

# V1405 Cas Nova 2021

### Über die Natur einer Multimaxima-Nova.

**Abstract** *CONTEXT:* Die am 18.03.2021 ausgebrochene Nova V1405 Cas zeigte eine fast zwei Monate lange Praemaximumsphase. Nach dem Hauptmaximum schwächte sich die Nova monatelang nur wenig ab und zeigte dabei deutliche Helligkeitsschwankungen.

*AIMS:* Ziel der Arbeit ist, den Zusammenhang zwischen Helligkeit und Halbwertsbreite (FWHM) und Äquivalentbreite (EW) der H $\alpha$ -Emissionslinie zu untersuchen, und hieraus auf mögliche Ursachen für das unnormale Verhalten der Nova zu schließen.

*METHODS:* Es wurden Helligkeiten und Spektren aus Online-Datenbanken verwendet, die H $_{\alpha}$ -Linie der Spektren vermessen und 2-Tage-Normalwerte gebildet, um eine zeitliche Vergleichbarkeit herzustellen.

*Results:* Nach dem Hauptmaximum traten im untersuchten Zeitraum von J. D. 2459 292 bis 2459 305 im Abstand von 2–5 Wochen Sekundärmaxima mit unterschiedlicher Ausprägung auf. Die Maxima der Äquivalentbreite lagen zeitlich um 6–14 Tage nach den jeweiligen Helligkeitsmaxima. Möglicherweise handelt es sich um nachträgliche schwächere Ausbrüche der Nova oder um andere Mechanismen, die zur Erhöhung der Dichte in der Hülle führen.

Eine ausführliche Behandlung des Themas Novae finden Sie im dreibändigen Werk >Astronomie in Theorie und Praxis<, 9. Auflage (ISBN 978-3-948774-00-4).

Dr. Erik Wischnewski

Heinrich-Heine-Weg 13 • D-24568 Kaltenkirchen proab@t-online.de • http://www.astronomie-buch.de

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Alle Rechte vorbehalten. © Dr. Erik Wischnewski, Kaltenkirchen 2021

Version: 03.11.2021, 15:59:07

## 1. Einführung

### Kenndaten der Nova

Am 18. März 2021 um 10:10 UT entdeckte Yuri Nakamura die Nova Cassiopeiae 2021. Der Stern war bereits als enger Doppelstern und Bedeckungsveränderlicher vom Typ *W Ursae Majoris* (EW) unter folgenden Namen bekannt:

CzeV3217 UCAC4 756-077930 PNV J23244760 +66111140 Gaia EDR3 2015451512907540480

Die äquatorialen Koordinaten (J2000.0) lauten: Rektaszension =  $23^{h} 24^{m} 48^{s}$ Deklination =  $+61^{\circ} 11' 15''$ 

Die Entfernung beträgt d =  $1693 \frac{+74}{-67}$  pc [6].

Für den Lichtwechsel wird eine Periode von 0.1883907 Tage und eine Helligkeit V = 15.6 mag [1] bzw. bei kleinen Ausbrüchen 14.87–14.96 mag [7] angegeben. Die Umlaufzeit des Doppelsterns beträgt 0.376938 Tage [7].

Nach Ausbruch als Nova am 18.03.2021 (RJD 292.3)<sup>1</sup> erhielt der Stern die Bezeichnung V1405 Cas und wurde als langsame Nova (NB) eingestuft.

### Ziel der Untersuchung

Nachdem die Nova anfänglich als klassische He/N-Nova erschien [11], zeigte sie nicht den erwarteten Helligkeitsabfall. Stattdessen stieg die Helligkeit nach einigen Wochen erneut sehr stark an. Die Nova blieb auch danach für Monate hell und zudem stark variabel. Außerdem verwandelte sie sich in eine FeII-Nova.

Die letzte vom Autor näher untersuchte Nova war V339 Del (Nova 2013), die eine klassischen FeII-Nova gewesen ist und für die auch physikalische Modelle entwickelt werden konnten. Völlig anders ist es bei dieser Nova. Anhand der Helligkeitsmessungen sowie der Halbwertsbreite und Äquivalentbreite der H $\alpha$ -Linie soll versucht werden, Erklärungsansätze zu finden.

