

A 9-year Blazhko modulation period in V Equulei – the longest Blazhko period discovered yet in RR Lyrae stars

Eine 9-jährige Blazhko-Modulationsperiode bei V Equulei – die bislang längste bekannte Blazhko-Periode bei RR-Lyrae-Sternen

Edgar Wunder

Abstract: *Based on data from 2003 to 2020 a 9.34-year (=3411 days) Blazhko modulation period in V Equulei is established. The alleged 320-day Blazhko period suspected by Greer et al. (2017) is an artefact. In the most extreme phases of the Blazhko cycle the magnitude of the star varies between $V=14.40$ and 15.70 ($\Delta m = 1.30$ mag), or $V=14.95$ to 15.35 ($\Delta m = 0.40$ mag) respectively. Therefore the amplitude of the Blazhko modulation in V Equulei is 0.9 mag in V-band. This is the longest Blazhko period and the highest Blazhko amplitude yet discovered in RR Lyrae stars. Additionally three sudden changes of the fundamental pulsation period of V Equulei are detected in 2007, 2012 and 2016. Currently valid are the following elements: $HJD (Max) = 2458831.5930 + 0.5251688 * E$.*

Der bereits 1907 von Sergey Blazhko entdeckte Blazhko-Effekt, eine quasi-periodische Modulation der Lichtkurve von RR Lyrae-Sternen (Blazhko 1907), gilt nach wie vor als „one of the most stubborn problems of stellar astrophysics“ (Smolec 2016), denn alle Versuche, ihn zu erklären, blieben bis jetzt nur bruchstückhaft (Buchler & Kollath 2011). Fast die Hälfte aller RRab-Sterne zeigt den Blazhko-Effekt (Kovacs 2016). In der bislang die größte Sternpopulation im galaktischen Feld umfassenden Studie von Skarka et al. (2020) konnten nicht weniger als 3341 Sterne mit belegtem oder mutmaßlichem Blazhko-Effekt nachgewiesen werden. Der Median der bei diesen Objekten beobachteten Blazhko-Modulationsperioden liegt bei 59,6 Tagen. Bis vor kurzem galt SS Cancrini mit nur 5,3 Tagen als das Objekt mit der kürzesten Blazhko-Periode (Jurcsik et al. 2006). Nun wurde von Skarka et al. (2020) ein Stern der 17. Größenklasse im Skorpion mit einer noch geringfügig kürzeren Blazhko-Periode gefunden (4,8 Tage). Die längste bekannte Blazhko-Periode liegt nach Skarka et al. (2020) derzeit bei 2857 Tagen, was etwa 7,8 Jahren entspricht. Bei 99,2 % aller Sterne mit Blazhko-Effekt ist die Amplitude der quasi-periodischen Modulation geringer als 0,6 mag. Die größte bislang beobachtete Amplitude eines Blazhko-Effekts liegt bei 0,85 mag.

Mit diesem Artikel wird ein neuer Rekordhalter präsentiert. Es wird aufgezeigt, dass bei V Equulei eine Blazhko-Periode von 9,34 Jahren (genauer: 3411 Tage) wahrscheinlich ist und die Amplitude der Blazhko-Modulation 0,9 mag erreicht. Sollte sich dies in den nächsten Jahren weiter bestätigen, ist das ein zweifacher Rekord: die längste bekannte Blazhko-Periode und die größte bekannte Blazhko-Amplitude.

V Equulei ist ein Stern der 15. Größenklasse, dessen Veränderlichkeit bereits durch Reinmuth (1925) bei der Untersuchung von Fotoplatten aus den Jahren 1901 und 1913 entdeckt wurde. In einem unveröffentlichten Brief an die GCVS-Redaktion klassifizierte Tsesevich (1976) das Objekt erstmals als RR Lyrae-Stern mit einer Periode von etwa 0,5251 Tagen, basierend auf Fotoplatten aus den 1960er Jahren. In den darauffolgenden Jahrzehnten wurde V Equ niemals gezielt weiter beobachtet, bis zu einer

Nacht im August 2013, als ich aufgrund einer Reihenbeobachtung mit meiner CCD-Kamera und V-Filter ein – bis jetzt noch unveröffentlichtes – Maximum ermitteln konnte (HJD 2456506.476). Meine anschließenden Versuche, durch die sekundäranalytische Auswertung von NSVS-, ASAS-, Catalina- und schließlich ASAS-SN-Daten zu weiteren Einsichten zu gelangen, ergaben zunächst ein verwirrendes Bild. Offenbar war weder die Periode konstant noch die Lichtkurve stabil, so dass ich den Fall erst einmal zurückstellte. Heute greife ich ihn mit den nachfolgenden Auswertungen wieder auf.

