Entdeckung eines Veränderlichen Sterns,
dessen Klassifizierung als DQ-Herculis-Typ
sowie die Periodenbestimmung anhand von Lichtkurven

Erwin Schwab und Paul Breitenstein

Zur Teilnahme am Wettbewerb des Soemmerring–Astronomiepreises

des Physikalischen Vereins, Frankfurt am Main

Eingereicht am 12.01.2020 von

Erwin Schwab, Westendstraße 8, 63329 Egelsbach, e.schwab@gsi.de

Paul Breitenstein, Dorotheenstraße 17, 48145 Münster, p-breitenstein@online.de

Beim Versuch den Kometen P/2012 K3 (Gibbs) im Sternbild Schütze wiederzuentdecken, hatte der Erstautor einen raschen Helligkeitsabfall des Sterns USNO-B1.0 0735-0599207 bzw Gaia DR2 4102856333775127296 (Ra 18h32m21.56s, Dec -16°27'24.2") festgestellt. Die Entdeckung wurde an den International Variable Star Index (VSX) der American Association of Variable Star Observers (AAVSO) übermittelt. Während der Überprüfung durch den Moderator des VSX wurde festgestellt, dass der Veränderliche Stern zuvor durch den PanStarrs1-3π-survey mittels der „Machine-learned Identification" als RR-Lyrae Stern mit einer Periode von 0,512 Tagen detektiert wurde.[1] Die Daten des PanStarrs1-3π-surveys haben jedoch aufgrund der automatischen Identifikation ein Risiko der fehlerhaften Klassifizierung oder Periodenbestimmung. Im vorliegenden Artikel wurde der Veränderliche als DQ-Herculis-Typ klassifiziert und eine Bedeckungsperiode von 0,36950 Tagen ermittelt, was sich nicht vereinbaren lässt mit der Veröffentlichung des PanStarrs1-3π-surveys von Sesar B. et al. (2017).[2] Am 05.09.2019 wurde die Entdeckung anerkannt, der Veränderliche bekam den AAVSO Unique Identifier (AUID) 000-BNG-512. Die hier gezeigten detaillierten Ergebnisse haben letztendlich dazu geführt, dass in der Datenbank des VSX unsere Resultate, nicht die der Berufsastronomen, verwendet wurden. Der PanStarrs1-3π-survey wurde lediglich zweitrangig als Entdecker eingetragen.[3]

Es konnte nicht nur die Bedeckungsperiode, sondern auch die Dauer der Bedeckung bestimmt werden. Diese betrug zwischen 30 und 36 Minuten. Zudem wurde eine mindestens drei Tage andauerte Langzeitverfinsterung beobachtet. Vermutlich wurde das Sternensystem durch außergewöhnliche Vorgänge in der Staubscheibe für diesen periodenübergreifenden Zeitraum abgedunkelt. Neben der Bedeckungsperiode konnte eine sinusähnliche sekundäre Periode, vermutlich die Rotationsperiode (Spinperiode) des Weißen Zwergsterns, von 0,045445 Tagen bestimmt werden, welche eine ungewöhnlich hohe Amplitude von ca. 0,5 Magnituden aufweist. Weiterhin zeigt die Rotationsperiode eine Feinstruktur, die durch Veränderungen im Gebiet der Strahlungsemission verursacht sein könnte. Das Verhältnis von Rotationsperiode zu Bedeckungsperiode beträgt 0,12. Dieser Wert liegt im typischen Bereich eines Intermediären Polaren Kataklysmischen Veränderlichen, die auch als DQ-Herculis-Klasse bezeichnet wird.

---

[1] VizieR-Datenbankeintrag als „RR Lyrae Star from the PS1 3π survey

[2] Sesar B. et al. (2017), Machine-learned Identification of RR Lyrae Stars from Sparse, Multi-band Data: The PS1 Sample. ApJ **153** 5

[3] Eintrag der Entdeckung in der Datenbank des Variable Star Index (VSX)

Inhaltsverzeichnis

Die Entdeckung	3
Die Beobachtungsdaten	4
Bestimmung der Langzeitperiode	5
Beobachtung einer periodenübergreifenden Langzeitabdunkelung	7
Bestimmung der Kurzzeitperiode	8
Hinweise auf eine dritte Periode	9
Klassifizierung	10
Mögliche Ursachen der Feinstruktur der Kurzzeitperiode	13
Anerkennung der Entdeckung	14
Veröffentlichungen	15
Danksagung	15

Die Entdeckung

Im Rahmen des Space Situational Awareness Program der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) hat der Erstautor (Erwin Schwab) die Möglichkeit am ehemaligen Hamburger 0,8m-Schmidt-Teleskop, das sich seit 1979 in Spanien auf dem Calar Alto befindet, ferngesteuert zu beobachten[4,5] - eine ehrenvolle Gunst, die nur selten einem Amateurastronomen zu Teil wird. In der Nacht vom 26. auf den 27.07.2019 sollte damit der Komet P/2012 K3 (Gibbs) im Sternbild Schütze wiederentdeckt werden. Leider konnte der Komet nicht gefunden werden, stattdessen „verschwand" ein Fixstern ganz plötzlich vom Firmament! Eine Sequenz der Aufnahmen ist als Film unter folgendem Link einsehbar: http://erwinschwab.de/Z84/newvarstar/AnimDiscoveryVarStar.gif Welches Ereignis könnte dafür verantwortlich sein? Vielleicht war es eine Sternbedeckung durch einen Kleinplaneten? Handelt es sich um einen Veränderlichen Stern? Oder wurde das Objekt sogar von einem Schwarzen Loch verschluckt?

Die Fotos haben eine Belichtungszeit von jeweils einer Minute. Betrachtet man sie genauer, dann stellt man fest, dass von einer Aufnahme zur nächsten ein schneller Helligkeitsabfall um ~2 Magnituden stattfindet (Abb. 1). Außerdem blieb der Stern in der Entdeckungsnacht „unsichtbar" für die restlichen 20 Minuten der Beobachtungszeit. Einen bekannten Kleinplaneten gibt es an dieser Stelle nicht. Vielleicht wurde die Bedeckung durch einen unbekannten Kleinplaneten verursacht? Jedoch ergab eine grobe Abschätzung, dass man eine Sternbedeckung durch einen Kleinplaneten ausschließen kann. Denn die mindestens 20 Minuten andauernde Bedeckung bedeutet bei einem Transneptunischen Objekt, dass dieses ungefähr die Größe der Erde hätte haben müssen – sicher eine Sensation, aber eine unwahrscheinliche. In der nächsten Nacht war die Wetterlage in Spanien gut und siehe da, der Stern war wieder in voller Pracht sichtbar – also nicht von einem Schwarzen Loch verschluckt.