## 2. Daten

Wegen der großen Helligkeit, dem auffälligen Verhalten der Lichtkurve und der Nähe zum offenen Sternhaufen Messier 52, der sich nur 0.4° nördlich der Nova befindet, wurde der Stern von Amateurastronomen sehr häufig photometriert und spektroskopiert. Am 18.10.2021 konnten 48 630 Helligkeitsangaben aus der AAVSO International Database (AID) heruntergeladen werden.

Anzahl Beobachtungen				
Band	insgesamt	verwendet		
visuell	3147			
CV	32405	32298		
CR	3			
U	5			
В	1209	1107		
V	5161	4877		
R	1165	1130		
1	1139	1075		
ТВ	701	614		
TG	3307	633		
TR	388	385		

Tabelle 1

Anzahl der heruntergeladenen und davon verwendeten Daten aus der Gesamtheit von 48630 Datensätze. *Quelle: AAVSO International Database, 18.10.2021*.

In die Auswertung sollten nur die UBVRI-Helligkeiten gelangen. Wegen zu geringer Anzahl konnte U aber nicht berücksichtigt werden. Als Ergänzung zu BVR wurden auch die ähnlichen Farben TB, TG und TR der RGB-Kanäle einer Digitalkamera mit Bayer-Matrix (Tricolor) verwendet und mit den BVR-Helligkeiten nach Johnson-Kron-Cousins verglichen. Wenn in dieser Arbeit von den Helligkeiten R und I die Sprache ist, so sind  $R_C$  und  $I_C$ des Kron-Cousins-Systems gemeint. Die CV-Helligkeiten wurden nur zwecks Vergleich mit den V-Helligkeiten geladen, aber nicht für die Auswertung der Nova verwendet.

Nach Überprüfung der Zuverlässigkeit der Daten wurden nur die in der dritten Spalte der Tabelle 1 genannte Anzahl von Messungen in die Auswertung einbezogen. Die deutlich geringere Anzahl der verwendeten Messungen bei TG erklärt sich unter anderem dadurch, dass Beobachter teilweise als Fehler nur 1–2 mmag angegeben haben. Da das selbst unter günstigsten Bedingungen der Datenreduktion als sehr unwahrscheinlich angesehen werden muss, wurde diesen Werten nicht getraut. Die individuelle Überprüfung eines Beobachters ergab, dass dessen Werte anfangs zwar im Hauptfeld lagen, später aber um eine halbe Größenklasse heller ausfielen (→ Abbildung 3). Das bekräftigt das Misstrauen bezüglich der Brauchbarkeit, sodass nur etwa 20 % der TG verwendet wurden.

Es wurden nur V- und CV-Helligkeiten betrachtet, deren Fehler unter 0.05 mag liegen. Für alle anderen Farbbänder wurde als Fehlergrenze 0.1 mag verwendet.

Für die Vermessung der H $\alpha$ -Emissionslinie wurden 71 Spektren verwendet:

Anzahl Spektren		
Quelle	Anzahl	
AVSPEC (AAVSO)	57	
BAA	8	
ARAS	6	

Tabelle 2Anzahl der verwendeten Spektrender AAVSO, BAA und ARAS.

<sup>1</sup> Zur Vereinfachung und besseren Lesbarkeit werden das Julianische Datum J. D. als revidiertes J. D. (RJD) geschrieben, wobei gilt: RJD = J.D. – 2459000

## 3. Methoden

Um einerseits die verschiedenen Farbbänder miteinander vergleichen und Farbindizes bilden zu können, wurden Normalwerte gebildet. Hierfür wurden alle Daten innerhalb eines fortschreitenden 2-Tages-Intervalls gemittelt. Das erste Intervall umfasst die Messungen von RJD 292.0–294.0 und wird dem Datum RJD 293.0 zugeordnet. Das nächste Intervall umfasst dann RJD 294.0–296.0 usw. Gleichzeitig wird dadurch die Lichtkurve geglättet.