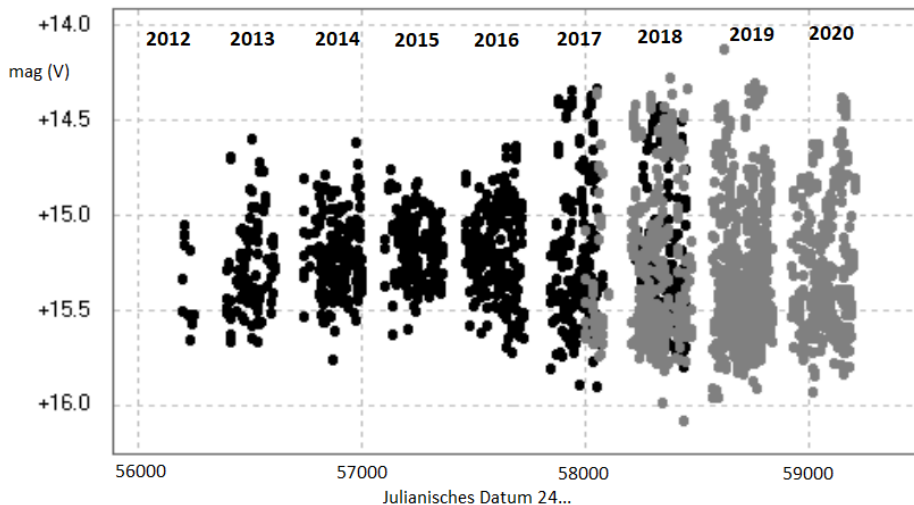


Abbildung 1: V-Helligkeiten (schwarz) und adjustierte g-Helligkeiten (grau; um 0,15 mag versetzt, um Vergleichbarkeit mit den V-Helligkeiten herzustellen) von V Equ mit ASAS-SN-Daten.

Abbildung 1 zeigt zu V Equ alle verwertbaren 2287 Helligkeitsmessungen des ASAS-SN (Kochenek 2017) in den Jahren 2012 bis 2020. Im Zeitraum von 2012 bis Dezember 2018 erfolgten sie im V-Band, von September 2017 bis 2020 im g-Band. Für die Übergangszeit von September 2017 bis Dezember 2018 liegen zahlreiche parallele Messungen sowohl im V- wie im g-Band vor. Innerhalb dieser 16 Monate war die Amplitude im V- und g-Band identisch, der Stern im g-Band allerdings durchweg ca. 0,15 mag lichtschwächer als im V-Band. Deshalb wurden die g-Band-Daten um 0,15 mag adjustiert, um in Abbildung 1 durchgehend vergleichbare Helligkeiten darzustellen, also einerseits die tatsächlichen V-Helligkeiten (schwarz), andererseits die geschätzten V-Helligkeiten aufgrund der g-Band-Daten (grau).

Der in Abbildung 1 erkennbare Befund ist: Die Amplitude der Helligkeitsschwankungen des Sterns ist von Kalenderjahr zu Kalenderjahr stark unterschiedlich. Im Zeitraum der Erfassung durch den ASAS-SN war sie im Jahr 2015 am geringsten, in den Jahren 2017 bis 2019 am größten. Ähnliche Grafiken sind von anderen RR Lyrae-Sternen mit Blazhko-Effekt gut bekannt (vgl. Skarka 2016), allerdings mit dem Unterschied, dass

sich bei fast allen anderen Sternen derartige Phänomene auf der Zeitskala von Wochen oder Monaten abbilden, und nicht wie bei V Equ auf der Zeitskala von Jahren.