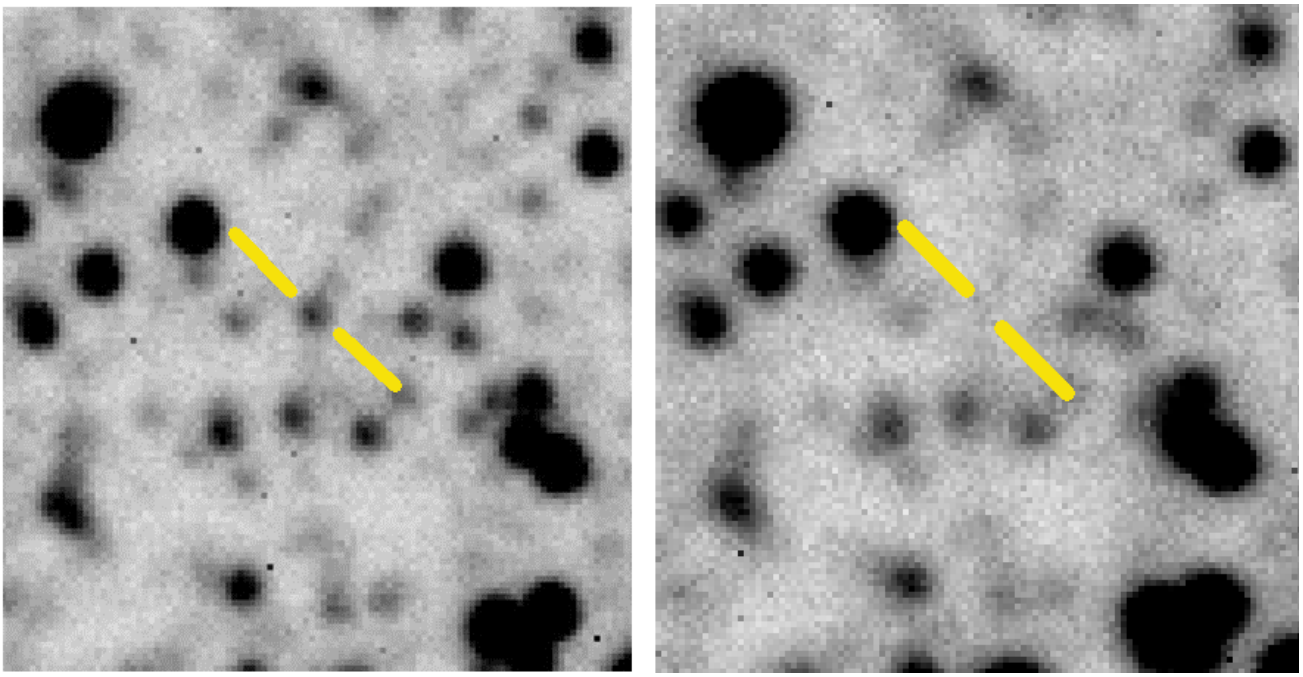

Abb. 1: In der Entdeckungsnacht „verschwindet" ein Stern von einer Aufnahme zur nächsten. Die Horizonthöhe des Objekts betrug weniger als 30 Grad, was eine Ursache des nicht besonders guten Seeings sein dürfte. Erschwerend für die gesamte Auswertung wirkte sich die hohe Sternendichte mitten in der Milchstraße aus. Teleskop: 0,8m Schmidt, Calar Alto, Spanien. Bildausschnitt: 1'x 1'. Belichtungszeit: 60s. 2019-07-27, 00:25UT und 00:27UT. Erwin Schwab

[4] Schwab E., 2018: NEOs und Kometen mit dem Hamburger-Schmidt-Teleskop auf dem Calar Alto. VdS-Journal für Astronomie **67**, 76.
[5] Schwab E., 2019: Zerreißprobe des NEOs 2018 AM12 beobachtet mit dem Calar Alto Schmidt. VdS-Journal für Astronomie **68**, 83.

Im Variable Star Index (VSX) der American Association of Variable Star Observers (AAVSO) war kein bekannter Veränderlicher registriert.[6] An der betreffenden Koordinate (Ra 18h32m21.56s, Dec -16°27'24.2") befindet sich ein Stern, der von Gaia vermessen wurde und die Katalognummer 4102856333775127296 bekam. Laut der Gaia-Messung hat er eine Paralaxe von 0,7761 Millibogensekunden.[7] Dies entspricht einer Entfernung von 4200 Lichtjahren. Ist dieser Stern nun ein unbekannter Veränderlicher? Wenn ja, ändert sich die Helligkeit periodisch und mit welcher Periode? Ist es ein Bedeckungsveränderlicher? Um welche Veränderlichen Klasse handelt es sich letztendlich?

Zur Klärung dieser Fragen waren weitere Beobachtungen nötig. In der dritten Nacht konnte dann endlich wieder eine Verfinsterung beobachtet werden! Diese Bedeckung fand rund eine Stunde früher statt, als drei Nächte zuvor. Es konnte somit eine maximal mögliche Periode bestimmt werden von ~2,96 Tagen. Möglich wären aber auch ganzzahlige Teiler dieser Maximal-Periode, z.B. 1,48 Tage; 0,74 Tage; 0,37 Tage usw. Um nun diese Bedeckungsperioden nachzuweisen oder auszuschließen, hatte man von Spanien aus ein Problem: Zum Zeitpunkt der Bedeckung, verursacht durch eine 1,48 Tage-Periode, war in Spanien Taghimmel. Der Zeitpunkt der Bedeckung verschiebt sich zwar alle drei Tage um eine Stunde, wäre somit nach rund einem Monat am spanischen Nachthimmel beobachtbar. So lange wollte der Entdecker aber nicht warten. Unterstützung kam vom Zweitautor (Paul Breitenstein), der als Lehrer des Pascal-Gymnasiums in Münster im Rahmen von Schulprojekten Zugang zu Teleskopen in Australien, USA und Südafrika hat. Er hat die Möglichkeit der Nutzung des Las Cumbres Observatory (LCO) und des 1,2-m-MONET-Teleskops in Sutherland, welches durch das Institut für Astrophysik/IAG der Georg-August-Universität Göttingen betrieben wird. Somit war die Möglichkeit der 24-Stunden-Abdeckung gegeben.

Die Beobachtungsdaten

Durch diese Zusammenarbeit konnte der Veränderliche vom 26.7.2019 bis zum 19.10.2019 insgesamt 46,8 Stunden beobachtet werden. Zur Datenreduktion wurde die Software Astrometrica[8] und Muniwin[9] verwendet. Zur Darstellung der Phasen wurde MS-Excel benutzt. Eine detaillierte Auflistung der Beobachtungszeitspannen ist in der Tabelle zu finden. Die verwendeten Teleskope sind folgende:

Kürzel: Teleskop, Standort, Land, Kamera, Filter, Software zur Datenreduktion, Observatory code, Beobachter

- CAS: 0,8m-Schmidt, Calar Alto, Spanien, SBIG ST-10XME, Klarfilter, Muniwin/Astrometrica, Z84, Erwin Schwab
- FTS: 2,0m-RC, Faulkes-Süd, Siding Spring, Australien, Fairchild CCD-486, Klarfilter, Muniwin, E10, Paul Breitenstein
- MDO: 1,0m-RC, McDonald Mt. Locke, USA, Fairchild CCD-486 BI, Klarfilter, Muniwin, V37, Paul Breitenstein
- MTS: 1,2m-RC, Monet-Süd, Sutherland, Südafrika, FLI ProLine 230, Klarfilter, Muniwin, L61, Paul Breitenstein & Tim- Oliver Husser
- SAO: 1,0m-RC, Sutherland, Südafrika, Fairchild CCD-486 BI, Klarfilter, Muniwin, K91, Paul Breitenstein

[6] Datenbank-Suche im Variable Star Index (VSX)
[7] Datenbank-Suche im GAIA Archiv
[8] http://www.astrometrica.at/
[9] http://c-munipack.sourceforge.net/

Kürzel	Datum (Start)	Zeitraum HJD 2458000 +	Mess-punkte	Spanne [h]	Beobachter	Bemerkung
CAS	2019-07-26	691.42323 - 691.54236	114	2.9	Schwab	Bedeckung
CAS	2019-07-27	692.42319 - 692.50064	73	1.9	Schwab	Keine Bedeckung
CAS	2019-07-29	694.38143 - 694.50055	119	2.9	Schwab	Bedeckung
CAS	2019-07-30	695.38138 - 695.50051	118	2.9	Schwab	Keine Bedeckung
CAS	2019-07-31	696.38133 - 696.50046	119	2.9	Schwab	Keine Bedeckung
CAS	2019-08-01	697.38127 - 697.50038	119	2.9	Schwab	Bedeckung
CAS	2019-08-03	699.40330 - 699.53773	13	3.2	Schwab	Langzeitfinsternis
CAS	2019-08-04	700.38442 - 700.52508	19	1.7	Schwab	Langzeitfinsternis
FTS	2019-08-05	701.12511 - 701.13221	5	0.25	Breitenstein	Langzeitfinsternis
FTS	2019-08-05	701.86783 - 701.87834	12	0.3	Breitenstein	Langzeitfinsternis
FTS	2019-08-05	701.97733 - 701.97821	2	0.02	Breitenstein	Langzeitfinsternis
CAS	2019-08-19	715.38909 - 715.49924	80	2.6	Breitenstein	Keine Bedeckung
MDO	2019-08-25	720.62120 - 720.63958	7	0.4	Breitenstein	Keine Bedeckung
FTS	2019-08-28	724.05531 - 724.07102	11	0.4	Breitenstein	Bedeckung (Anstieg)
CAS	2019-08-28	724.33682 - 724.49806	98	3.8	Schwab	Bedeckung
FTS	2019-09-01	727.98187 - 727.99914	12	0.5	Breitenstein	Keine Bedeckung
MTS	2019-09-03	730.22742 - 730.37371	65	3.5	Breitenstein, Husser	Bedeckung
SAO	2019-09-03	730.29556 - 730.31427	12	0.5	Breitenstein	Keine Bedeckung
FTS	2019-09-04	731.03003 - 731.04598	32	0.4	Breitenstein	Keine Bedeckung
FTS	2019-09-11	737.87796 - 737.89699	14	0.5	Breitenstein	Keine Bedeckung
MTS	2019-09-15	742.25750 - 742.38380	115	3.0	Breitenstein, Husser	Keine Bedeckung
MTS	2019-09-16	743.23786 - 743.33073	85	2.3	Breitenstein, Husser	Bedeckung
FTS	2019-09-18	774.89028 - 774.90458	25	0.34	Breitenstein	Keine Bedeckung
FTS	2019-09-19	745.87728 - 745.89676	26	0.47	Breitenstein	Keine Bedeckung
CAS	2019-10-07	764.29140 - 764.37165	81	2.0	Schwab	Bedeckung
CAS	2019-10-08	765.29412 - 765.37250	71	1.9	Schwab	Keine Bedeckung
FTS	2019-10-09	765.88538 - 765.89502	16	0.23	Breitenstein	Keine Bedeckung
MTS	2019-10-19	775.24686 - 775.33324	81	2.1	Breitenstein, Husser	Keine Bedeckung

Tabelle der Beobachtungszeitspannen.