In dieser Arbeit wurden insgesamt 71 Spektren mit einer spektralen Auflösung von R $\geq$ 500 ausgewertet. Davon haben 26 eine Auflösung von R $\geq$ 15000. Gemessen wurde die Äquivalentbreite (EW) und die Halbwertsbreite (FWHM) der H $\alpha$ -Emissionslinie. Weitere Spektren zwischen R $\geq$ 200 und R $\leq$ 500 waren aus verschiedenen Gründen unbrauchbar.

## 4. Ergebnisse

### Voruntersuchung der Helligkeiten

**Differenzen** | Abbildung 4 bis Abbildung 6 zeigen die Differenzen der Standardhelligkeiten B, V und R zu den Tricolor-Helligkeiten TB, TG und TR und Abbildung 7 enthält die Differenz V–CV. Weitere Hinweise zu den Vergleichen sind im Anhang gegeben.

**Farbindizes** | Abbildung 8 bis Abbildung 13 zeigen die Farbindizes der Standardhelligkeiten. Hinweise sind ebenfalls im Anhang gegeben. Die Diagramme zeigen keine Besonderheiten oder systematische Verläufe, mit Ausnahme der Farbindizes (B–R) und (V–R), die zum Zeitpunkt des ersten Maximum der H $\alpha$ -Äquivalentbreite einen signifikanten Anstieg haben. Dieser ist bei den Farbindizes mit (V–I), (B–I) und (R–I) ansatzweise auch noch zu erkennen. Dies entspricht der Erwartung, da die H $\alpha$ -Linie im roten Band liegt.

Der Vollständigkeit halber wurden auch drei Farbindizes unter Hinzunahme der Tricolor-Helligkeiten visualisiert ( $\rightarrow$  Abbildung 14 bis Abbildung 16). In Abbildung 16 kristallisiert sich neben dem ersten Maximum auch das zweite Maximum bei RJD 437 deutlich heraus.

**Zustandsdiagramme** | Die drei Farbenhelligkeitsdiagramme in Abbildung 17 bis Abbildung 19 zeigen keine Auffälligkeiten und geben aus momentaner Sicht keine Information zur Physik der Nova. Gleiches gilt für das Zweifarbendiagramm in Abbildung 20.

### Lichtkurve

Kurz nach der Entdeckung erreichte die Nova ihr Praemaximum mit einer visuellen Helligkeit von 7.5 mag ( $\approx$  RJD 294). Im Zeitraum RJD 300–315 erreichte sie ein langgestrecktes Zwischenminimum, das um 8.0 mag herum schwankte. In dieser Zeitspanne wechselte das Spektrum der Nova von einer He/N-Nova zu einer FeII-Nova.

Das visuelle Helligkeitsmaximum war mit V = 5.2 mag am 10/11.05.2021 (RJD 345.5 $\pm$ 0.5), und somit 53.2 Tage nach Ausbruch der Nova.

Maxima von V		
Maximum (RJD)	mag	
11.05.2021 (346)	5.3	
07.06.2021 (373)	6.9	
17.06.2021 (383)	6.9	
29.06.2021 (395)	6.8	
27.07.2021 (423)	6.0	
09.09.2021 (467)	6.6	
21.09.2021 (479)	6.6	

Tabelle 3	Maxima der V-Helligkeit, in Klammern angegeben is		
	das RJD bezogen auf J. D. 2459 000. In der Spalte >mag<		
	steht die ungefähre Helligkeit in Größenklassen.		
	Anm.: Wegen der Glättung weicht das Maximums-		
	datum um etwa 0.1 mag vom berechneten Regres-		
	sionswert ab.		

Im Gegensatz zu einer klassischen Nova, bei der das Hauptmaximum ca. 2–3 Tage nach dem Praemaximum auftritt, dauerte es bei der Nova Cas 2021 fast zwei Monate ( $\approx$  52 Tage).

### Ha-Emissionslinie

**Halbwertsbreite** | Die Halbwertsbreite (FWHM) der Hα-Emissionslinie in Abbildung 23 wurde durchgängig im Intervall 6510–6616 Å gemessen. Die Messungen der hoch aufgelösten Spektren liegen im allgemeinen Streufeld aller Messungen. Neben lokalen Schwankungen, die insbesondere zwei Maxima um RJD 357 und RJD 437 aufweisen, besitzt der gesamte Verlauf einen zunehmenden Trend, das heißt, die Expansionsgeschwindigkeit nimmt im Mittel über Monate hinweg zu. Diese Tatsache ist bemerkenswert, weshalb hierauf an späterer Stelle noch näher eingegangen wird.