Um den Untersuchungszeitraum weiter auszuweiten, wurden nachfolgend auch noch Daten des Catalina Sky Survey (Drake et al. 2009) aus den Jahren 2005 bis 2013, des ASAS (Pojmanski et al. 2005) aus den Jahren 2003 bis 2008 sowie eigene CCD-Beobachtungen aus dem August 2013 herangezogen, alle jeweils im V-Band. Der erste Versuch, nun Phasendiagramme für die Lichtkurven in einzelnen Zeitabschnitten zu erstellen, zeigte rasch, dass offensichtlich auch noch Änderungen der Pulsationsperiode des Sterns überlagert sind. Im Untersuchungszeitraum 2003 bis 2020 kann der Lichtwechsel durch das folgende System von Elementen dargestellt werden:

$$\begin{aligned} & \text{HJD } 2452800 - 2454200 \\ & \text{HJD (Max)} = 2452872.678 + 0.525038 * E \quad (\text{I}) \\ & \qquad \qquad \qquad \pm 11 \qquad \qquad \qquad \pm 13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{HJD } 2454200 - 2456150 \\ & \text{HJD (Max)} = 2454744.5958 + 0.5251789 * E \quad (\text{II}) \\ & \qquad \qquad \qquad \pm 57 \qquad \qquad \qquad \pm 47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{HJD } 2456150 - 2457400 \\ & \text{HJD (Max)} = 2456506.4662 + 0.5249781 * E \quad (\text{III}) \\ & \qquad \qquad \qquad \pm 61 \qquad \qquad \qquad \pm 68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{HJD } 2457400 - \\ & \text{HJD (Max)} = 2458831.5930 + 0.5251688 * E \quad (\text{IV}) \\ & \qquad \qquad \qquad \pm 25 \qquad \qquad \qquad \pm 22 \end{aligned}$$

Die Berechnung dieser vier instantanen Elemente geht auf die Auswahl aller „hellen“ Messwerte ($V < 15.15$) aus den genannten Datensätzen zurück, die dann mittels der Methode der kleinsten Quadrate weiterverarbeitet wurden. Diese „hellen“ Messwerte sind auch im O-C-Diagramm in Abbildung 2 dargestellt. Es sind drei Periodensprünge in den Jahren 2007, 2012 und 2016 erkennbar.

Veränderungen der Pulsationsperiode vor dem Jahr 2003 sind nicht mehr ermittelbar. Von mir auch untersuchte NSVS-Messungen (Wozniak et al. 2004) aus dem Jahr 1999 erfassen V Equ zwar, aber an der Nachweisgrenze, so dass diese Daten zu ungenau sind, um weitere Aufschlüsse liefern können; im Übrigen wäre ihre korrekte Epochenzuordnung unklar. Letzteres gilt erst recht für das von Tsevevich (1976) mitgeteilte Normalmaximum (HJD 2437198.385) aus den 1960er Jahren sowie die von Reinmuth (1925) vermerkten beiden Plattenaufhellungen aus den Jahren 1901 bzw. 1913 (HJD 2415672.4 und 2419979.6). Weitere Beobachtungen dieses lichtschwachen Sterns vor 2003 sind nicht verfügbar.

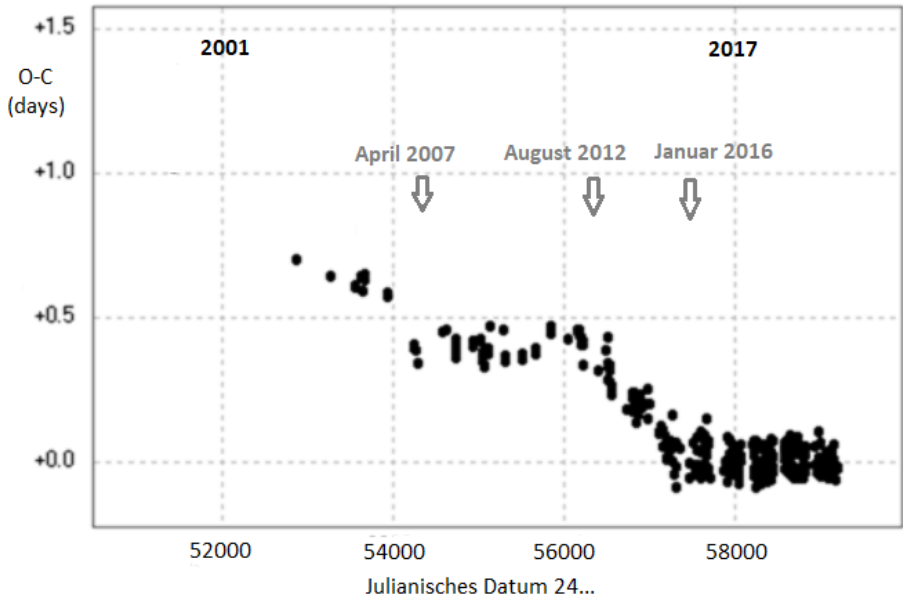


Abbildung 2: O-C-Diagramm zu V Equ mit Daten des ASAS, Catalina Sky Survey, ASAS-SN und eigenen CCD-Beobachtungen, berechnet für die Elemente (IV).

