

RS Ophiuchi - eine wiederkehrende Nova und ihr schnelles Verschwinden

Matthias Kolb und Wolfgang Vollmann

Abstract: *The outbreak of the recurrent nova RS Oph generated immediately great interest among astronomers, both professional and amateurs. A lot of photometric and spectroscopic observations have been documented in databases like the AID of the AAVSO (visual and photometric) or ARAS (Spectra). The photometric data show a similar fast decline of the light curve compared to the last outbreak in 2006. Spectra show highly ionized atoms up to Fe X. This type symbiotic recurrent novae have a high mass white dwarf with high mass transfer from the donor red giant and could therefore be candidates for supernovae of type Ia.*

Wiederkehrende (Recurrent) Novae (RN) sind in der Milchstraße rar gesät, zumindest die, welche man bisher entdeckt hat. Sie lassen sich an zehn Fingern abzählen: CI Aql, VY Aqr, T CrB, RS Oph, T Pyx, U Sco, V1017 Sgr, RZ Leo, YY Dor und noch einige, die umstritten sind.

Dementsprechend groß war das Interesse der Profi- und Amateurastronomen, als am 8. August 2021 RS Ophiuchi erneut „ausbrach“. Innerhalb eines Tages stieg die sichtbare Helligkeit von Magnitude 11 auf 4,5 an, entsprechend einem Intensitätsanstieg der Strahlung im sichtbaren Licht um den Faktor 400. Aber es ging dann auch schnell wieder bergab: Nach drei Monaten war die Helligkeit wieder auf 11 abgefallen.

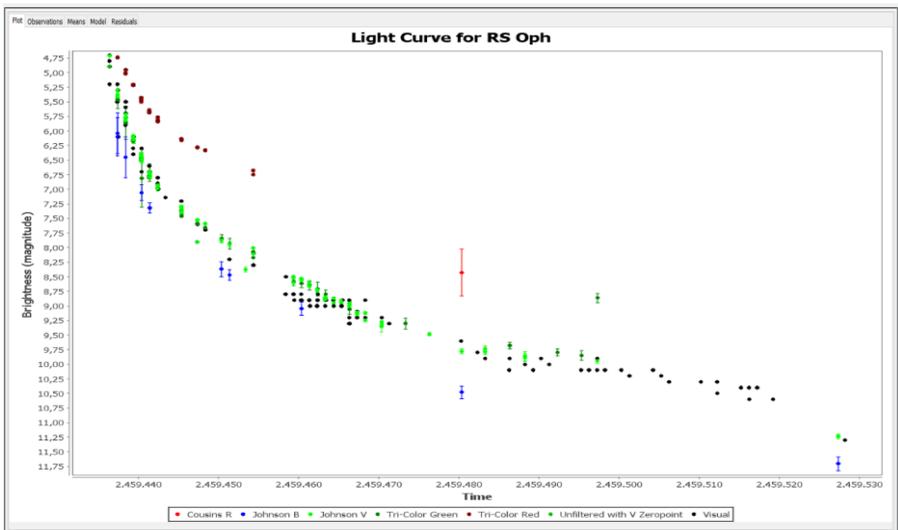


Abb. 1: Beobachterdaten der BAV-Mitglieder in der AAVSO-Datenbank (und einiger anderer Beobachter aus Deutschland bzw. Österreich)

RS Oph gehört zu den RN, von denen bereits relativ viele Ausbrüche (1898, 1933, 1958, 1967, 1985, 2006) dokumentiert wurden. Dennoch setzte natürlich sofort eine intensive Beobachtungstätigkeit ein, an der sich auch etliche Mitglieder der BAV, darunter die Autoren dieses Artikels, beteiligten. Abbildung 1 zeigt alle Meldungen, die von uns bekannten BAV-Mitgliedern an die internationale Datenbank der American Association of Variable Star Observers (AAVSO) gemeldet wurden. Abgesehen von dem ersten Anstieg, zu dem es glücklicherweise Beobachtungen eines chinesischen Astronomen gibt, ist das Maximum und der Abfall der Helligkeit durch BAV-Beobachter gut dokumentiert.

