizium, Chrom und Europium in der Atmosphäre auf. Im Vergleich zu unserer Sonne findet man Überhäufigkeiten dieser Stoffe, die bis zum hundertfachen und darüber hinaus reichen können.

Die für diese Sterngruppe typischen starken Magnetfelder sorgen für eine ungleichmäßig starke atmosphärische Verteilung der überhäufigen Elemente und es entsteht eine komplexe optische Rotationsvariabilität. Im Reich der veränderlichen Sterne einzigartig ist das Verhalten, dass der spektrale Fluss phasenabhängig durch die pekuliären Elemente umverteilt, d.h. adsorbiert bzw. reemittiert wird. Aus diesem Grund kann ein bestimmter Stern zu einer bestimmten Zeit in einem Spektralband ein Maximum zeigen, während er in einem anderen Band gerade das Minimum durchläuft. In diesem Fall existiert auch ein von der genauen chemischen Zusammensetzung abhängiger Punkt oder Bereich im Spektrum, in dem der Fluss fast unverändert bleibt, d.h. der Stern keine Veränderlichkeit zeigt (der so genannte "Null-Wellenlängen-Bereich").

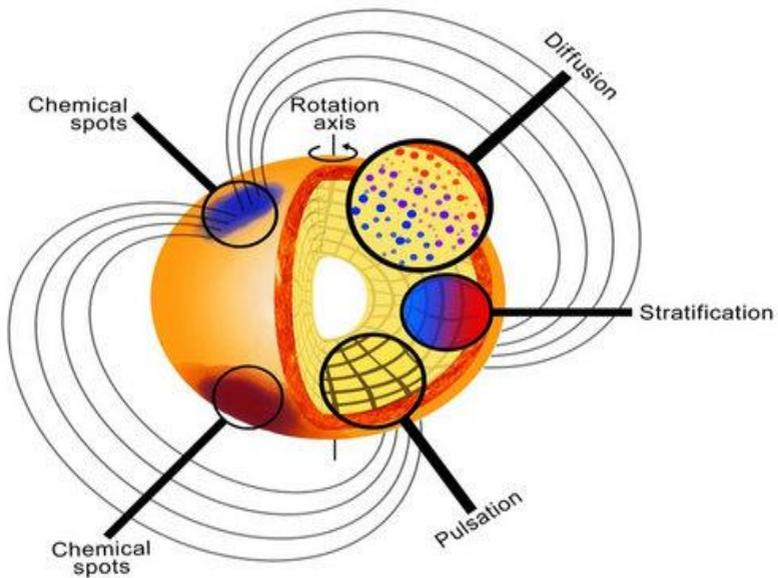


Abbildung 1: Modell eines Ap-Sterns (Credit: Victoria Antoci, DTU Space, Technical University of Denmark).

Diese Eigenschaften machen ACV-Sterne zu hochinteressanten Studienobjekten, um das Zusammenspiel von Phänomenen wie z.B. atomare Diffusion, Atmosphärensichtung und Magnetfelder zu untersuchen. Um mehr über diese außergewöhnliche Sternklasse als Ganzes sowie über einzelne spezielle Objekte mit besonderen Eigenschaften herauszufinden, sind die modernen automatisierten Himmelsüberwachungssysteme sehr hilfreich, die weite Teile des Himmels sowohl spektroskopisch als auch photometrisch bis zu tiefen Grenzgrößen untersuchen.

Datamining im Zwicky Transient Survey (ZTF)

Besonders interessant für die Erforschung von ACV-Sternen ist das „Zwicky Transient Survey“ (ZTF; Bellm et al. 2019; Masci et al. 2019), da es im Gegensatz zu den meisten Surveys gleichzeitig hochwertige Daten in mehreren Spektralbändern produziert.

ZTF überwacht seit 2017 am Palomar-Observatorium den nördlichen und Teile des südlichen Himmels bis zu einer Helligkeit von ungefähr $r = 20,6$ mag in den Bändern g (blaugrün), r (orange) und teilweise im längerwelligen i (700-900 nm). Ein Team um Xiaodian Chen analysierte die Daten des ZTF Data Release 2 und erstellte einen Katalog von 781.602 periodisch veränderlichen Sternen (The Zwicky Transient Facility Catalog of Periodic Variable Stars; Chen et al, 2020). Da der Katalog keine Kategorie für ACV-Veränderliche enthält, kann davon ausgegangen werden, dass alle derartigen Objekte anderen Kategorien von kurzperiodischen Veränderlichen zugeordnet wurden. Insbesondere die Klasse der RS-Canum-Venaticorum-(RS CVn)-Sterne ist hier interessant, da diese Objekte auf den ersten Blick ähnliche Rotationslichtkurven wie die ACV-Sterne zeigen können, die aber bei diesen Sternen durch klassische sonnenähnliche Sternflecken verursacht werden.