Im nächsten Schritt wurde die Lichtkurve von V Equ für jedes Kalenderjahr gesondert, mit der jeweils gültigen Periode, in Form von Phasendiagrammen rekonstruiert, die in den Abbildungen 3 bis 10 dargestellt sind. Es zeigen sich ganz erhebliche Veränderungen der Lichtkurve, die zum Beispiel im Kalenderjahr 2015 der eines RRc-Sterns entsprach (Abbildung 5), im Kalenderjahr 2018 hingegen der eines RRab-Sterns mit einem sehr raschen Anstieg vom Minimum zum Maximum. Auch die Veränderungen der Amplitude sind in den Abbildungen 3 bis 10 klar erkennbar.

Die Frage, ob sich innerhalb eines Kalenderjahres Veränderungen der Lichtkurve feststellen lassen, wurde ebenfalls untersucht. Dazu wurde für jedes Quartal eines Kalenderjahres eine gesonderte Lichtkurve erstellt. Innerhalb eines Quartals ist im Rahmen der Messgenauigkeit eine absolute Gleichförmigkeit der Lichtkurve festzustellen. Zwischen verschiedenen Quartalen eines Kalenderjahres treten teilweise Veränderungen auf, die aber vergleichsweise geringfügig sind. Insgesamt ergibt sich das Bild, dass sich die Lichtkurve von V Equ nur sehr langsam verändert, innerhalb eines Kalenderjahres nur geringfügig, im Laufe mehrerer Jahre aber recht dramatisch.

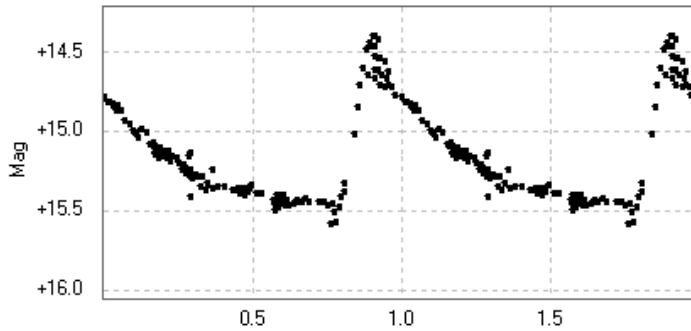


Abbildung 3: Lichtkurve von V Equ in den Kalenderjahren 2008-2011.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: Catalina Sky Survey)

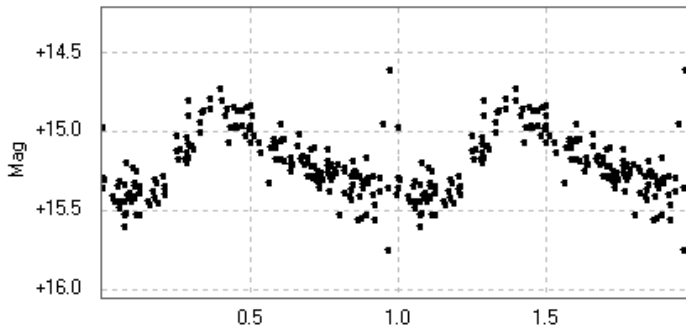


Abbildung 4: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2014.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

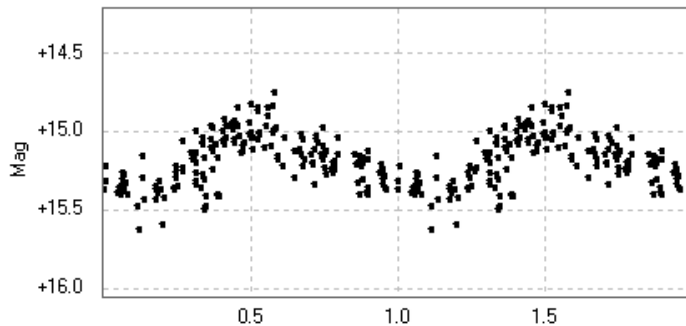


Abbildung 5: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2015.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