Aber auch die Spektroskopiker nutzten die Gelegenheit, insbesondere die ARAS-Gruppe um Francois Teyszier gemeinsam mit dem professionellen Astronomen Steve Shore. Auf einige Ergebnisse gehen wir weiter unten ein.

Was sind nun RN im Gegensatz zu Klassischen (Classical) Novae (CN)? Oder sind alle Novae wiederkehrende Novae, wir haben sie nur noch nicht mindestens zwei Mal beobachtet? In der Tat spricht vieles dafür, dass die meisten Novae mehr als einmal ausbrechen, aber man geht von Zeitskalen von zehntausenden Jahren aus, nicht von einigen Jahrzehnten, wie wir sie bei den RN beobachten. Allen Novae ist gemein, dass sie aus einem System aus (mindestens) zwei Sternen bestehen: Einem Weißen Zwerg und einem größeren Stern, die gravitativ gebunden sind, also um ihren gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Dabei wird aus der Hülle des größeren Sterns Gas, bestehend aus überwiegend Wasserstoff und Helium, auf eine sogenannte Akkretionsscheibe, die den Weißen Zwerg umgibt und von dort aus auf die Oberfläche des Weißen Zwerges übertragen. Hier wird das Gas extrem komprimiert, da an der Oberfläche des Weißen Zwerges eine enorme Gravitation herrscht: Der Weiße Zwerg hat ja etwa die Masse der Sonne komprimiert auf das Volumen der Erde! Wenn immer mehr Gas auf den Weißen Zwerg gelangt, steigen Dichte und Temperatur auf dessen Oberfläche immer weiter an, bis die resultierende Temperatur hoch genug ist, um eine thermonukleare Reaktion auszulösen: Die Protonen des Wasserstoffes verbinden sich zu Helium und dabei wird enorme Energie frei, analog der Energiegewinnung im Kern der Sterne. Die Hülle aus dem Wasserstoff, teilweise vermischt mit Atomen aus dem Oberflächenbereich des Weißen Zwerges wird abgestoßen und das führt dann zu dem, was wir als Eruption der Nova sehen. Die Prozesse sind im Detail natürlich sehr kompliziert und hängen von verschiedenen Parametern ab. Entsprechend vielfältig können die Lichtkurven und Spektren von Novae auch aussehen und wären einen eigenen Artikel Wert (siehe z.B. Strophe, 2010 oder Della Valle, 2020).

Bei den wiederkehrenden Novae ist das im Prinzip auch so, aber die Masse des Weißen Zwerges und die Massenübertragungsrate vom Partnerstern sind größer als bei Klassischen Novae. Durch die größere Masse des Weißen Zwerges (etwa 1-1,3 Sonnenmassen) ist die Gravitation auf der Oberfläche besonders hoch und es bedarf weniger Gas vom Partner, um die nukleare Zündtemperatur zu erreichen. Wenn dann auch noch die Massenübertragungsrate hoch ist, wird der Abstand zwischen zwei Ausbrüchen besonders klein, eben mindestens zweimal pro hundert Jahre, denn so ist eine RN definiert.

Einige RN haben noch eine Besonderheit: Der Partnerstern ist ein roter Riesenstern! Dessen Hülle ist weit ausgedehnt und ein stetiger Sternwind weht auf den Weißen Zwerg zu. Daher spricht man auch von symbiotischen wiederkehrenden Novae. RS

Oph aber auch T CrB gehören zu dieser Klasse. Sind nun RN wirklich so selten? Vermutlich nicht, aber die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist deutlich geringer (Della Valle, 2020; Pagnotta, 2014). Schätzungen gehen davon aus, dass immerhin 10-30% aller Novae wiederkehrend sind. Wir müssen wohl Geduld haben, um weitere zu identifizieren.