**Äquivalentbreite** | Besonders deutlich treten in Abbildung 24 zwei Maxima bei der Äquivalentbreite der Emissionslinie von H $\alpha$  auf. Eine Übersicht aller Minima und Maxima gibt Tabelle 4.

Extremwerte von EW <sub>Ha</sub>				
Minimum	Maximum	EW [Å]		
10.05.2021 (345)		30		
	22.05.2021 (357)	1 700		
05.06.2021 (371)		350		
	13.06.2021 (379)	940		
18.06.2021 (384)		480		
	24.06.2021 (390)	870		
02.07.2021 (398)		350		
	09.07.2021 (405)	870		
20.07.2021 (416)		210		
	10.08.2021 (437)	2150		
18.09.2021 (476)		70		

Tabelle 4Minima und Maxima der Äquivalentbreite der Hα-<br/>Emissionslinie, in Klammern angegeben ist das RJD<br/>bezogen auf J. D. 2459 000.

**Instrinsischer Linienfluss** | Abbildung 25 zeigt den intrinsischen H $\alpha$ -Linienfluss, berechnet anhand der visuellen Helligkeiten V als

$$\frac{-EW_{H\alpha}}{10^{0.4\cdot V}}.$$

Das Minuszeichen soll lediglich das negative Vorzeichen der Äquivalentbreite bei Emissionslinien kompensieren.

Intrinsisch bedeutet in diesem Falle, dass der Linienfluss von Schwankungen der Kontinuumsstrahlung befreit (bereinigt) wurde, wobei das Kontinuum durch die photometrische Helligkeit V nur näherungsweise repräsentiert wird.

Auch im intrinsischen Linienfluss spiegeln sich die beiden Maxima wider, wenngleich schwächer als bei der Äquivalentbreite. Zusätzlich wurde die R-Helligkeit zur Repräsentation des Kontinuums verwendet, bei der die Maxima sogar noch deutlicher ausgebildet sind. Das ist zu erwarten, da die R-Helligkeit die H $\alpha$ -Linien einschließt.

#### Parameter des Sterns

**Extinktion** | Für die interstellare Absorption  $A_V$  wird die Beziehung

 $A_V = 3.2 \cdot E_{B-V}$ 

verwendet. Mit  $E_{B-V}$  = 0.55 mag [12] ergibt sich als interstellare Absorption A<sub>V</sub> = 1.76 mag.

Eine Überschlagsrechnung mit einer mittleren Extinktion in der Sonnenumgebung von 1.0 mag/kpc ergibt in guter Übereinstimmung  $A_V = 1.7$  mag.

Absolute Helligkeit | Das Entfernungsmodul errechnet sich aus

$$m-M=5\cdot \lg d-5+A_V$$

zum Zeitpunkt des Maximums (m = 5.2 mag) und der Entfernung (d = 1690 pc) zu m-M = 12.90 mag, entsprechend einer absoluten Helligkeit von  $M_V = -7.7$  mag.

**Leuchtkraft** | Die Abschätzung der Leuchtkraft L erfolgt unter der Annahme, dass die bolometrische Korrektur  $BC_V$  der Nova jener der Sonne annähernd gleich ist, über die absolute visuelle Helligkeit M<sub>V</sub>. Aus

$$\left(\frac{L}{L_{\odot}}\right) = 10^{0.4 \cdot (M_{V,\odot} - M_V)}$$

ergibt sich mit  $M_{V,\odot} = 4.8$  mag eine maximale Leuchtkraft der Nova von L  $\approx 90\,000$  L<sub> $\odot$ </sub> ( $\rightarrow$  Abbildung 26).

**Radius** | Der Radius lässt sich aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz ableiten:

$$\frac{L}{L_{\odot}} = \left(\frac{R}{R_{\odot}}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_{\odot}}\right)^4$$

Mit einer photosphärischen Hüllentemperatur der Nova von T = 9000 K [16] und der effektiven Temperatur der Sonne von T<sub>o</sub> =5778 K errechnet sich ein Radius im Maximum von R ≈ 125 R<sub>o</sub> (→ Abbildung 27).