Bestimmung der Langzeitperiode (Bedeckungs- oder Orbitalperiode)

Nach einer Weile kristallisierte sich heraus, dass die richtige Periode 1/8 der zunächst vermuteten ~2,96 Tagen war, nämlich 0,3695 Tage (8,868h). Es ergaben sich die folgenden Elemente der Bedeckungsperiode, bezogen auf die zeitliche Mitte des Bedeckungsminimums:

HJD_{min} (orbital) = 2458730,332 + 0,36950 * E
(E ist eine fortlaufende ganze Zahl, HJD ist das Heliozentrisch korrigierte Julianische Datum)

Der Fehler in der Bestimmung der Periode beträgt +/- 0,00004 Tage und der Fehler in der Bestimmung des Bezugszeitpunktes in der Mitte der Bedeckung beträgt +/- 0,003 Tage. Im Phasendiagramm der gesamten Bedeckungsperiode (Abb. 2) ist neben der Bedeckung auch eine sinusähnliche Veränderung mit kürzerer Periode auffällig. Des Weiteren gibt es Beobachtungen in denen das Objekt über einem längeren Zeitraum lichtschwächer als 19,5 Magnituden blieb, diese sind im Diagramm mit horizontalen Strichen symbolisiert. Auf beide Effekte wird in diesem Artikel noch eingegangen. Abgesehen von dieser Langzeitabdunkelung betrug die Dauer der beobachteten Bedeckungen zwischen 30 und 36 Minuten.

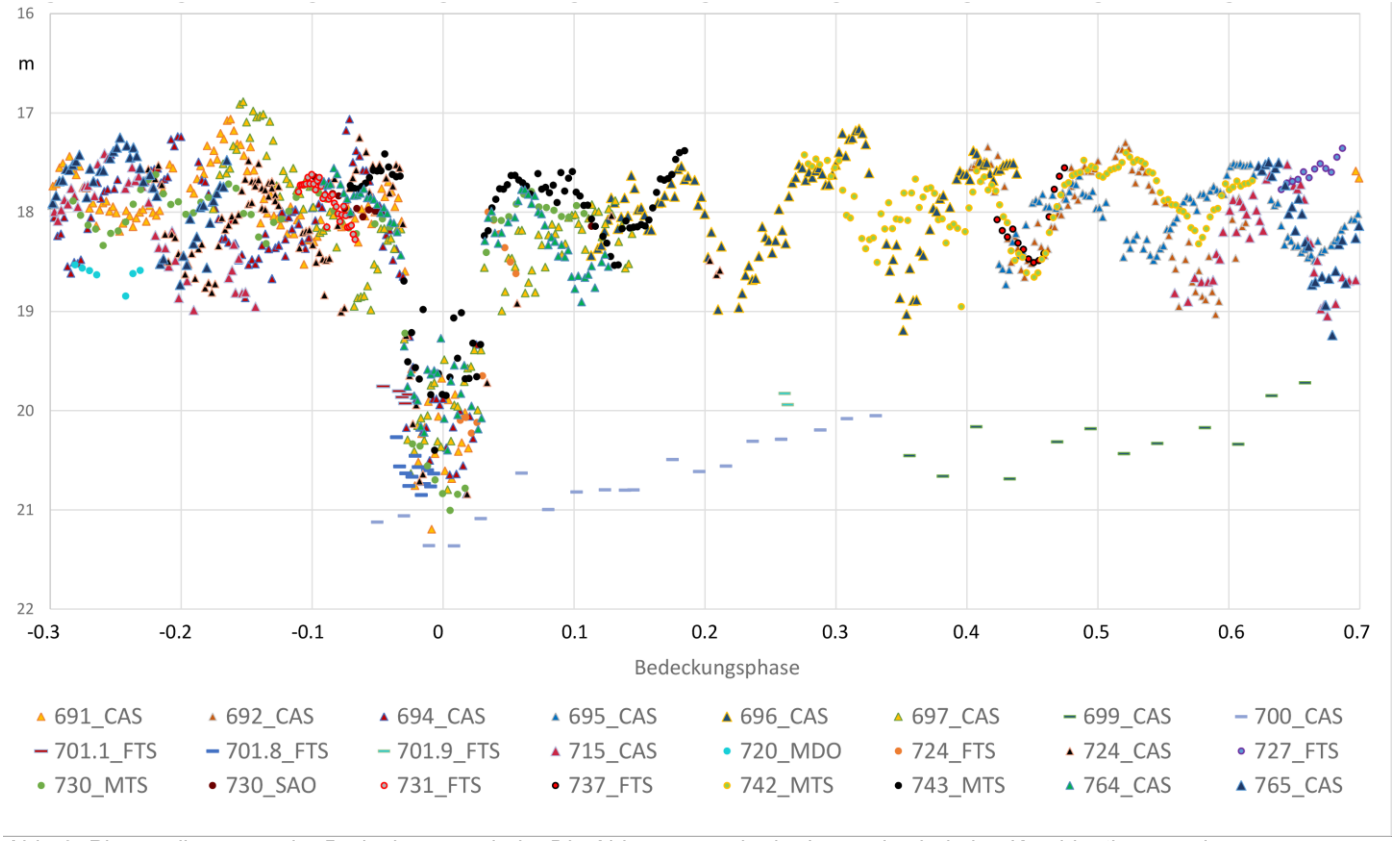

Abb. 2: Phasendiagramm der Bedeckungsperiode. Die Abkürzungen in der Legende sind eine Kombination aus den letzten drei Tagen des Julianischen Datums und das Kürzel des verwendeten Teleskops.

Die Bedeckung der Hauptkomponente konnte in 8 Nächten beobachtet werden. Zur besseren Verdeutlichung wurde der Phasenwinkel des Bedeckungsereignisses von ϕ = -0,1 bis ϕ = 0,1 in Abbildung 3 vergrößert dargestellt.

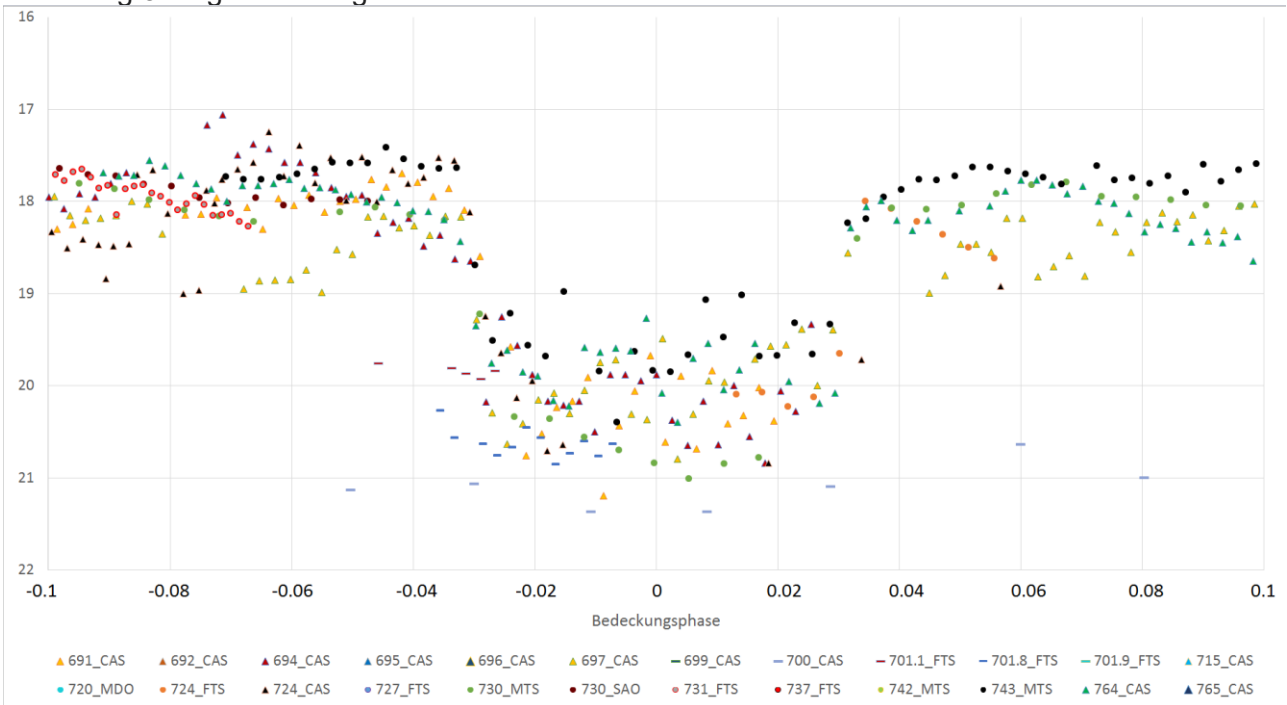

Abb. 3: Ausschnitt der Bedeckungsperiode. Dargestellt ist der Phasenwinkel des Bedeckungsereignisses im Bereich von φ=-0,1 bis φ=0,1. Die Abkürzungen in der Legende sind eine Kombination aus den letzten drei Tagen des Julianischen Datums und das Kürzel des Teleskops.