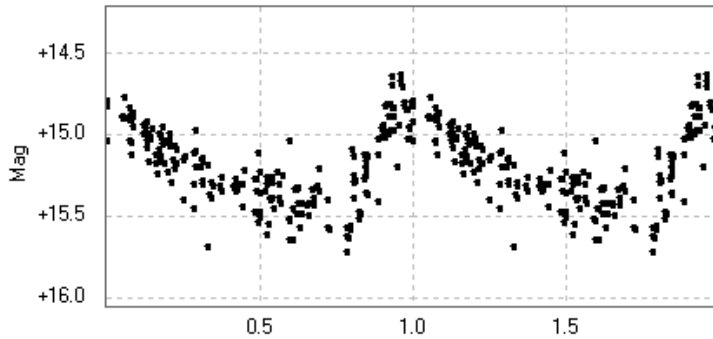


Abbildung 6: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2016.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

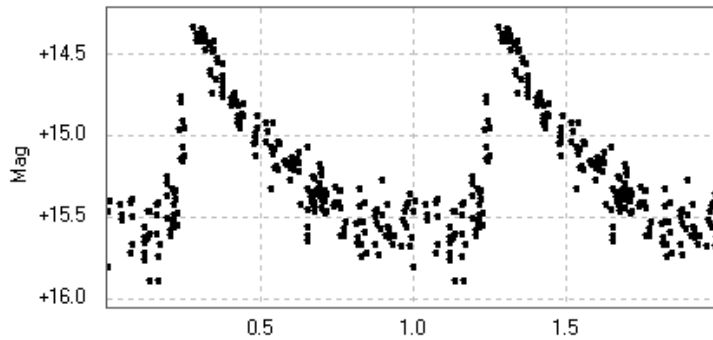


Abbildung 7: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2017.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

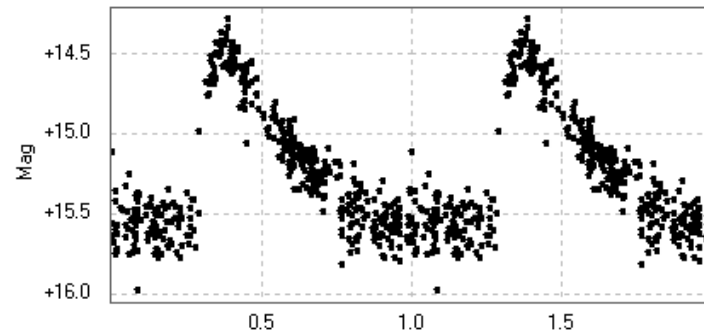


Abbildung 8: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2018.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

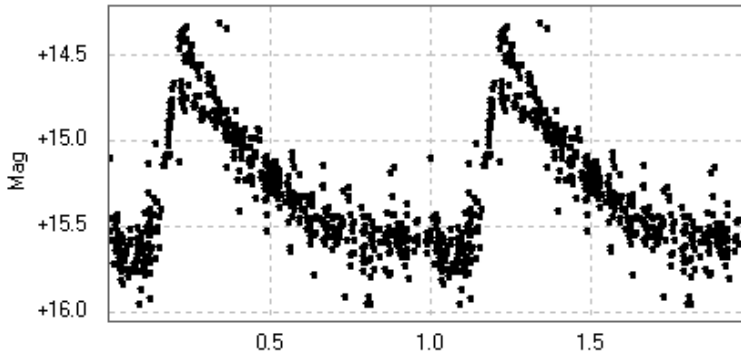


Abbildung 9: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2019.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

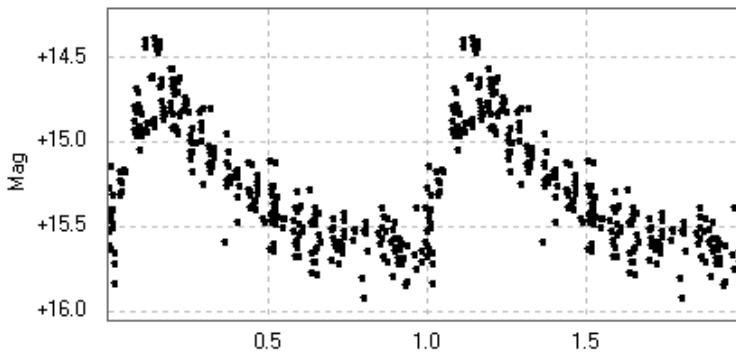


Abbildung 10: Lichtkurve von V Equ im Kalenderjahr 2020.
(Phasendiagramm mit V-Helligkeiten, Daten: ASAS-SN)