Lichtkurven

In wie weit unterscheiden sich die Lichtkurven zweier Ausbrüche denn nun? Im Maximum waren die Ausbrüche mit ca. 4.5-5 mag nahezu gleich. Um den zeitlichen Verlauf zu vergleichen, sind in Abbildung 2 die photometrischen Messungen im V-Band, das im grünen Bereich des sichtbaren Lichtes liegt und daher der visuellen Beobachtungen am nächsten kommt, für die Ausbrüche 2006 und 2021 übereinandergelegt und zwar jeweils mit dem Tage des Maximums und dem Wert als gemeinsamer Nullpunkt. Die Daten stammen aus der Datenbank der AAVSO und stellen Tagesmittel aller dort eingegebenen Messwerte dar. Der Abfall ist im ersten Monat nahezu identisch: Die Helligkeit nimmt rasch ab, nach etwa 6 Tagen ist sie schon um 2 Magnituden gesunken, nach 14 Tagen um 3 Magnituden. Im weiteren Verlauf war der aktuelle Ausbruch etwas schneller als der letzte. Die Schulter bzw. das Plateau um den Bereich 50-70 Tage nach Maximum war 2006 deutlich stärker ausgeprägt.

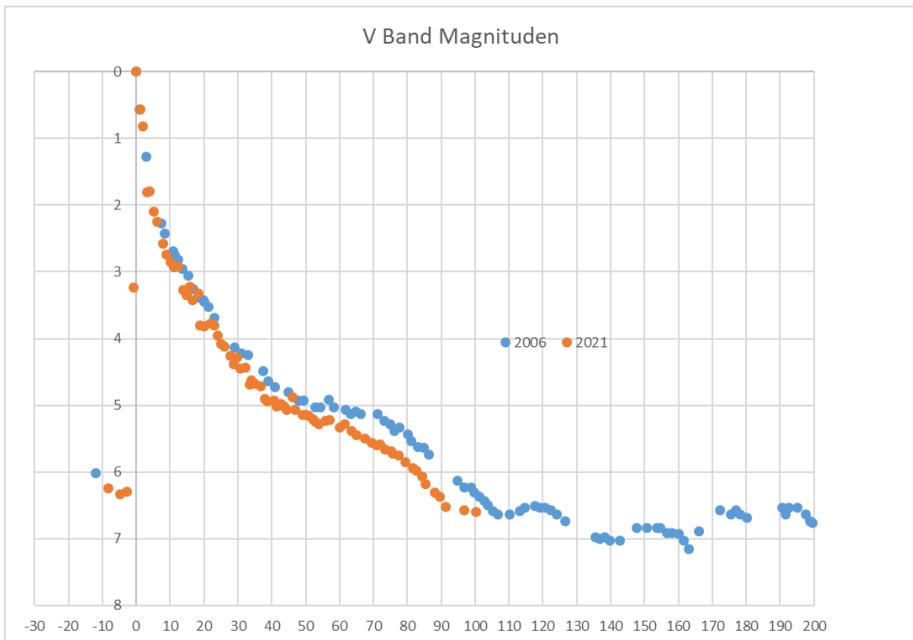


Abb. 2: V-Band-Lichtkurven der beiden Ausbrüche 2006 und 2021 im Vergleich

Nach einer Theorie von Kato und Hachisu, zwei der führenden Nova-Forscher, kommt die Lichtkurve aus verschiedenen Bereichen des Nova-Systems: Der Abfall nach dem Maximum stellt eine sogenannte „free free emission“ dar, also eine Strahlung, die aus einer optisch dünnen Schicht des ausgestoßenen Materials außerhalb der eigentlichen Photosphäre stammt. Die Photonen des Plateaus hingegen kommen aus der optisch dicken Akkretionsscheibe, sind also „thermal“ mit einem Spektrum vergleichbar einer Schwarzkörperstrahlung, wie sie auch bei Sternen selbst auftritt. Die Akkretionsscheibe ist bei RS Oph besonders groß, da der Abstand der beiden Sterne groß ist (> 1 AE Astronomische Einheit). Das sieht man am einfachsten an der Umlaufzeit von 453.6 Tagen.

