

# Photometrische Beobachtungen von V509 Cassiopeiae und W Virginis im UBVRI-System

Martin Sblewski

Der halbregelmäßig Veränderliche V509 Cas (Typ SRd), ein Yellow Hyper-Giant (YHG), ist seit Sommer 2017 Ziel meiner photometrischen Beobachtungen. Ein YHG ist ein Superriese mit der Spektrallinie von H $\alpha$  in Emission und verbreiterten Emissionslinien im Vergleich zu anderen Superriesen und gehört den Spektralklassen F, G oder K an. Die breiteren Linien stehen in Verbindung mit ausgedehnten Hüllen und pulsationsgetriebenen Massenverlusten.

V509 Cas besitzt eine Masse von 11 Sonnenmassen, die Angaben zur Größe liegen zwischen 390 bis zu 910 Sonnenradien. Die Leuchtkraft beträgt das 180.000- bis 400.000-fache unserer Sonne [1], die relative Helligkeit in V schwankt derzeit zwischen 5,2 und 5,5 mag (eigene Beobachtungen).

Dieser Stern ist auch für die Profiastronomie von besonderem Interesse, da Sterne in diesem Entwicklungsstadium selten sind und ihre Entwicklungswege im Hertzsprung-Russel-Diagramm bisher nicht vollständig erforscht wurden. Sie gelten als Vorgänger zu Leuchtkräftigen Blauen Veränderlichen (LBV) oder auch als mögliche Supernova in ihrem weiteren Verlauf.

Meine Recherchen der Fachliteratur ergaben widersprüchliche Angaben zu einem möglichen Begleitstern von V509 Cas. D.J. Stickland und D.L. Harmer [2] leiteten 1978 aus niedrig aufgelösten Spektren im UV-Bereich das Vorhandensein eines Begleiters vom Spektraltyp B1 V, also eines heißen Zwergsterns, mit einer Umlaufzeit von 4 Jahren und einem Abstand von 8,5 Astronomische Einheiten (AU) ab. Möglicherweise befinden sich beide Sterne in einer sie gemeinsam umgebenden Hülle und der B1-Stern ist verantwortlich für die im optischen Bereich sichtbaren Emissionslinien des Sternspektrums. Klochkova et al. [3] untersuchten 2019 hoch aufgelöste Spektren aus den Jahren 1996 bis 2018 und fanden hingegen keinen Hinweis auf eine Doppelsternnatur.

Bereits kurz nach Beginn meiner Aufzeichnungen im Februar 2018 konnte ich beobachten, dass die Helligkeit des U-Kanals plötzlich heller war als die des B-Kanals (im Weiteren als U-Excess bezeichnet), was für einen Stern dieser Spektralklasse sehr ungewöhnlich ist. Könnte dies möglicherweise ein Hinweis auf den heißen Begleitstern sein, der sich hier durch seine energiereiche Strahlung verrät? Diese Frage zu beantworten war natürlich nicht möglich, in jedem Fall war es aber Grund genug, die Beobachtungen weiter fortzusetzen. Im folgenden Beobachtungsverlauf fiel die U-Helligkeit wieder unter die B-Helligkeit ab und nach ca. 390 Tagen war erneut ein U-Excess zu beobachten, ein Prozess der sich bis zum heutigen Tag stetig wiederholte (Abb. 1).

Eine Periodenanalyse [4] der einzelnen Filter im März 2021 ergab eine durchschnittliche gemeinsame Periode von ca. 400 Tagen. Die Länge der Periode deckt sich mit der Periode des beobachteten U-Excesses und somit überweg nun die Wahrscheinlichkeit, dass der U-Excess Teil des Pulsationsprozesses des Sterns sein könnte.