Beobachtung einer periodenübergreifenden Langzeitabdunkelung

An drei aufeinander folgenden Nächten blieb die Helligkeit des Veränderlichen jenseits der 19,5 Magnitude. Die Datensätze dieser Nächte sind im Phasendiagramm der Bedeckungsperiode (Abb. 2 und 3) mit horizontalen Strichen symbolisiert. In der Absicht das Minimum der Bedeckung zu bestätigen, wurde am 3.8.2019 (699_CAS) und 4.8.2019 (700_CAS) über einem Zeitraum von 3,2h bzw. 1,7h sowie am 5.8.2019 (701.1_FTS, 701.8_FTS, 701.9_FTS) über drei kurze Zeiträume von jeweils 0,25h, 0,3h und 0,02h, beobachtet. Nach dem 5.8.2019 gab es eine größere Lücke ohne Beobachtungen aufgrund des Vollmondes. Am 19.08.2019 (715_CAS) befand sich der Veränderliche wieder in der normalen bedeckungsfreien Helligkeit.

Die Auswertung ergab, dass sich die Helligkeit des Veränderlichen in den drei genannten Nächten bereits vor Eintritt des berechneten Bedeckungsbeginns jenseits der 19,5 Magnituden befand und auch nach dem prognostizierten Ende der Bedeckung weiterhin lichtschwach blieb. Die Vermutung liegt somit nahe, dass im gesamten Zeitraum vom 3.8.2019 bis 5.8.2019, höchstwahrscheinlich auch darüber hinaus in dem Zeitraum ohne Beobachtungen, der Veränderliche durch einen außergewöhnlichen Vorgang verdunkelt wurde. Als Ursache hierfür könnte eine Verdichtung der Materie in der Staubscheibe und dadurch eine geringere Durchlässigkeit derselben stattgefunden haben. Ebenso wäre eine Abschattung durch weiter außen um das Doppelsternsystem kreisende Dunkelwolken möglich.

Auffällig ist auch, dass diese zur Langzeitabdunkelung gehörenden Messpunkte stetig ansteigen, je weiter sie vom Phasenwinkel 0 (Bedeckungsminimum) entfernt sind. Das deutet auf eine optisch dünner werdende Staubscheibe bei zunehmendem Phasenwinkel hin, also eine räumliche Verdünnung. Die Tatsache, dass die 699_CAS Daten im Vergleich zu den 700_CAS Daten im Trend etwas nach unten verschoben sind, ist nicht im Widerspruch dazu. Dies deutet sogar an, dass nicht nur eine räumliche, sondern auch eine zeitliche Verdünnung der Staubscheibe stattgefunden haben muss. Am 3.8.2019 (699_CAS Daten) war die Staubscheibe dichter als an den Tagen danach, am 4.8.2019 (700_CAS Daten) und am 5.8.2019 (701.9_FTS Daten).

Bestimmung der Kurzzeitperiode (Rotationsperiode)

Die ermittelte Kurzzeitperiode beträgt 0,045445 Tage (~ 1h) und hat eine sinusähnliche Form. Die Amplitude betrug rund 0,5 Magnituden. Für die Bestimmung der Elemente und für das in Abbildung 4 gezeigte Phasendiagramm wurden ausschließlich Zeitspannen außerhalb der Bedeckung ausgewählt. Es ergaben sich folgende Elemente der Kurzzeitperiode:

HJD_{min} (spin) = 2458742,3222 + 0,045445 * E
(E ist eine fortlaufende ganze Zahl, HJD ist das Heliozentrisch korrigierte Julianische Datum)

Der Fehler in der Bestimmung der Periode beträgt +/- 0,000005 Tage.

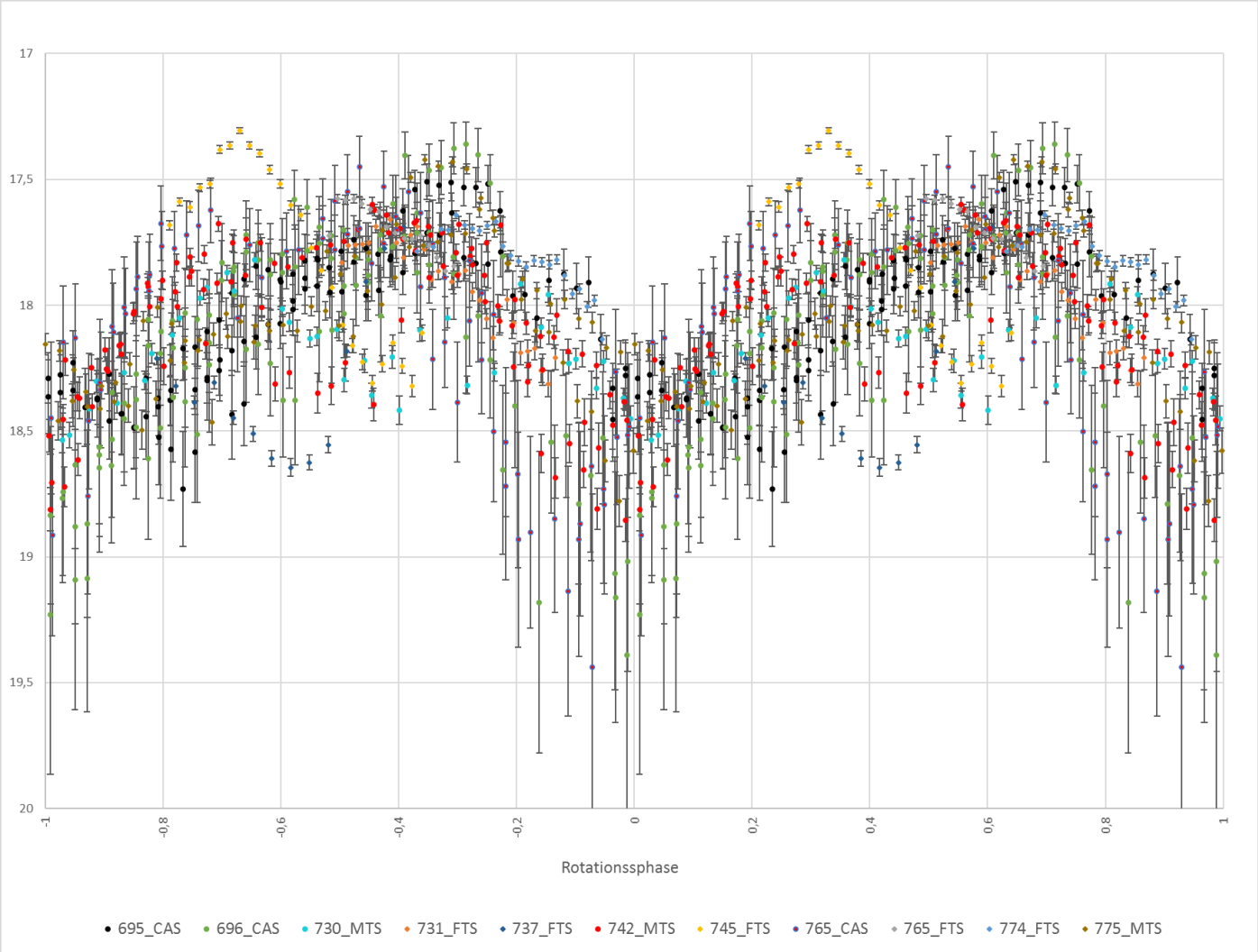

Abb. 4: Phasendiagramm der Kurzzeitperiode. Die Abkürzungen in der Legende sind eine Kombination aus den letzten drei Tagen des Julianischen Datums und das Kürzel des verwendeten Teleskops.