Abstand des Doppelsterns | Aus der Kepler-Beziehung

$$\left(\frac{a}{AU}\right)^3 = \left(\frac{M_1 + M_2}{M_{\odot}}\right) \cdot \left(\frac{U}{year}\right)^2$$

ergibt sich mit U = 0.377 d  $\approx$  0.001 Jahre [7] und den angenommenen Massen M<sub>1</sub> = 1 M<sub>☉</sub> und M<sub>2</sub> = 2 M<sub>☉</sub> eine große Halbachse von a = 0.0147 AE  $\approx$  3.2 R<sub>☉</sub>. Die Novahülle umfasst demzufolge das gesamte Binärsystem.

### 5. Diskussion

Am 03.04.2021 (RJD 308) zeigte die Nova noch ein Heliumspektrum, am 19.04.2021 (RJD 324) drängten sich bereits deutlich die Eisenlinien in den Vordergrund [13]. Demzufolge muss die anfängliche He/N-Nova im Zeitraum 05.–20.04.2021 (RJD 310–325) zu einer FeII-Nova mutiert sein. Das ist genau das breite Minimum zwischen Praemaximum und Maximum der Helligkeit (→ Abbildung 21). Es scheint einen Zusammenhang zwischen Helligkeitsverlauf und Änderung des Nova-Typs zu geben. Am 08.05.2021 entsprach das Spektrum im Helligkeitsmaximum einer lehrbuchmäßigen FeII-Nova [14].

Hochionisierte Emissionslinien in den Spektren weisen darauf hin, dass sich die Photosphäre der Nova nicht ausreichend ausgedehnt hat, um sich selbst abzukühlen [11].

Das Spektrum sieht dem der Nova V339 Del sehr ähnlich. Das vollständige Fehlen verbotener metallischer Emissionslinien legt nahe, dass die Dichte des Auswurfs selbst 15 Wochen nach Ausbruchs und 55 Tage nach maximaler Helligkeit (um RJD 400) hoch genug ist, um diese Linien zu unterbinden [15].

Nach einem ersten Ausbruch mit einem Helligkeitsanstieg von ≈8.1 mag (=Praemaximum) folgten zunächst ein zweiter mit einem weiteren Helligkeitsanstieg um  $\approx$  2.3 mag (= Hauptmaximum) und danach weitere schwächere Anstiege.

Bei genauer Betrachtung der zeitlichen Entwicklung der Helligkeit einerseits und der Äquivalentbreite andererseits zeigt sich, dass die EW-Maxima 6–14 Tage nach den jeweiligen Helligkeitsmaxima auftraten.

Als Ursache sind mehrere Mechanismen denkbar, die nach Meinung des Autor aber alle eine Erhöhung der Materiedichte der Hülle zur Folge haben müssen. Ob diese durch eruptive Ausbrüche oder auf sanftere Art erfolgt sind, lässt sich aus diesen Daten noch nicht ableiten.

Wie im Absatz >Instrinsischer Linienfluss< dargestellt, kann eine Zunahme der Äquivalentbreite auch durch eine Zunahme der Kontinuumstrahlung bedingt sein. Das zeitnahe Ansteigen der V-Helligkeit und der Äquivalentbreite EW deuten genau auf diesen Sachverhalt hin. Der instrinsische Linienfluss ist nur bedingt kontinuumskorrigiert, wie Abbildung 25 zeigt, wo die drei Maxima weiterhin vorhanden sind.

Die in [11] und [15] erwähnten hohen Materiedichten der Photosphäre (Hülle) erklären sich durch die zusätzlichen mehr oder weniger starken Materienachschübe, die sowohl in der Lichtkurve als auch bei der Äquivalentbreite festzustellen sind.

**Expansionsgeschwindigkeit** | Bei einer klassischen Nova wird die Materie des Ausbruchs durch den Strahlungsdruck beschleunigt. Dennoch beobachtet man eine mit der Zeit abnehmende Expansionsgeschwindigkeit, weil sich diese auf die Photosphäre bezieht. Die Photosphäre aber wandert im Laufe der Zeit nach innen, weil die Hülle wegen des fehlenden Materienachschubs immer dünner wird. Dadurch blicken wir in immer tiefere Schichten der Hülle, die noch nicht so stark beschleunigt wurde [10].