Da in der Gruppe der RS-CVn-Sterne insgesamt 81.393 Objekte gelistet sind – für eine visuelle Durchsicht weitaus zu viel – wurden von uns weitere, für ACV-Sterne typische Eigenschaften als Kriterien für die Vorauswahl verwendet:

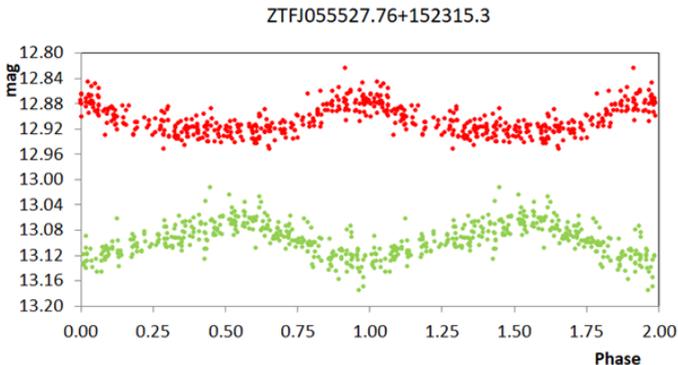
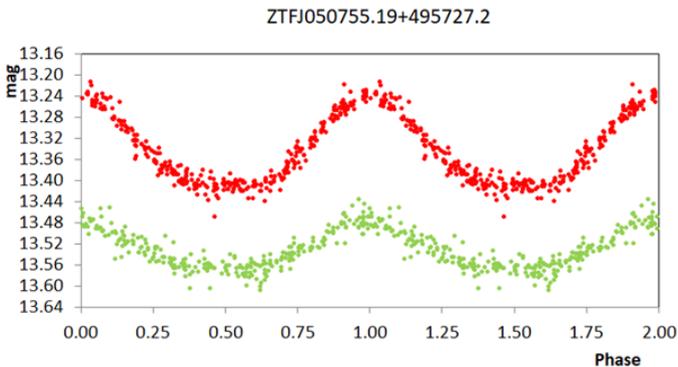
- (i) photometrische Periode zwischen einem und zehn Tagen,
- (ii) eine r -Band Amplitude kleiner als 0,3 mag,
- (iii) das Vorhandensein einer einzigen unabhängigen Frequenz und entsprechender Oberschwingungen,
- (iv) stabile oder sich nur geringfügig ändernde Lichtkurve über den gesamten erfassten Zeitraum,
- (v) eine effektive Temperatur zwischen 6.000 K und 25.000 K.

Durch diese Vorsichtung konnten 98 Prozent der Kandidaten aussortiert werden. Die verbleibenden 1.400 Lichtkurven wurden visuell durchgesehen. Dafür ist es sehr hilfreich, dass zwar nicht alle, aber zumindest viele ACV-Veränderliche außergewöhnliche und im „Zoo“ der veränderlichen Sterne praktisch einzigartige Lichtkurvenformen zeigen. Die folgenden Phänomene sind typisch für ACV-Veränderliche:

- (i) die Lichtkurven im g - und r -Band sind gegenphasig (d.h. das Maximum im g -Band fällt zusammen mit einem Minimum im r -Band),
- (ii) die Amplitude in r ist größer als in g und die Lichtkurven sind in Phase (Anmerkung: im Falle einer sinusförmigen Lichtkurve könnte auch ein Doppelstern mit „Reflection Effect“ vorliegen),
- (iii) die Lichtkurven in g und r sind nicht konsistent (d. h. sie zeigen unterschiedliche Formen),
- (iv) es tritt Algol-artige Bedeckungsveränderlichkeit mit zusätzlicher Rotationsvariabilität auf.

Ergebnisse

Mit Hilfe dieser Kriterien konnten Objekte wie Pulsationsveränderliche oder ellipsoide Veränderliche ausgeschlossen werden und wir identifizierten 86 neue vielversprechende ACV-Sternkandidaten in den ZTF-Daten. Diese wurden im Rahmen eines Studentenprojektes der Masaryk Universität (Brno, Tschechien) im Detail ausgewertet. Einige beispielhafte Lichtkurven sind in Abbildung 2 dargestellt.