Bei genauerer Betrachtung einzelner Beobachtungssequenzen ist auffällig, dass die Maxima manchmal Eindellungen haben, deren Position sich zudem verändert, so dass zwischenzeitig die halbe Kurzzeitperiode von 0,023 Tagen (~1/2h) diskutiert wurde. Mögliche Erklärungsversuche für diese Erscheinungen werden in den folgenden Kapiteln aufgezeigt.

Hinweise auf eine dritte Periode

Schon früh wurde festgestellt, dass es unabhängig von den oben beschriebenen Eindellungen Schwankungen in der Helligkeitskurve mit einer Periode von ca. 10 Minuten gibt. Um dieses Phänomen genauer zu untersuchen, wurden mehrere Beobachtungssequenzen mit dem 2m Faulkes Teleskop mit kurzen Belichtungszeit von 15s bzw. 20s aufgenommen, um eine gute zeitliche Auflösung zu erreichen. Da hierzu außerdem ein gutes Seeing erforderlich ist, sind uns nur wenige auswertbare Beobachtungssequenzen gelungen.

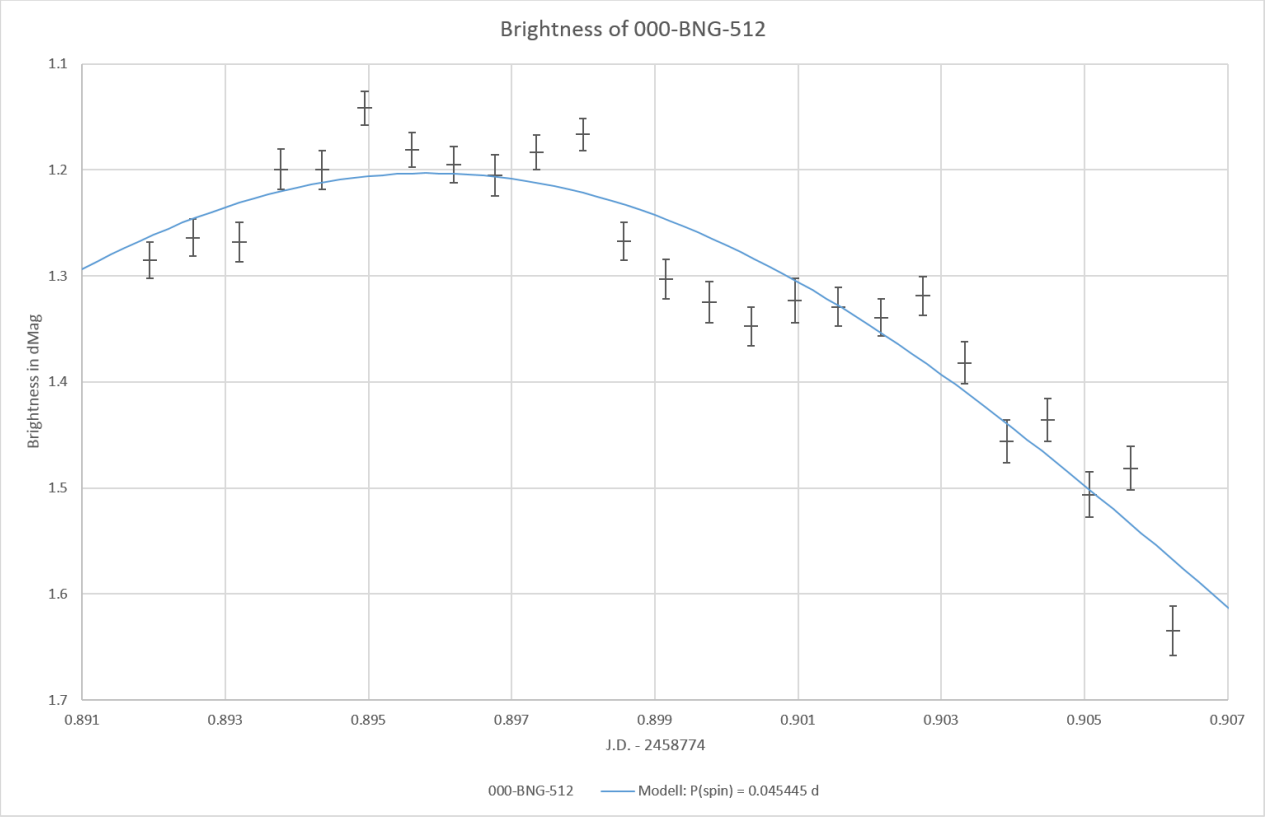

Abb. 5: Am 18.09.2019 konnten mit dem 2m Faulkes Teleskope in Siding Springs/Australien 25 relativ klare Bilder in 21 Minuten aufgenommen werden. Belichtungszeit: 15s; Filter: rp; Alt: 49 Grad; Seeing: 1.4"

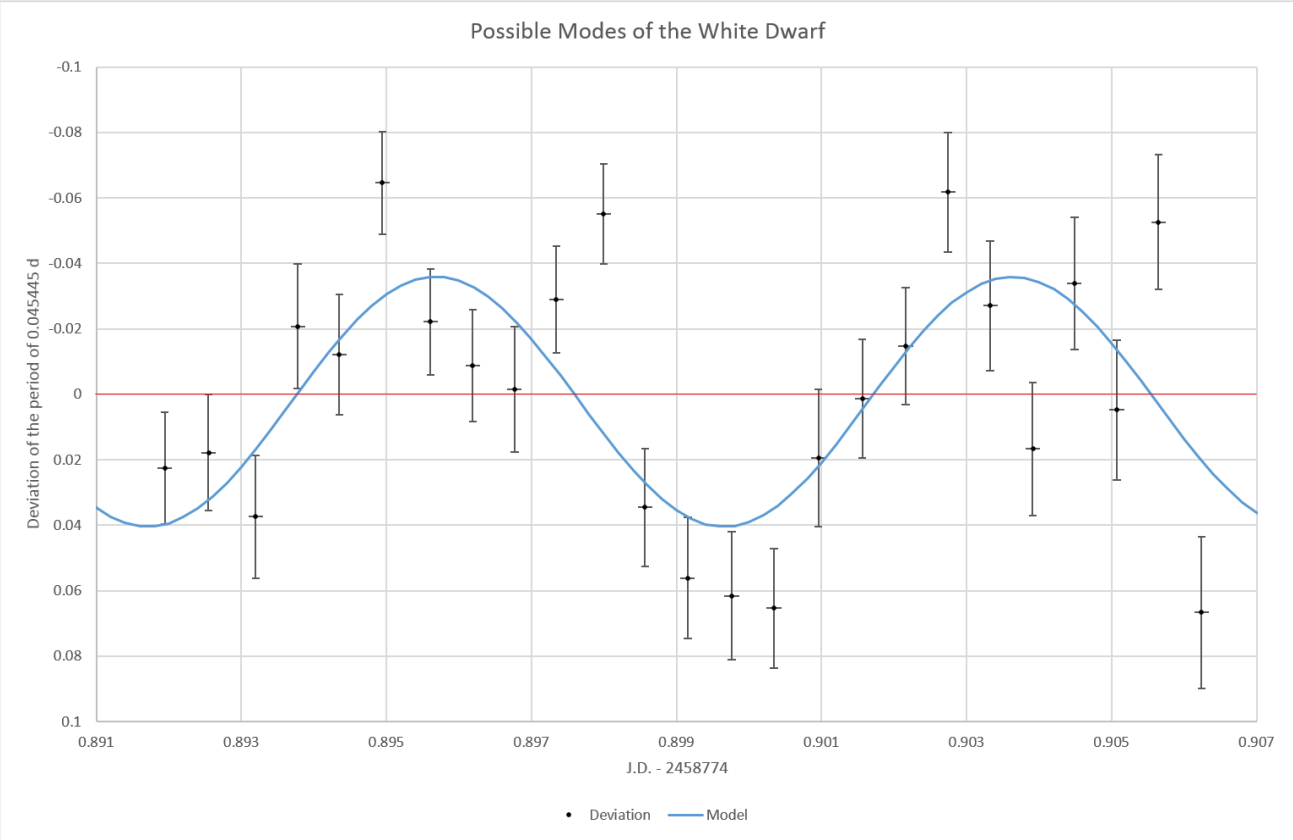

Abb. 6: Abweichungen von der Kurzzeitperiode P = 0,045445d

Bei allen auswertbaren Diagrammen erhält man für die beste Sinuskurve Perioden zwischen 8 und 12 Minuten mit einer Amplitude von 0.02 bis 0.04 Magnituden. Allerdings sind die Fehlerbalken und Abweichungen der Modellkurve von den Fehlerbalken wie in Abbildung 6 so groß, dass man den Verdacht nicht als bestätigt ansehen kann. Hier sind längere Beobachtungszeiten und bessere Messmethoden und -bedingungen gefragt.