Für jedes Quartal wurde dann durch eine genaue Inspektion der jeweiligen Lichtkurve deren Amplitude (Δm) und Asymmetrie ($M-m$) ermittelt. Die Entwicklung von Δm und $M-m$ im Zeitverlauf zeigen die Abbildungen 11 und 12. Die Amplitude von V Equ schwankt demnach zwischen 0.4 mag und 1.3 mag, was einer durch den Blazhko-Effekt verursachten Differenz von 0.9 mag entspricht. Die Asymmetrie der Lichtkurve schwankt zwischen einem $M-m$ von 0.11 und 0.33. Ein Vergleich der Abbildungen 11 und 12 ergibt, dass Δm und $M-m$ stark miteinander korrelieren: Je größer die Amplitude, umso größer die Asymmetrie der Lichtkurve.

Ein vergleichender Blick auf das O-C-Diagramm (Abbildung 2) zeigt weiterhin, dass die beiden plötzlichen Verlängerungen der Pulsationsperiode Anfang 2007 bzw. Anfang 2016 beide unmittelbar nach einer Phase minimaler Amplitude bzw. minimaler Asymmetrie erfolgten. Das kann Zufall sein, verdient aber eine Erwähnung.



Abbildung 11: Veränderung der Amplitude von V Equ im V-Band im Zeitraum 2005 bis 2020.

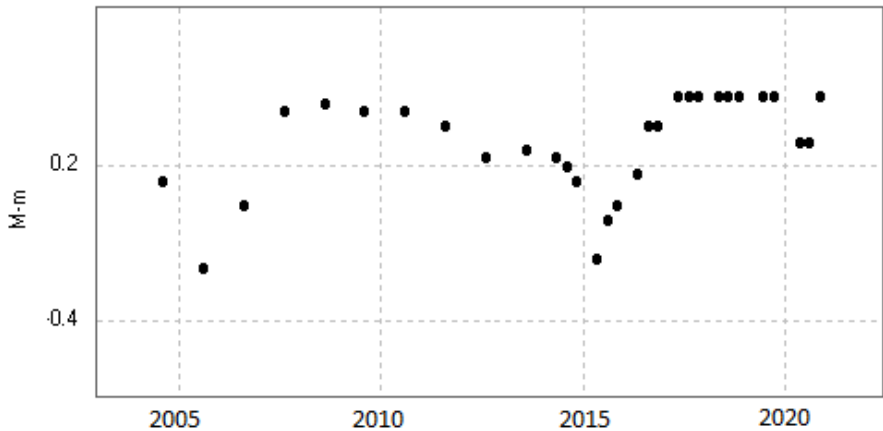


Abbildung 12: Veränderung der Asymmetrie der Lichtkurve von V Equ im V-Band im Zeitraum 2005 bis 2020, operationalisiert durch M-m, also den zeitlichen Anteil des Aufstiegs vom Helligkeitsminimum zum – maximum an der Gesamtlichtkurve.

Ein eventueller Blazhko-Effekt bei V Equ wurde erstmals von Greer et al. (2017) diagnostiziert, aufgrund einer automatisierten Analyse tausender Sterne mit SuperWASP-Daten. Der Algorithmus von Greer et al. (2017) ergab eine vermutete Blazhko-Periode von 320,5-Tagen. Dieser Befund ist ein Artefakt, bedingt durch das vergleichsweise kurze Beobachtungsfenster und die vergleichsweise schlechte Datenqualität für diesen Stern bei SuperWASP. Eine Blazhko-Periode mit 320 Tagen oder in einer ähnlichen Größenordnung existiert bei V Equ nicht, dies zeigen meine Analysen mit einem wesentlich umfangreicheren Datenmaterial ohne jeden Zweifel. Stattdessen deuten die Abbildungen 11 und 12 auf eine etwa um den Faktor 10 längere Blazhko-Periode hin. Eine Fourier-Analyse nach der Methode von Deeming (1975) ergibt für die Veränderungen der Amplitude eine Blazhko-Periode von 3411 Tagen, was 9,34 Jahren entspricht. Auch eine Fourier-Analyse der Werte für die Asymmetrie der Lichtkurve (M-m) mit der gleichen Methode führt zu einem ähnlichen Ergebnis, jedoch dürften die Amplituden als Ausgangswerte verlässlicher sein, da sie in der Regel präziser aus den Lichtkurven ablesbar sind als M-m-Werte. Alle Berechnungen und Darstellungen wurden mit der Software Peranso 2.60 durchgeführt (Pauzen & Vanmunster 2016).