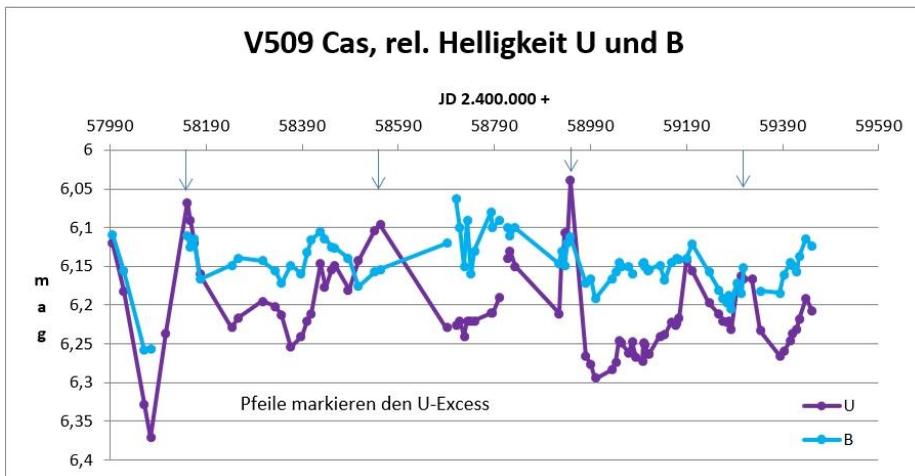


Abb. 1: V509 Cas, Gesamtlichtkurven der Filter U und B, Martin Sblewski

Nach erneutem Literaturstudium fand ich bei John R. Percy [5] den Hinweis, dass W-Virginis-Sterne im Verlauf ihrer Pulsationsperiode ebenfalls einen U-Excess zeigen. Als Erklärung wird eine durch die Pulsation verursachte Schockwelle angeführt, welche die Atmosphärenschichten der Sterne durchläuft, dabei auf von außen nach innen, einfallende Schichten trifft und Emissionen von z.B. Wasserstoff auslöst. Leider fanden sich keine näheren Angaben zu welchen Zeitpunkten der Pulsationsperiode der U-Excess auftritt.

W Virginis als Namensgeber der Typ-II-Cepheiden besitzt eine Masse von 0,4 Sonnenmassen, einen Radius von 22 bis zu 52 Sonnenradien und eine Leuchtkraft des 474- bis 1247-fachen der Sonnenleuchtkraft. Die relative Helligkeit in V schwankt zwischen 9,46 und 10,75 mag bei einer Periode von 17,27134 Tagen. [6]

Obwohl sich beide Sterne in ihren absoluten Parametern deutlich unterscheiden, gibt es auch durchaus vergleichbare Eigenschaften. Beide Sterne pulsieren und ihre Atmosphären sind im Verhältnis zu ihrer Masse sehr ausgedehnt. So entstand der Wunsch, W Virginis photometrisch mindestens in den Filtern U und B während einer Saison zu beobachten und ein Phasendiagramm zu erstellen.

Für die Photometrie verwende ich einen kleinen Refraktor mit 60 mm Öffnung, einen UBVR-I-Filtersatz und eine CCD-Kamera mit dem Kodak-Chip KAF-8300. Die geringe Öffnung ermöglicht die Beobachtung relativ heller Sterne und die Größe des Sensors ergibt ein angenehm großes Bildfeld, in dem sich problemlos Vergleichssterne finden lassen.

Die einzelnen Filter des UBVR-I-Filtersatzes lassen jeweils nur das Licht eines begrenzten Wellenlängenbereiches passieren. Einen Überblick hierzu und einen Vergleich mit dem Johnson-System gibt Tabelle 1.