Klassifizierung

Auf der Grundlage der hier gezeigten Beobachtungen ist eine Klassifizierung als kataklysmischer Veränderlicher (CV) am plausibelsten. Die lange Periode ist die Umlaufzeit des Doppelstern-systems. Der sehr schnelle Helligkeitseinbruch bedeutet, dass die Komponente, die bedeckt wird, eine vergleichsweise kleine Abmessung haben muss. Während eines Umlaufs wird die kleinere, hellere Komponente, vermutlich ein Weißer Zwergstern, von der größeren aber lichtschwächeren Komponente, dem Spenderstern oder Donator, bedeckt.

Der Spenderstern überschreitet die Größe der Roche-Grenze, weshalb Materie auf die Oberfläche des kleineren Weißen Zwergsterns gelangt und am Auftreffort eine hohe Energieemission verursacht. Dieser starken lokalen Energieemissionsquelle ist zu verdanken, dass letztendlich die Rotation des weißen Zwergsterns durch eine sinusähnliche Periode in der Lichtkurve sichtbar wird.

Die Tatsache, dass die Rotationsperiode eine andere ist als die Bedeckungsperiode, führt uns zu den kataklysmischen Veränderlichen des Typs DQ-Herculis, die auch als Intermediäre Polare (IPs) bezeichnet werden. Bei den polaren kataklysmischen Veränderlichen des Typs AM-Herculis hingegen ist die Rotationsperiode des Weißen Zwergsterns aufgrund eines sehr starken Magnet-feldes synchron zur Orbitalperiode. Des Weiteren deutet die beobachtete Langzeitabdunkelung auf das Vorhandensein einer Staubscheibe hin, die bei den polaren nicht vorhanden ist. Allerdings ist

die Lage der detektierten Staubwolke innerhalb oder außerhalb des Doppelsternsystems durch unsere Beobachtungen nicht eindeutig geklärt.

Die Amplitude der Rotationsperiode ist außergewöhnlich hoch und deutet auf einen hohen Materiestrom zur Oberfläche des weißen Zwerges hin. Ein Hinweis auf einen Höcker (im Englischen „hump“) in der Lichtkurve ist nicht zu erkennen. Der Höcker ist typisch für viele DQ-Herculis Veränderliche, siehe Beispiellichtkurve aus Rutkowski A. et al (2013)[10] in Abbildung 7. Dies ist ein sanftes Ansteigen der Helligkeit, wenn der heiße Fleck (Hot Spot), der durch das Aufprallen der Materie auf die Akkretionsscheibe verursacht wird, sich auf der zum Beobachter zugewandten Seite der Akkretionsscheibe befindet. Dieses Phänomen konnten wir in unserer Lichtkurve nicht identifizieren, so dass wir davon ausgehen, dass es hier keine dichte, zusammenhängende Akkretionsscheibe, zumindest keinen Hot Spot auf einer eventuell vorhandenen Akkretionsscheibe gibt. Typisch für DQ-Herculis Veränderliche ist auch eine starke Röntgenstrahlung, die durch den Aufprall der Materie auf die Akkretionsscheibe oder/und durch den Aufprall der Materie auf den Weißen Zwergstern hervorgerufen wird. Es konnte dieser Koordinate jedoch bislang keine Röntgenquelle zugeordnet werden.

Gemäß Norton A.J. (1993)[11] gibt es mindestens vier unterschiedliche Varianten von kataklysmischen Veränderlichen, siehe Abbildung 8:

- Nicht magnetische kataklysmische Veränderliche, ohne Materiestrom zum Weißen Zwergstern (a).
- Materiestrom gespeiste (stream-fed) magnetische kataklysmische Veränderliche, bei denen die Entstehung einer Akkretionsscheibe durch ein zu hohes Magnetfeld verhindert wird (b),
- Akkretionsscheiben gespeiste (disc-fed) magnetische kataklysmische Veränderliche, bei denen die Akkretionsscheibe an der Magnetosphärengrenze unterbrochen ist und der Materiestrom von der inneren Scheibengrenze über die Magnetfelder auf den Weißen Zwergstern gelangt (c) und
- magnetische kataklysmische Veränderliche, die ebenso wie (c) eine zum Weißen Zwergstern hin unterbrochene Akkretionsscheibe haben, aber der Materiestrom zum Teil über die Oberfläche der Scheibe gleitet und direkt zum Weißen Zwergstern fließt (d).

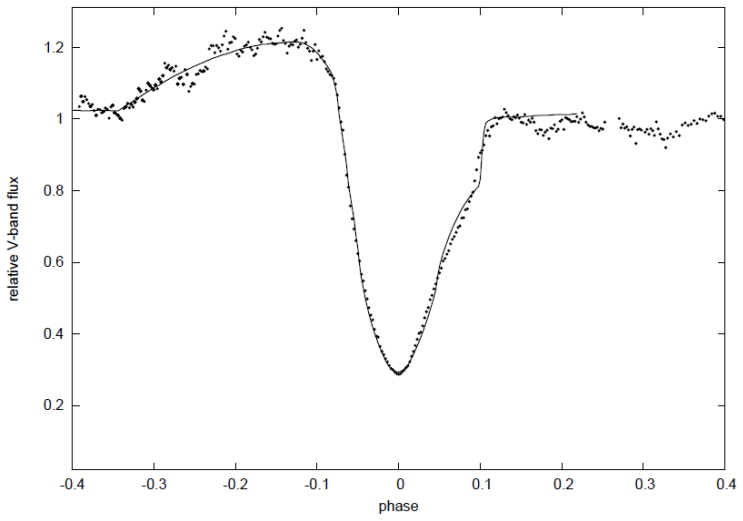

Abb. 7: Beispiel einer Bedeckungslichtkurve des HBHA 4705-03, ebenso ein Veränderlicher des Typs DQ-Herculis, aus Rutkowski A. et al (2013). Man erkennt ein Ansteigen der Helligkeit vor Beginn der Bedeckung, was auch als Höcker (hump) bezeichnet wird. Diese Erscheinung wird durch einen heißen Fleck auf der Akketionsscheibe verursacht.

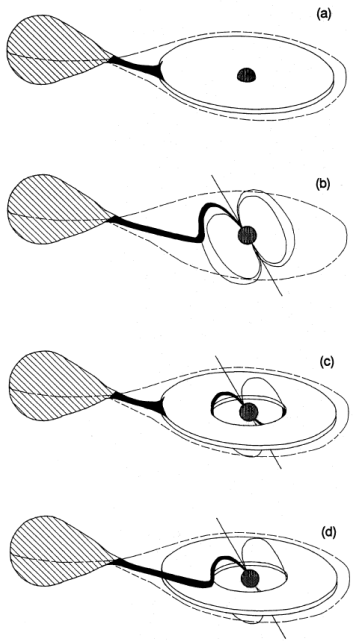

Abb. 8: Mögliche Varianten von Kataklysmischen Veränderlichen gemäß Norton A.J. (1993)

[10] Rutkowski A. et al., 2013: On the eclipsing cataclysmic variable star HBHA 4705-03. Acta Astron. **63,** 225.

[11] Norton A.J., 1993: Simulation of X-ray light curves of intermediate polars. MNRAS **265**, 316. 1993MNRAS.265..316N

Bei unserem Objekt ist das letzte Szenario am wahrscheinlichsten. Die beobachtete Langzeitabdunkelung deutet auf das Vorhandensein einer Staubscheibe innerhalb oder außerhalb des Doppelsternsystems hin. Der nicht beobachtete Höcker auf der Lichtkurve deutet auf wenig Materiefluss vom Donator zur eventuell vorhandenen Scheibe hin, so dass der Hauptfluss direkt zum Weißen Zwergstern strömt. Somit handelt es sich höchstwahrscheinlich um einen Materiestrom gespeisten kataklysmischen Veränderlichen mit zumindest manchmal vorhandener Staubscheibe.

Das Verhältnis von Rotationsperiode P_{spin} zur Bedeckungsperiode P_{orb} im Vergleich zu bekannten, Magnetische Kataklysmischen Variablen (MCV) zeigt, dass unser Objekt am Rand des Hauptfeldes liegt (Abb.9), was diesen Veränderlichen als besonders interessant erscheinen lässt. Es gibt offensichtlich wenige MCVs mit derart langen Bedeckungsperioden P_{orb}.