Ist die Interpretation der beobachteten Erscheinungen als quasi-periodischer Blazhko-Effekt korrekt, so ist in den kommenden Jahren erneut mit einer kontinuierlichen Abnahme der Amplitude von V Equ zu rechnen (die sich in den Daten des Jahres 2020 bereits andeutet) und mit einem neuen Minimalwert der Amplitude im Jahr 2024.

Jede physikalische Erklärung des Blazhko-Effekts wird sich u.a. daran zu bewähren haben, ob sie in der Lage ist, die Untergrenze bzw. Obergrenze der beobachteten Perioden des Blazhko-Phänomens korrekt zu modellieren. Deshalb ist es möglicherweise auch von theoretischer Relevanz für ein Verständnis des Blazhko-Effekts, dass die Obergrenze für quasi-periodische Modulationen der Lichtkurven von RR Lyrae-Sternen nun mit dem Fall von V Equulei auf 9,34 Jahre vorgeschoben ist.

Literatur

- Blazhko, S. (1907): Mitteilung über veränderliche Sterne. *Astronomische Nachrichten* 175, 325.
- Buchler, J.R., Kollath, Z. (2011): On the Blazhko Effect in RR Lyrae Stars. *Astrophysical Journal* 731, 24.
- Deeming, T.J. (1975): Fourier analysis with unequally-spaced data. *Astrophysics and Space Science* 36, 137.
- Drake, A. J. et al. (2009): First Results from the Catalina Real-time Transient Survey. *Astrophysical Journal* 696, 870.
- Greer, P.A. et al. (2017): The SuperWASP catalogue of 4963 RR Lyr stars: identification of 983 Blazhko effect candidates. *Astronomy & Astrophysics* 607, A11.

- Jurcsik, J. et al. (2006): The shortest modulation period Blazhko RR Lyrae star: SS Cnc. *Astronomical Journal* 132, 61.
- Kochanek, C.S. (2017): The All-Sky-Automated Survey for Supernovae (ASAS-SN) Light Curve Server 1.0. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific* 129, 104502.
- Kovacs, G. (2016): *Communications of the Konkoly Observatory Hungary*, 105, 61.
- Paunzen, E., Vanmunster, T. (2016): Peranso – Light Curve and Period Analysis Software. *Astronomische Nachrichten* 337, 239.
- Pojmanski, G. et al. (2005): The All Sky Automated Survey. Catalog of Variable Stars. Declinations 0o -28o of the Northern Hemisphere. *Acta Astronomica* 55, 275.
- Reinmuth, K. (1925): 23 neue Veränderliche. *Astronomische Nachrichten* 226, 193.
- Skarka, M. et al. (2016): The SERMON projekt: 48 new field Blazhko stars and an investigation of modulation-period distribution. *Astronomy & Astrophysics* 592, A144.
- Skarka, M. et al. (2020): Blazhko effect in the Galactic bulge fundamental mode RR Lyrae Stars II: Modulation shapes, amplitudes and periods. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 494, 1237.
- Smolec, R. (2016): The Blazhko Effect. *Proceedings of the Polish Astronomical Society* 3, 22.
- Tsesevich, V.P. (1976): Unpublished letter to the GCVS editors.
- Wozniak, P R. et al. (2004). Northern Sky Variability Survey (NSVS): Public data release. *Astronomical Journal* 127, 2436.

Kontakt:

Dr. Edgar Wunder, Felix-Wankel-Str. 7, 68535 Edingen-Neckarhausen, Germany
E-Mail: edgar.wunder@urz.uni-heidelberg.de