Filter	Peak des Filters	Vergleich Johnson-V
U	370 A	350 A
B	420 A	435 A
V	530 A	555 A
R	600 A	700 A
I	810 A	900 A

Tabelle 1: Wellenlängenbereiche des UBVRI-Filtersatzes, zum Vergleich des Johnson-V-Systems in Angström

An meinem Beobachtungsstandort (Berliner Umland) lässt sich W Virginis nur im Frühjahr und im Frühsommer und dort auch nur kurze Zeit nach Beginn der Dämmerung bis zum Untergang des Sterns am Horizont beobachten. Problematisch ist hierbei die geringe Horizonthöhe des Sterns. Beobachtungen unter 30° Höhe werden für die Photometrie nicht empfohlen, da die Schwächung des Lichts auf ihrem Weg durch die Atmosphäre stark zunimmt und zu verfälschten Ergebnissen führt. Teilweise mussten jedoch Beobachtungshöhen von nur noch 20° über dem Horizont in Kauf genommen werden. Die sich hieraus ergebenden größeren Messfehler reichen bis zu 0,2 mag im Filter I (Tab. 2).

Filter	U	B	V	R	I
Belichtungszeit	5*400s	5*90s	5*30s	5*30s	5*30s
Binning	4-fach	2-fach	2-fach	2-fach	2-fach
Fehlergröße in mag	0,10	0,07	0,16	0,14	0,20

Tabelle 2: Aufnahmenanzahl, Belichtungszeiten, Binning und Fehlergrößen der einzelnen Filter

Die Bildbearbeitung mit Bias- und Darkkorrektur, dem Ausrichten und Stacken erfolgte mit der Software MaxIm DL. Für die Blendenphotometrie wurde das von der AAVSO angebotene Programm V-Phot benutzt [8]. Es wurden je Filter 2 bis 3 Vergleichssterne ausgewählt, das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) wurde über das Binning und die Belichtungszeiten gesteuert und sollte mindestens Werte über 50 erreichen. Für den U-Filter, dessen Zentralwellenlänge bei ca. 370 nm liegt, ist die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre bereits stark eingeschränkt. Hier musste bei 4-fachem Binning bereits 400 s belichtet werden. Weitere Angaben zu Belichtungszeiten und Aufnahmedaten enthält Tabelle 2.

In der Zeit von Ende April bis Ende Juni konnte W Virginis an 17 Abenden beobachtet werden. Mit Hilfe der bereits erwähnten Software zur Periodenanalyse [4] wurde die Periode zu 17,264305 Tagen im V-Filter ermittelt und ein gemeinsames Phasendiagramm für alle Filter erstellt (Abb. 2).