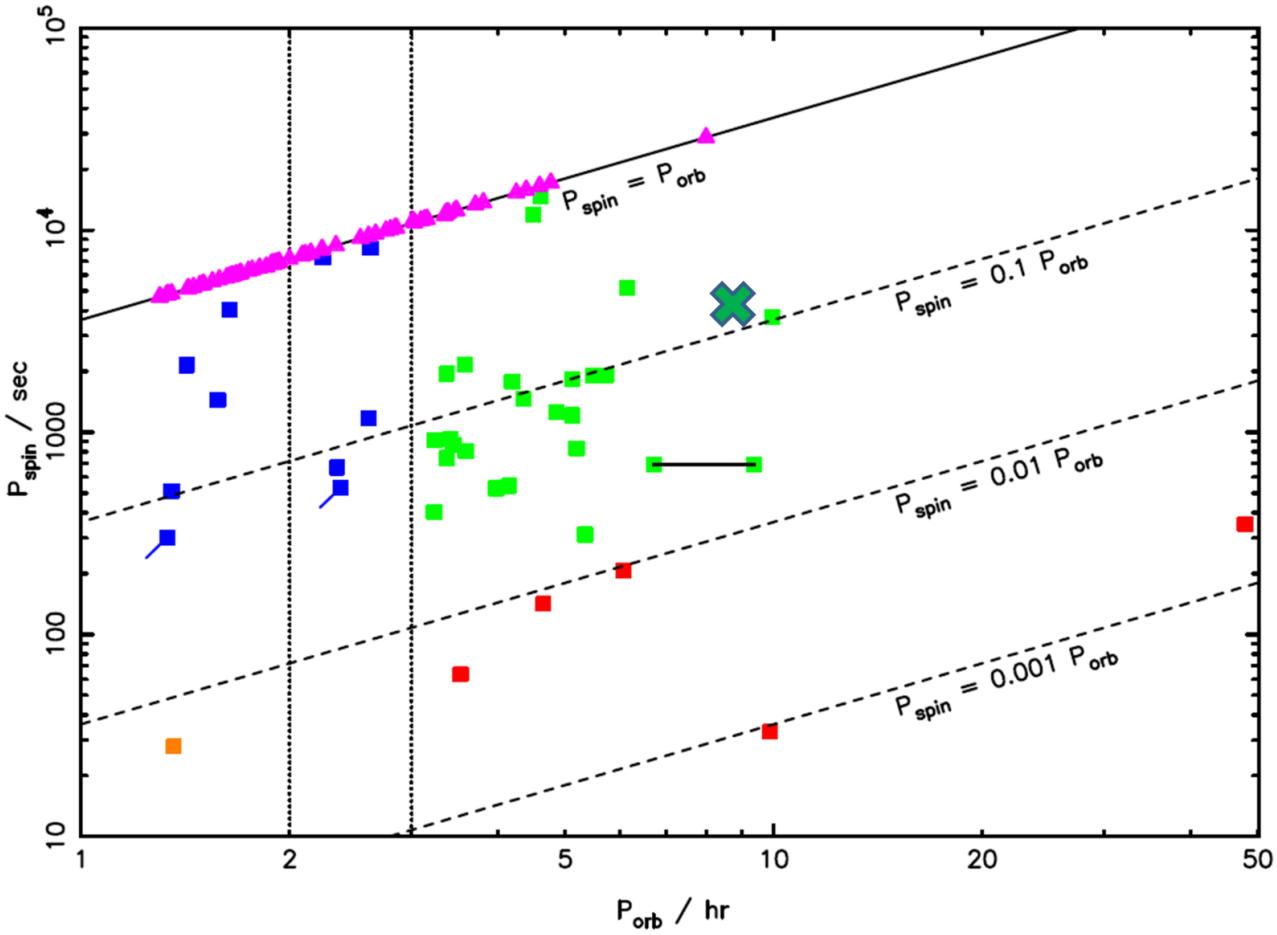

Abb. 9: Diagramm Spinperiode zur Orbitalperiode. Polare haben dreieckige Symbole und intermediäre Polare haben rechteckige. In das Diagramm von Norton et al. (2004) wurde die Position unseres Objektes als grünes Kreuz hinzugefügt.

Die Position unseres Objektes wurde mit einem grünen Kreuz in das Diagramm von Norton et al. (2004)[12] eingezeichnet. Bei Norton et al. (2004) werden die Objekte im Bereich 0.25 > P_{spin}/P_{orb} > 0.01 und P_{orb} > 3hr als Konventionelle Intermediäre Polare (grüne Rechtecke) bezeichnet, wozu unser Objekt mit Pspin/Porb = 0.12 und Porb = 8.8hr gehört. Ebenso eingezeichnet sind die polaren CVs, bei denen die Spinperiode zur Orbitalperiode synchron ist (Magenta Dreiecke).

[12] Norton A.J., Somerscales R.V., Wynn G.A. The spin periods of magnetic cataclysmic variables (2004) 2004ASPC..315..216N

Mögliche Ursachen der Feinstruktur der Kurzzeitperiode

Die Materie vom Spenderstern kommend strömt auf die Oberfläche des Weißen Zwergsterns und verursacht am Auftreffort erhöhte Emission nicht nur im sichtbaren Bereich, sondern auch im Röntgenbereich. Durch diese lokale Energieemissionsquelle wird eine sinusähnliche Periode in der Rotationslichtkurve des Weißen Zwergsterns sichtbar. Ebenso wie bei der Erde ist die Rotationsachse geneigt zur magnetischen Achse. Eine Simulationen von Romanova M. M. et al. (2004)[13] des Materiestroms ist in Abbildung 10 zu sehen.

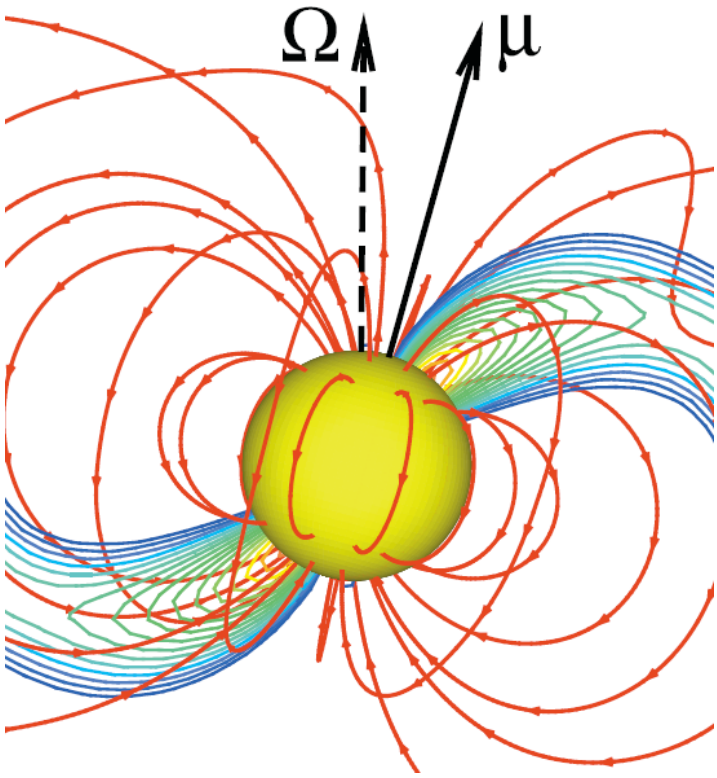

Abb. 10: Weiser Zwergstern mit zwei Materieströmungen jeweils zum magnetischen Nord- und Südpol. Abbildung aus Romanova M. M. et al. (2004). Eingezeichnet ist die Rotationsachse und die Achse des Magnetfeldes..

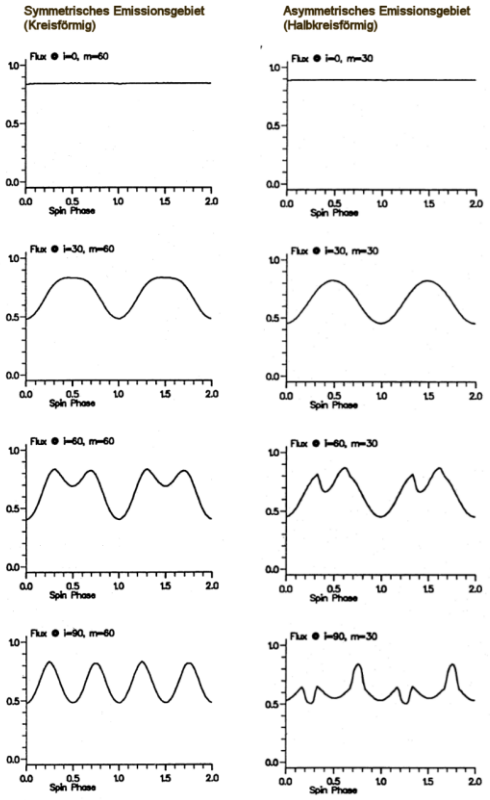

Abb. 11: Simulationen von Rotationslichtkurven gemäß Norton A.J. (1993). Verglichen wird ein symmetrisches mit einem asymmetrischen Emissionsgebiet bei unterschiedlichen Inklinationen (i) und unterschiedlichen Neigungen der Rotationsachse zur magnetischen Achse (m).