Wie sieht es denn in anderen Wellenlängenbereichen aus? Im blauen Band (Johnson B) ist die Helligkeit schwächer, im roten und infraroten (Cousins I) stärker als im Johnson V-Band. Das ist normal bei Novae aller Art. Die Frage ist aber, ob sich die Unterschiede, also z.B. das B-V-Verhältnis signifikant im Laufe der Abklingkurve ändern? Abbildung 3 zeigt, dass B-V leicht linear steigt und V-I durch ein kleines Minimum geht. Die zeitlichen Unterschiede sind aber in beiden Fällen nicht beträchtlich.

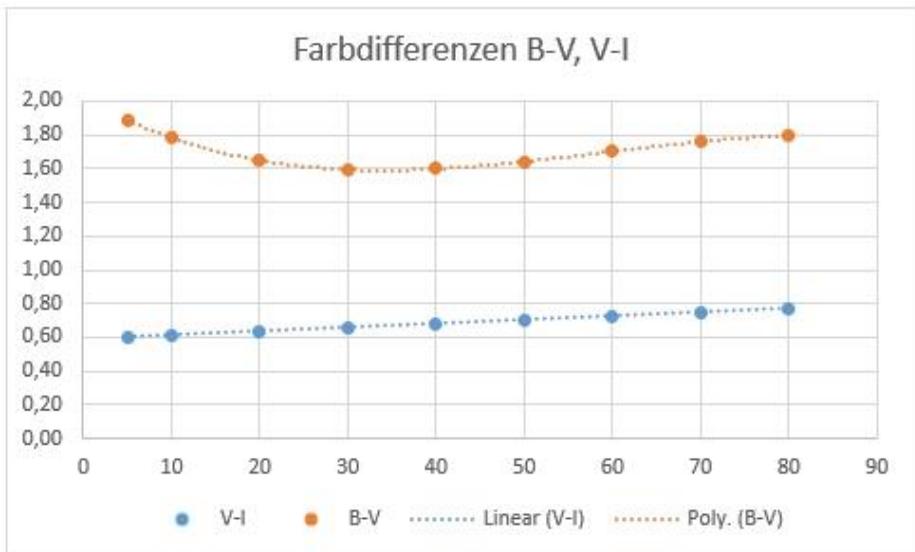


Abb. 3: Farbdifferenzen der Tagesmittelwerte nach dem Maximum der Lichtkurve in mag

Natürlich ist der optische und Nahinfrarotbereich nur ein kleiner Ausschnitt des elektromagnetischen Spektrums. Und tatsächlich kommt es bei vielen Novae, und speziell auch bei RS Oph, zusätzlich zu einer sog. „Supersoft X Ray“ Emission, also einer Röntgenstrahlung mit einer Energie kleiner 1 keV. Diese Strahlung tritt erst auf,

wenn die optische Aktivität schon deutlich abgeklungen ist, im Falle von RS Oph war es Anfang September. (ATel #14894).