Bei der Nova Cas 2021 beobachtet man aber in den ersten 7 Monaten eine stetig zunehmende (mittlere) Expansionsgeschwindigkeit. das ist nur zu erklären, wenn die gesamte Zeit über stetig Materie nachgeliefert wird. Dies geschieht offenbar nicht kontinuierlich, sondern in Schüben, wie die Maxima in der Helligkeit und dem Linienfluss zeigen.

## 6. Schlussfolgerung

V1405 Cas präsentierte sich anfangs im Praemaximum als He/N-Nova und mutierte dann während der Praemaximumsphase zu einer klassischen FeII-Nova.

Diese normalerweise nur wenige Tage dauernde Praemaximumsphase hielt mehr als sieben Wochen an. Detaillierte Spektraluntersuchungen werden notwendig sein, um den genauen Prozess während dieser Zeit zu verstehen. Nach dem Hauptmaximum blieb die Nova über Monate nicht nur relativ hell, sondern zeigte regelmäßig im Abstand von 2–5 Wochen ausbruchsartige Sekundärmaxima. Diese Maxima traten zuerst im visuellen Kontinuum auf und 1–2 Wochen später in der H $\alpha$ -Äquivalentbreite. Der Autor hält es für möglich, dass hierfür ein ähnlicher Prozess verantwortlich ist wie für die langanhaltende Praemaximumsphase. Es besteht noch ein Erklärungsbedarf für die zeitliche Verzögerung zwischen Kontinuums- und Linienmaximum.

Da der Novaausbruch durch die akkretierte Materie vom Begleiter (Donator) bedingt ist, ist es nicht ganz auszuschließen, dass die Ursache für das spezielle Verhalten dieser Nova in diesem Akkretionsfluss liegt. Bei einer wiederkehrenden Nova vom Typ NR dauert es bis zum nächsten Ausbruch 10–10000 Jahre, hier sind es nur wenige Wochen. Es muss also einen entscheidenden Unterschied zwischen beiden Wiederanregungsmechanismen geben, oder es ist ganz einfach ein völlig anderer Prozess.

In dieser Untersuchung wurden nun erstmals die Lichtkurve und der Linienfluss miteinander verglichen und die Nova als quasi Multimaxima-Nova beschrieben. Darauf aufbauend müssen nun wie schon beschrieben weitere Daten gesammelt werden.

### Danksagungen

This research made use of the SIMBAD database and of the VizieR catalogue access tool, operated at CDS, Strasbourg, France, and the International Variable Star Index (VSX) database, operated at AAVSO, Cambridge, Massachusetts, USA.

The auther acknowledge with thanks the variable star observations from the AAVSO International Database contributed by observers worldwide and used in this research [2].

The auther acknowledge further with thanks the spectra from the AAVSO Database AVSPEC [3], ARAS Spectal Database [4] and BAA Spectroscopy Database [5] contributed by Hugh Allen, Mariusz Bayer, Christophe Boussin, David Boyd, John Briol, Erik Bryssinck, Mario Clemens, Scott Donnell, James Foster, Joan Guarro Fló, Peter Somogyi and Tim Stone, and used in this research.

The auther would like to thank Tom Fields for providing and supporting the RSpec software [8].