Simulationen von Norton A.J. (1993) und *Romanova M. M. et al. (2004)* zeigen, dass das Aussehen der Rotationslichtkurve von vielen Parametern abhängt wie zum Beispiel: Die Neigung der Rotationsachse zur Sichtlinie des Beobachters (Inklination), der Winkel zwischen Rotationsachse des Weißen Zwergsterns und dessen magnetischer Achse sowie der Größe und die Form des emittierenden Gebietes auf der Oberfläche des Weißen Zwergsterns. Ist die Inklination genau 90 Grad, dann schaut man auf die Äquatorgegend. Dies führt dazu, dass man sowohl das Emissionsgebiet der Nordhemisphäre als auch das der Südhemisphäre gleichermaßen sieht, was dann sogar zu einer scheinbaren Verdoppelung der Periodizität führt (siehe Abb. 11, links unten).

[13] Romanova M. M. et al., 2004: Three-dimensional simulations of disk accretion to an inclined dipole II. Hot spot and variability, ApJ **610,** 920. 2004ApJ...610..920R

Je kleiner die Inklination wird, umso geringer wird der Einfluss des Emissionsgebietes der abgewandten Hemisphäre, bis die Verdoppelung der Periode gänzlich verschwunden ist.

Eine asymmetrische Form der Rotationslichtkurve kann entstehen, wenn das Emissionsgebiet auf dem Weißen Zwergstern nicht symmetrisch (z.B. Kreisförmig), sondern asymmetrisch (z.B. Halbreisförmig) ist. Die Asymmetrie des Emissionsgebietes ist vergleichbar mit den Regionen der Polarlichter auf der Erde. Betrachtet man sie aus dem Weltraum, ist zu erkennen, dass diese Gebiete nicht immer Kreisrund leuchten, sondern die Aktivität verteilt sich meist auf mehr oder weniger asymmetrische Kreisbogenabschnitte. In Abbildung 11 ist das Beispiel der ersten Spalte bei symmetrischem, in der zweiten Spalte bei asymmetrischem Emissionsgebiet. Eine Veränderung der Form der Lichtkurve, verursacht durch den Wechsel von symmetrischem zu asymmetrischem Emissionsgebiet, tritt hierbei im Wesentlichen im Maximum zum Vorschein. Das wird in der dritten Reihe der Abbildung 11 besonders deutlich. Demnach kann die Form des Emissionsgebietes das Aussehen der Lichtkurve beeinflussen.

Ebenso kann ein Einfluss der Präzession der Rotationsachse des Weißen Zwerges nicht ausgeschlossen werden, da dadurch in der Regel die Inklination geändert wird. Untersuchungen von Tovmassian et al (2007)[14] zeigen, dass die Präzession eines Weißen Zwerges in sehr kurzen Zeiträumen stattfinden kann.

Anerkennung der Entdeckung

Am 05.09.2019 wurde die Entdeckung schließlich anerkannt, der Veränderliche bekam den AAVSO Unique Identifier (AUID) 000-BNG-512. Siehe folgende Bestätigungs-Email:

AAVSO VSX <vsx@aavso.org>
Do 05.09.2019 19:55
An: Schwab, Erwin <E.Schwab@gsi.de>;

Dear Erwin Schwab,

Congratulations! Your submission to VSX of the new variable star 'USNO-B1.0 0735-0599207' has been reviewed by a moderator and APPROVED. The data from this submission is now available from the public database. In addition, an AAVSO Unique Identifier (AUID) of 000-BNG-512 has been assigned to the star, and may be used when submitting observations. Your assistance in making VSX a better tool is much appreciated.

Clear skies,
VSX Administration

Während der Überprüfung der Entdeckungsmeldung durch den Moderator des Variable Star Index (VSX) wurde festgestellt, dass die Veränderlichkeit des Sterns auch bereits durch den PanStarrs1-3π-survey mittels der „Machine-learned Identification“ detektiert wurde. Die Daten des PanStarrs1-3π-survey haben jedoch aufgrund der automatischen Identifikation ein Risiko der fehlerhaften Klassifizierung und/oder Periodenbestimmung. Das ist vermutlich der Grund, weshalb diese Durchmusterung nicht in die Datenbank des VSX pauschal übertragen wurde.

In der Veröffentlichung des PanStarrs1-3π-survey von Sesar B. et al. 2017 [15] ist der Stern als RR-Lyrae Typ mit einer Periode von 0,512 Tagen angegeben,[16] was sich mit unseren Daten nicht

[14] Tovmassian G.H., Zharikov S.V., Neustroev V.V. (2007), Evidence of Precession of the White Dwarf in Cataclysmic Variables, ASPC **372**, 541
[15] Sesar B. et al., 2017: Machine-learned Identification of RR Lyrae Stars from Sparse, Multi-band Data: The PS1 Sample. ApJ **153,** 5
[16] VizieR-Datenbankeintrag als „RR Lyrae Star from the PS1 3π survey“

vereinbaren lässt. Obwohl die Profis schneller waren mit ihrer Veröffentlichung, haben die hier gezeigten umfangreicheren und detaillierteren Ergebnisse letztendlich dazu geführt, dass in der Datenbank des VSX unsere Resultate, nicht die der Berufsastronomen, verwendet wurden. Der PanStarrs1-3π-survey wurde lediglich zweitrangig als Entdecker eingetragen.[17]

Entdeckt wurde ein sehr interessantes astronomisches Objekt, das höchstwahrscheinlich zu der seltenen Klasse von DQ-Herculis Veränderlichen gehört, die auch als Intermediäre Polare bezeichnet werden. Bisher sind erst rund 100 davon bekannt. Es konnten viele Fragen nur bedingt mit den hier beschriebenen Beobachtungsmethoden beantwortet werden. In Zukunft darf man gespannt sein, welche Rätsel mittels spektroskopischen Analysen im sichtbaren oder im Röntgenbereich noch gelöst werden können.

Veröffentlichungen

- Im Variable Star Index (VSX) ist ein Bericht mit den ersten Beobachtungsergebnissen zu finden, der während des Anerkennungs-Prozedere der Entdeckungsmeldung verfasst wurde.[18]
- Im Rundbrief der „**B**undesdeutschen **A**rbeitsgemeinschaft für **V**eränderliche Sterne e.V.“ (BAV) wurde ein ausführlicher Artikel veröffentlicht.[19]
- Ein für die Allgemeinheit verständlicher Artikel wurde eingereicht zur Publikation im „Journal für Astronomie der Vereinigung der Sternfreunde“ (VdS).[20]

Danksagung

Der Zugang zum 0,8-m-Schmidt-Teleskop, Calar Alto, Spanien, wurde von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) finanziert, contract number 4000116155/15/D/AH (P2-NEO-VIII), und ermöglicht von Detlef Koschny, Co-Manager des near Earth object segments des Space Situational Awareness Programs der ESA.

Die Beobachtungen mit dem 1,2-m-MONET-Teleskop, South African Astronomical Observatory/ Sutherland (Südafrika) wurde durch das Institut für Astrophysik/IAG der Georg-August-Universität Göttingen ermöglicht. Das MONET (MOnitoring NEtwork of robotic Telescopes) Projekt basiert auf einem Netzwerk von zwei 1,2m Teleskopen, welches durch Gelder der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung sowohl für wissenschaftliche Forschung als auch für die Ausbildung von Schüler/-innen finanziert wurde. Herrn Tim-Oliver Husser, Göttingen, sei gedankt für die Betreuung von vier wichtigen Langzeitbeobachtungen mit dem MONET-Süd-Teleskop.

Die Nutzung der LCO-Teleskope, insbesondere des 2m Faukles Teleskops Süd, wurde durch das Faulkes Telescope Project, Cardiff/GB als Bildungspartner des Las Cumbres Observatory (LCO) ermöglicht. Hier sei besonders dem Projektdirektor Paul Roche und der Projektadministratorin Alison Tripp für die großzügige Unterstützung gedankt.

Herrn Ulrich Bastian, Heidelberg, sei gedankt für seine Unterstützung bei der Klassifizierung.

[17] Eintrag der Entdeckung in der Datenbank des Variable Star Index (VSX)
[18] Observation Report from Erwin Schwab at Variable Star Index VSX
[19] Schwab E., Breitenstein P., 2019: Entdeckung des Veränderlichen Sterns 000-BNG-512, dessen Klassifizierung als DQ-Herculis-Typ sowie die Bestimmung der Perioden. BAV-Rundbrief 4 (2019), S.187-200
[20] Schwab E., Breitenstein P., 2020: Entdeckung des Kataklysmischen Veränderlichen 000-BNG-512. VdS-Journal für Astronomie **73**.