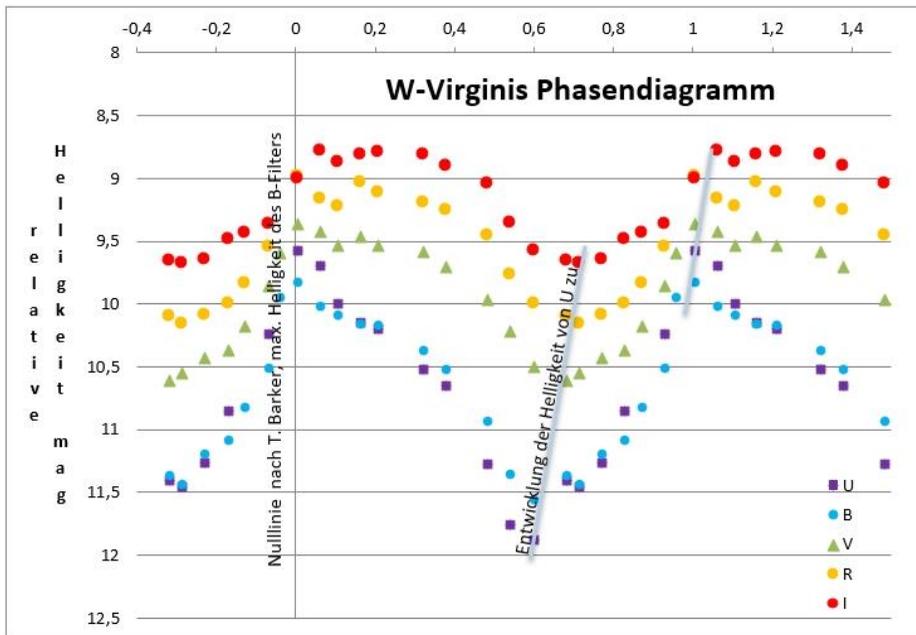


Abb. 2: W Virginis, Phasendiagramm UBVRI auf 2 Phasen gestreckt

Um die eigenen Beobachtungen zu verifizieren, wurde ein Vergleich mit Ergebnissen der Fachliteratur angestellt. M.R. Templeton et al. [9] haben W Virginis 2007 photometrisch in B, V, R und I untersucht, vergleichend können wichtige Übereinstimmungen gefunden werden:

„Die Amplitude ist in B am größten gefolgt von V, R und I“, in Ergänzung zeigt meine Beobachtung in U die größte Amplitude.

„Die B-Kurve hat einen spitzen Peak, gefolgt von einem kurzen Plateau und danach dem Abstieg zum Helligkeitsminimum, V, R und I steigen direkt zu einem Plateau an, das über den halben Zyklus erhalten bleibt.“, die Aussagen zu V, R und I können bestätigt werden, U zeigt in meiner Aufzeichnung einen ähnlichen Verlauf wie B.

„Der Farbindex (FI) B-V reicht von 0,4 im Maximum bis 1,1 im Minimum“, auch diese Aussage kann bestätigt werden.

Ergänzend ist für die eigenen Beobachtungen festzustellen, dass der Aufstieg zum Helligkeitsmaximum steil erfolgt und 40 % der Phase dauert, während Plateau und Abstieg ca. 60 % der Phase für sich beanspruchen. Deutlich sichtbar ist für das Helligkeitsminimum- und Maximum auch der Zeitversatz der einzelnen Filter von U nach I.

Timothy Barker et al. [10] untersuchten W Virginis auch spektroskopisch, auszugsweise sollen einige die einzelnen Phasenabschnitte betreffende Ereignisse vorgestellt werden:

„Eine Schockwelle repräsentiert zufriedenstellend den physikalischen Zustand der Atmosphäre.“

„Die Wasserstofflinien sind während der Phase von 0,65 bis 0,10 in Emission.“

„Die Schockfront entsteht in Übereinstimmung mit dem Auftreten der Wasserstoffemissionen bei Phase 0,65. Die Front breitet sich im weiteren Verlauf nach außen aus. Das vor der Schockwelle befindliche Material wird optisch dünn und lässt die Emissionen entstehen.“

„Bei Phase 0,825 erscheinen doppelte Absorptionslinien. Rot- und blauseitige Absorptionsbestandteile entsprechen Material vor und hinter der Schockwelle.“

„Im weiteren Verlauf erreicht die Schockfront das vor ihr entstandene vorgeschockte Material und verschlingt dieses. Die rotseitigen Absorptionskomponenten verschwinden nun schrittweise.“

„Bei Phase 0,10 sind alle Spuren des Materials vor der Schockwelle verschwunden und damit auch die Emissionen vergangen.“

Diese auszugsweisen Zitate dienen dem Verständnis der Physik hinter den Beobachtungen. Sehr gern hätte ich auch mittels spektroskopischer Aufnahmen die Emissionen und die Linienspaltung beobachtet, in dem zur Verfügung stehenden Zeitfenster war das leider nicht möglich.