### Literatur

- [1] International Variable Star Index (VSX), operated at AAVSO: www.aavso.org/vsx
- [2] AAVSO International Database (AID): www.aavso.org/data-download
- [3] AAVSO Database of Spectra (AVSPEC): app.aavso.org/avspec/search
- [4] ARAS Spectral Database: articles.adsabs.harvard.edu/pdf/2019CoSka..49..217, www.astrosurf.com/aras/Aras\_DataBase/DataBase.htm
- [5] BAA Spectroscopy Database: *britastro.org/specdb/index.php*
- [6] Bailer-Jones, Coryn et al.: *Abschätzen von Entfernungen von Parallaxen. V: Geometrische und photogeometrische Entfernungen zu 1.47 Milliarden Sternen in Gaia Early Data Release 3.* Astronomical Journal 161 (2021), 147. *gaia.ari.uni-heidelberg.de/tap.html*
- [7] CzeV, The Czech Variable Star Catalogue: var2.astro.cz/czev.php
- [8] Fields, Tom: Software RSpec, www.rspec-astro.com
- [9] Wischnewski, Erik: Astronomical Bulletin No. 22, www.astronomie-buch.de
- [10] Hachisu, Izumi and Mariko Kato: The UBV Color Evolution of Classical Novae. arXiv:1401.7113v1 (2014)
- [11] Taguchi, Kenta et al.: ATel #14472, 19.03.2021
- [12] Munari, Ulisse et al.: ATel #14476, 19.03.2021
- [13] Shore, Steven N. et al.: ATel #14577, 26.04.2021
- [14] Munari, Ulisse et al.: ATel #14614, 08.05.2021
- [15] Gehrz, Robert D. et al.: ATel #14794, 17.07.2021
- [16] Friedjung, M. and Hilmar W. Duerbeck: Models of Classical Recurrent Novae. NASSP (1993), 371-412

## Anhang

Der Anhang enthält alle Diagramme und Abbildungen, die im Text erwähnt werden.



Abbildung 1 Umgebungskarte mit M 52 vom 29.09.2013. Der Vorläufer der Nova ist markiert (roter Pfeil). Der blaue Rahmen gibt den ungefähren Ausschnitt von Abbildung 2 an.

### Umgebungskarte

Die unmittelbare Nähe zu Messier 52 und die relativen hellen Sterne im Umfeld erlauben ein schnelles Auffinden der Nova.



**Abbildung 2** Teil der Spektralaufnahme mit deutlich erkennbarer Nova (roter Pfeil).

### Plausibilitätsprüfung

Die Beobachtungen wurden einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, bevor sie zur Auswertung verwender wurden.





### Vergleich Tricolor- zu den Standardhelligkeiten

Da die Daten der Bänder TB, TG und TR einer Tricolor-Digitalkamera mit Bayer-Matrix typischerweise von den Beobachtern nicht auf das Standardsystem nach Johnson-Kron-Cousins kalibriert werden, ist zu prüfen gewesen, wie sich diese Werte relativ zu den Standardhelligkeiten B, V und R verhalten. Betrachtet werden die Differenzen.

Für die weiteren Auswertungen werden die Standard- und Tricolor-Helligkeiten gemeinsam verwendet und als

- B' = [B, TB]V' = [V, TG]
- $\mathbf{V} = [\mathbf{V}, \mathbf{TG}]$  $\mathbf{R}' = [\mathbf{R}, \mathbf{TR}]$

bezeichnet.



Abbildung 4 Differenz der Johnson-Helligkeit B zur Tricolor-Helligkeit TB. Auffallend ist, dass die TB-Helligkeiten überwiegend heller sind als die B-Helligkeiten, und zudem stark streuen.



Abbildung 5 Differenz der Johnson-Helligkeit V zur Tricolor-Helligkeit TG (G = Grün). Die TG-Helligkeiten liegen auf gleichem Niveau wie die V-Helligkeiten, allerdings mit deutlicher Streuung.





Differenz der Johnson-Kron-Cousins-Helligkeit R ( $R_c$ ) zur Tricolor-Helligkeit TR. Auffallend ist, dass die TR-Helligkeiten überwiegend dunkler sind als die  $R_c$ -Helligkeiten, und außerdem deutlich streuen.

### Vergleich V zu CV

Monochromatische CCD-Astrokameras, die lediglich einen UV/IR-Sperrfilter verwenden, nehmen den gesamten Spektralbereich von Blau bis Rot auf (als *clear* bezeichnet). Werden für die Referenzsterne die V-Helligkeiten verwendet, so werden diese Helligkeit als CV bezeichnet. Ein Vergleich mit Helligkeiten, die auch mit einem Johnson-V-Filter aufgenommen wurden, zeigt eine deutliche Abweichung mit großer Streuung. Aus diesem Grunde wurden die CV-Werte nicht verwendet.



Abbildung 7 Differenz der Johnson-Helligkeit V zur ungefilterten Helligkeit CV. Die CV-Helligkeiten sind überweigend heller als die V-Helligkeiten, und streuen zudem sehr stark.