Spektroskopie

Viele Amateur-Spektroskopiker haben RS Oph beobachtet und in der ARAS-Datenbank alleine sind derzeit 464 Spektren. Im September hat Francois Tessier zusammen mit dem professionellen Astronom Steven Shore einen Workshop durchgeführt (siehe Link), auf dem die Ergebnisse der ersten Tage diskutiert wurden (siehe auch Shore et.al., ATel #14868). Einer der wichtigsten Befunde: Es kommt zu einer Art Zusammenrall der vom Weißen Zwerg ausgestoßenen Materiewolke mit dem Sternwind des Roten Riesen (Begleitstern). In diesem Bereich bildet sich eine Ionisationsfront hoher Temperatur. Entsprechend finden sich in den Spektren zahlreiche hochionisierte Elemente wie z.B. He II oder O VI (fünf-fach ionisierter Sauerstoff). Im September zeigten sich Fe X und Ne V Linien (ATel #14895). Um dies einordnen zu können: Fe ist neun-fach ionisiertes Eisen. Alleine die Ionisierungsenergie für das letzte der neun Elektronen beträgt 233.6 eV, verglichen mit 13.6 eV für die Ionisierung von neutralen Wasserstoffatomen (H I) oder 54,4 eV für die Ionisierung von bereits einfach-ionisiertem He II.

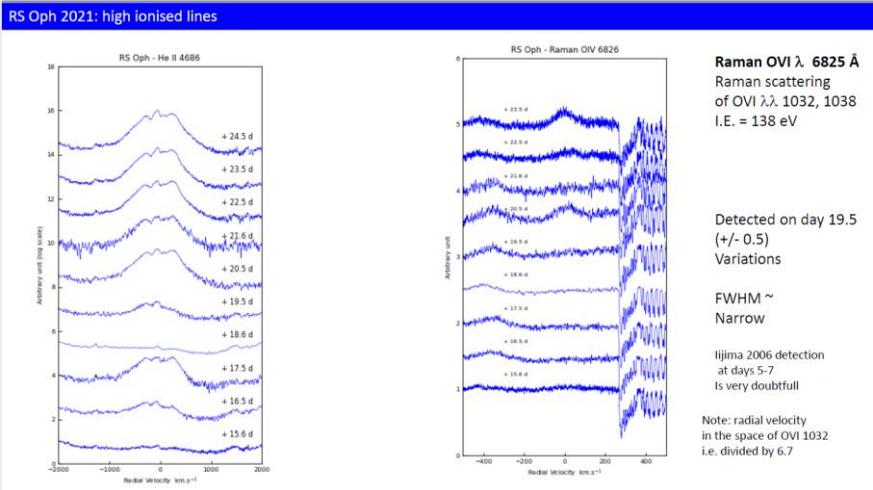


Abb. 4: Emission hoch ionisierter Atome – aus Workshop Tessier

Besonders auffällig ist aber auch das Linienprofil der Ha-Emission, dass aus einer Überlagerung einer breiten Emission mit einer sehr schmalen Emission mit P-Cygni-Profil, also blauverschobener Absorption, besteht (Abbildung 4, Kasten rechts). Die Quelle der jeweiligen Emissionen und Absorption sind dabei

- die vom Weißen Zwerg ausgestoßene Materiewolke (breite Emission)
- der Bereich der Ionisationsfront (scharfe Emission)
- der Bereich jenseits der Front in Richtung zum Roten Riesen (schwache Absorption, blauverschoben zum Beobachter).

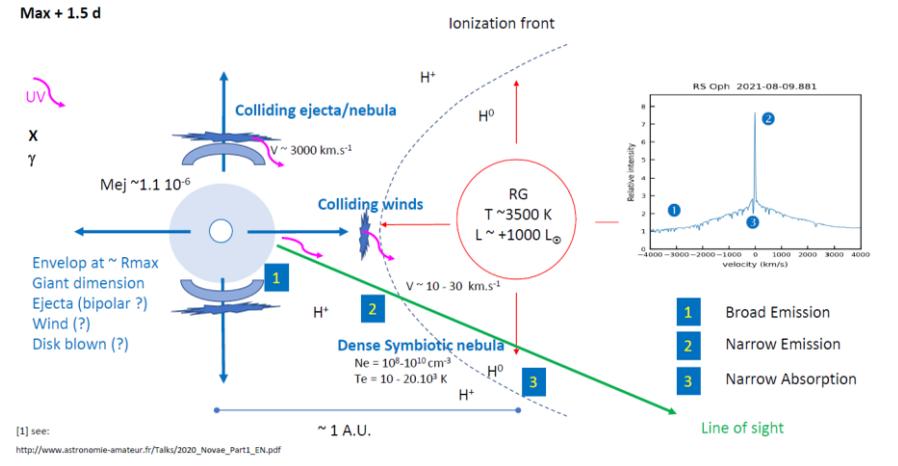


Abb. 5: H-Emission und Schema des Novaausbruchs – aus Workshop Tessier

Ausblick:

Müssen wir jetzt wieder 15-30 Jahre warten, um eine RN beobachten zu können? Vielleicht nicht, denn T Coronae Borealis könnte in den nächsten Jahren „fällig“ sein. Darauf deuten bereits jetzt Veränderungen in der Lichtkurve hin, die dem letzten Ausbruch auch vorangingen (Schaefer, 2019). Und dann wird es hell. Bei den letzten beiden Ausbrüchen (1866, 1946) lag die sichtbare Helligkeit bei etwa 3, und damit war T CrB nur eine Magnitude dunkler als Gemma (alpha CrB), dem Juwel in der Nördlichen Krone.

Könnte denn auch eine Supernova Ia entstehen, wenn die Masse des Weißen Zwerges durch den Massenzufluss die Chandrasekhar-Grenze überschreitet? Das ist ein Szenario für die Entstehung solcher Supernovae, aber es ist momentan nicht mehr favorisiert. Man geht davon aus, dass in den meisten Fällen zwei Weiße Zwerge dafür nötig sind. Aber auszuschließen ist es nicht und wenn, dann sind wahrscheinlich die symbiotischen RN am ehesten Kandidaten für solche Supernovae. Vielleicht wird es dann beim nächsten Mal richtig hell.

Danksagung:

Dank allen Beobachtern, deren Daten zu den Lichtkurven beigetragen haben, darunter aus Deutschland und Österreich die Beobachter (und zumeist BAV-Mitglieder) Gerold Holtkamp, Andreas Kammerer, Matthias Kolb, Wolfgang Kriebel, Jörg Neumann, Otmar Nickel, Hans-Georg Purucker, Peter Reinhard, Ralph Rogge, Ralf Schönfeld, Robin Schmidt, Matthias Schubert, Edwin Van Dijk, Frank Vohla, Wolfgang Vollmann, Klaus Wenzel. Sorry, falls jemand übersehen wurde.

We acknowledge with thanks the variable star observations from the AAVSO *International Database* contributed by observers worldwide and used in this research.

Kafka, S., 2021, Observations from the AAVSO International Database, <https://www.aavso.org>

Francois Teyssier für die Auswertung der Spektren der ARAS Datenbank in der Internet-Publikation:

„RS Oph 2021 – The 25 first days off he nova event“ unter <http://www.astronomie-amateur.fr/Documents%20Novae/RSOph-2021.pdf> .

Ein Workshop der Fa. Shelyak Instruments TV, in dem diese Präsentation vorgestellt wurde, findet man unter <https://www.youtube.com/watch?v=7Z4GRxoKFRI>

Literatur:

M. Della Valle, L. Izzo, Observations of galactic and extragalactic novae. *Astron Astrophys Rev* 28, 3 (2020). <https://doi.org/10.1007/s00159-020-0124-6>

U. Munari, P. Valisa, P. Ochner, <https://www.astronomerstelegam.org/?read=14895>

K.L. Page (2021), <https://www.astronomerstelegam.org/?read=14894>

A. Pagnotta and B.E. Schaefer 2014 *ApJ* 788 164

B.E. Schaefer, American Astronomical Society Meeting #234, id. 122.07. *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 51, No. 4

S. Shore et. al (2021), <https://www.astronomerstelegam.org/?read=14868>

R. J. Strobe, B. E. Schaefer, A. A. Henden, 2010, *The Astronomical Journal*, 140:34-62