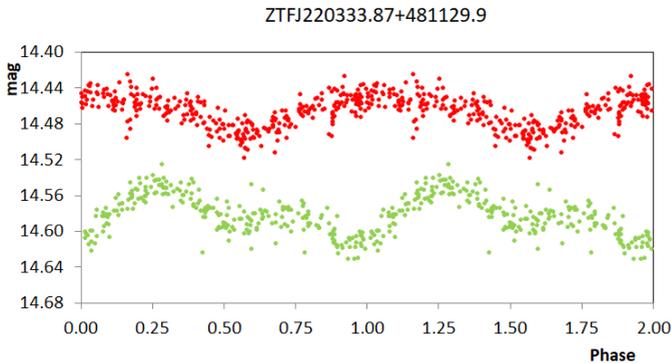


Abbildung 2: Auf die Rotationsperioden reduzierte Lichtkurven (r =rot, g =grün) der Objekte ZTFJ050755.19+495727.2 ($P = 3.62493$ d; Typ (ii): „Amplitude in r ist größer als in g und die Lichtkurven sind in Phase“); ZTFJ055527.76+152315.3 ($P = 15.387$ d; Typ (i): „Lichtkurven im g und r Band sind gegenphasig“) und ZTFJ220333.87+481129.9 ($P = 3.319$ d; Typ (iii): „Lichtkurven in g und r sind nicht konsistent“).

Für 15 Kandidaten waren Spektren aus dem Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST) Survey verfügbar (Zhao et al. 2012; Cui et al. 2012), die in allen Fällen bestätigen, dass es sich tatsächlich um klassische Ap-Sterne handelt, was die Effizienz des gewählten Ansatzes unterstreicht.

Auf der Grundlage unserer bisherigen Erfahrungen kommen wir zu dem Schluss, dass das ZTF Survey gut für die Suche nach ACV-Veränderlichen geeignet ist. Als nächstes möchten wir den verwendeten Suchalgorithmus verfeinern, um noch wesentlich mehr dieser Sterne in den ZTF-Daten und in anderen photometrischen Zeitseriendatenbanken zu entdecken.

Ziel ist die Identifikation und Detailanalyse von Spektren sowie Lichtkurven von möglichst vielen und statistisch repräsentativen ACV-Sternen, um sowohl über die Gruppe dieser Sterne insgesamt als auch über einzelne Objekte mit herausstechenden Eigenschaften zu lernen. Letzteres können etwa Objekte mit besonders kurzen oder langen Perioden, Mitglieder in Doppelsternsystemen oder mit speziellen chemischen Zusammensetzungen sein.

Referenzen:

Bellm, E. C. ; Kulkarni, S. R. ; Graham, M. J. et al. 2019, PASP, 131, 018002
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019PASP..131a8002B/abstract>

Bidelman, W. P., 1962, Astrophysical Journal, 135, 651
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1962ApJ...135..651B>

Chen, X.; Wang, S.; Deng, L. et al. 2020, ApJS, 249, 18
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020ApJS..249...18C/abstract>

Cui, X.-Q.; Zhao, Y.-H.; Chu, Y.-Q. et al. 2012, Research in Astronomy and Astrophysics, 12, 1197
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2012RAA....12.1197C/abstract>

Faltová, N.; Kallová, K.; Prišegen, M.; Staněk, P.; Supíková, J.; Xia, C.; Bernhard, K.; Hümmerich, S.; Paunzen, E., 2021, A&A, 656, A125.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2021A%26A...656A.125F>

Guthnick, P.; Prager, R., 1914, Veröff. Sternw. Berlin-Babelsberg, 1, 1.

Masci, F. J.; Laher, R. R.; Rusholme, B., et al. 2019, PASP, 131, 018003
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2019PASP..131a8003M/abstract>

Maury, A. C.; Pickering, E. C., 1897, Annals of Harvard College Observatory, 28, 1.
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1897AnHar..28....1M/>

Morgan, W. W., 1933, ApJ, 77, 330
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1933ApJ....77..330M>

Preston, G. W., 1974, Annual Rev. Astron. Astrophys., 12, 257
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1974ARA%2526A..12..257P>

Samus, N.N.; Kazarovets, E.V.; Durlevich O.V. et al.,
General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1,
Astronomy Reports, 2017, 61, 1, 80-88
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2017ARep...61...80S/abstract>

Zhao, G.; Zhao, Y.-H.; Chu, Y.-Q. et al., Research in Astronomy and Astrophysics, 12, 723
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-4527/12/7/002>

Danksagung: Die Autoren bedanken sich herzlich bei Prof. Ernst Paunzen und seinem Team für die Zusammenarbeit bei diesem Projekt.

Klaus Bernhard
A-4030 Linz
Klaus.Bernhard@liwest.at

Stefan Hümmerich
D-56338 Braubach
ernham@rz-online.de