#### Farbindizes der Standardhelligkeiten

Neben der Lichtkurve in einem bestimmten Farbband sind auch die Lichtkurven der Farbindizes, also der Differenz zweier Farbbänder, interessant. Eine physikalische Interpretation ist im Falle der Nova noch nicht möglich, einzig bei den Farbindizes B–R und V–R spiegelt sich das erste Maximum der Äquivalentbreite der H $\alpha$ -Linie wider.



Abbildung 8 Farbindex B–V der Normalwerte über 2 Tage.



Abbildung 9 Farbindex B–R der Normalwerte über 2 Tage.



Abbildung 10 Farbindex B–I der Normalwerte über 2 Tage.



Abbildung 11 Farbindex V–R der Normalwerte über 2 Tage.



Abbildung 12 Farbindex V–I der Normalwerte über 2 Tage.



Abbildung 13 Farbindex R–I der Normalwerte über 2 Tage.

#### Farbindizes der kombinierten Helligkeiten

Die Einbeziehung der Tricolor-Messungen in die Bildung der Normalwerte reduzierte die Streuung der Farbindizes geringfügig.



**Abbildung 14** Farbindex (B'–V') der Normalwerte über 2 Tage unter Einbeziehung der TB- und TG-Werte.



**Abbildung 15** Farbindex (B'–R') der Normalwerte über 2 Tage unter Einbeziehung der TB- und TR-Werte.



**Abbildung 16** Farbindex (V'–R') der Normalwerte über 2 Tage unter Einbeziehung der TG- und TR-Werte.

#### Zustandsdiagramme

Die drei nachfolgenden Farbenhelligkeitsdiagramme und das Zweifarbendiagramm zeigen keine besonderen Auffälligkeit, die es lohnen würde, erwähnt zu werden.



Abbildung 17 Visuelle Helligkeit V' gegen den Farbindex (B'–V').



Abbildung 18 Visuelle Helligkeit V' gegen den Farbindex (V'-R').



Abbildung 19 Rothelligkeit R' gegen den Farbindex (V'–R').



**Abbildung 20** Zweifarbendiagramm der Farbindizes (V'–R') und (B'-V').

### Lichtkurve, Ha-Linie, Leuchtkraft und Radius

Die Erörterung der nachfolgenden Diagramme erfolgt im Hauptteil der Arbeit.



#### Abbildung 21

Einzelbeobachtungen der ersten zwei Monaten in den Bändern V (grün) und TG (blau).

#### Abbildung 22

Lichtkurven der 2-Tage-Normalwerte in den drei Farbbereichen Blau, Grün und Rot, jeweils unter Verwendung der Standardhelligkeiten B, V und R sowie der Tricolor-Helligkeiten TB, TG und TR (= B', V', R').



#### Abbildung 23

Halbwerts breite (FWHM) der H<sub> $\alpha$ </sub>-Linie, angegeben als Geschwindigkeit in km/s. Die blauen Punkte kennzeichnen Spektren mit R = 500 – 1500, die roten Punkte repräsentieren Spektren mit R  $\geq$  15 000. Die Expansionsgeschwindigkeit nimmt im Mittel stetig zu, überlagert von temporären Schwankungen.



Äquivalentbreite (EW) der H<sub>a</sub>-Linie, jeweils ein (gemittelter) Wert pro 2-Tages-Intervall, angegeben in Ångström. Die blauen Punkte kennzeichnen Spektren mit R = 500−1500, die roten Punkte repräsentieren Spektren mit R ≥ 15000. Für die violette Kurve wurden jeweils zwei Punkte gemittelt.



#### Abbildung 25

Intrinsischer Linienfluss der H<sub> $\alpha$ </sub>-Linie, jeweils ein (gemittelter) Wert pro 2-Tages-Intervall, unter Verwendung der Helligkeiten V'' (grün) und R' (rot).

1600

800

400

0

290

310

330

350

370

390

410

430

450

470

490

-Ångström



**Abbildung 26** Leuchtkraft in Einheiten der Sonnenleuchtkraft.

#### Abbildung 27

Radius der Photosphäre der Hülle in Einheiten der Sonnenradius.