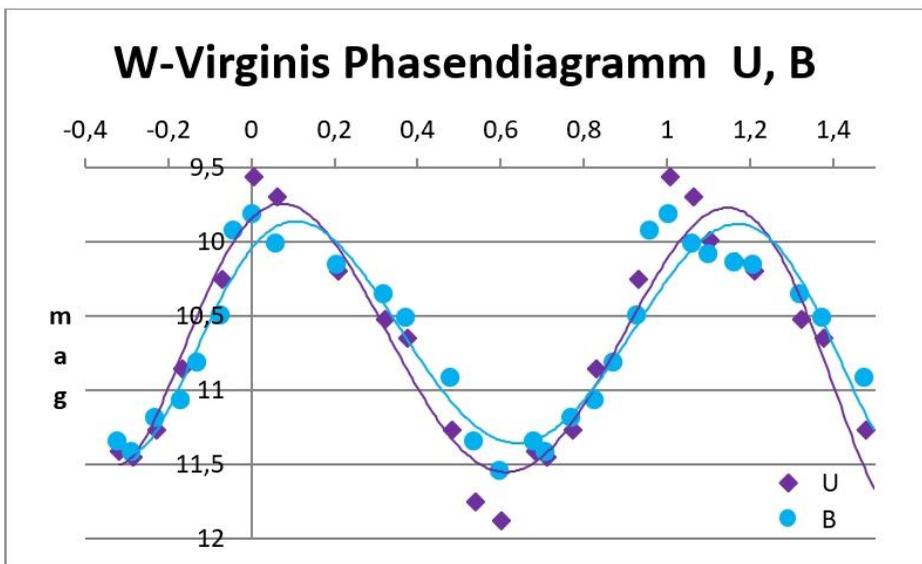


Abb. 3: W Virginis Phasendiagramm UB, zur besseren graphischen Darstellung wurden beide Filter mit einer Trendlinie versehen.

Einen Auszug aus dem Phasendiagramm von W Virginis für die Filter U und B zeigt Abbildung 3. Sehr deutlich ist der U-Excess sichtbar, erfasst wurde der Beginn ab der Phase 0,83 bis zum Abklingen bei Phase 0,11. Die Helligkeitsunterschiede des Farbindex von U-B bis zu -0,33 überschreiten deutlich die festgestellte Toleranz aus der Fehlerberechnung, so dass davon ausgegangen werden kann, dass der von John R. Percy beschriebene U-Excess mit den eigenen Beobachtungen nachvollzogen werden konnte.

Das zeitliche Auftreten während der Phase ist in guter Übereinstimmung mit den zuvor beschriebenen Erscheinungen, die aus dem Auftreten einer Schockwelle resultieren, welche ihrerseits ihren Ursprung in der Pulsation des Sterns hat.

Können hieraus Rückschlüsse auf das Verhalten von V509 Cas gezogen werden? Die Wahrscheinlichkeit, dass der beobachtbare U-Excess Teil der Pulsation des Sterns ist, scheint deutlich höher zu sein als die Möglichkeit, den unbekanntes B-Stern als Begleiter abgebildet zu haben. Die periodische Entwicklung der U-Helligkeit in Abbildung 1 mit einem langgezogenen Anstieg zu einem ersten Nebenmaximum, welches noch unter der B-Helligkeit liegt, rasch gefolgt von dem Hauptmaximum, spricht durchaus dafür.

Weiterhin ist die bei W Virginis beschriebene Schockwelle mit den verbundenen spektralen Merkmalen auch bei den YHG's nicht unbekannt, in diesem Zusammenhang erscheint auch hier der U-Excess als Folge der Pulsation durchaus wahrscheinlich. Eine wissenschaftlich fundierte Aufklärung der physikalischen Zusammenhänge und der Klärung der Frage zum möglichen Begleitstern von V509 Cas bleibt an dieser Stelle jedoch der Profiastronomie vorbehalten.

Die weitere langfristige Beobachtung von V509 Cas ist geplant, zukünftige Daten werden hoffentlich mehr Sicherheit für die gezogenen Rückschlüsse bringen. Und nicht zuletzt ist V509 Cas ein Beobachtungsobjekt, das trotz seiner derzeit recht ruhigen Phase ein Kandidat ist, bei dem sich in naher oder ferner Zukunft ein heftiger Ausbruch mit ungewissem Ausgang ereignen kann.

Martin Sblewski, m8neptun@t-online.de