

Ein Kontaktsystem im Sternbild Monoceros

Entdeckung und Charakterisierung des Variablen USNO-A2.0 0825-02657246



Vera Oberhauser, Dominik Moser und Lisa Niederbrunner

der Astrogruppe des Sprachen- und Realgymnasiums Bruneck

2018

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	3
2 Einleitung	4
3 Entdeckungsgeschichte	5
4 Zielsetzung des Projektes	5
5 Beobachtungen und Logbuch	6
6 Kalibration	10
7 Differentielle Photometrie und Lichtkurven	11
7.1 Photometriesoftware ‘Muniwin’	12
7.2 Julianisches Datum	13
7.3 Heliozentrische Korrektur	13
8 Astrometrische Lösung	14
9 Periode, Amplitude, Phasenplot und Ephemeride	15
10 “All-Sky”-Photometrie	18
11 Art der Variabilität und Modellierung von USNO-A2.0 0825-02657246	19
12 Meldung an die AAVSO	23
13 Ausblick	23
14 Persönliches	24
15 Danksagung	24
16 Abbildungsverzeichnis	25
17 Quellenverzeichnis	25
18 Tabellenverzeichnis	25
19 Anhang	26
Anhang 1 - E-Mails	26
Anhang 2 - Abend im Observatorium	29
Anhang 3: Kalibrationsaufnahmen	32

1 Abstract

We report about the discovery of the variability of the star USNO-A2.0 0825-02657246 in the constellation Monoceros on February 16th, 2017 in the observatory of the „Sprachen- und Realgymnasium Nikolaus Cusanus“, Bruneck, South Tyrol, Italy. The USNO-A2.0 catalogue defines the coordinates 06 33 07.418 -00 02 05.25 (J2000) and a brightness of $R = 14.3$ mag and $B = 15.1$ for this entry.

In December 2017 and January 2018 we observed the star from different observatories at different sites and with different setups and got 26 partial lightcurves. These have been analyzed using the phase dispersion minimization method. Based on the resulting phase plot we classify the star to be an extrinsic variable of type W UMa with a period of 9.266 h and equal brightness dips of approximately 0.7 mag, both for unfiltered and for SDSS-r'-filtered observations. A linear ephemeris of

$$T_{\min} = 2458091.5142 + 0.3859 E$$

has been derived from the data.

We have performed all-sky photometry using the iTelescope.net remote telescope network. We found colour indices of $B-V = 0.84$ mag and $V-R = 0.59$ mag which indicate an orange color. In collaboration with the Italian amateur astronomer Franco Lorenzo we used this information along with interstellar dust reddening information for the determination of basic physical parameters and the construction of a model of the binary star.

On the evening of January 29th 2018, the discovery of the star has been published by a team of three astronomers from Ohio State University (US) at the Association of American Variable Star Observers (AAVSO), just one day prior to our own submission. Their results fully confirm our findings regarding period, amplitude and

variability type. Our phase plot has been submitted to the AAVSO¹ in order to expand the data basis and has been accepted by the moderator on January 30th 2018.

2 Einleitung

Die Astronomiegruppe des Sprachen- und Realgymnasiums "Nikolaus Cusanus" in Bruneck wurde im Jahr 2006 gegründet, als der Lehrer für Physik und Mathematik Christof Wiedemair mit einer 15 Mann starken Gruppe interessierter Schüler zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis vom 29.03.2006 in die Türkei fuhr. Im Herbst 2007 erhielt die Gruppe eine CCD-Kamera vom Typ SBIG ST-8XME, mit Hilfe derer sie auf dem Dach unsere Schule mit dem bereits vorhandenen zehnzölligen Spiegelteleskop das erste Projekt begann: Die Ermittlung der Lichtgeschwindigkeit mit einer astronomischen Methode. Aufgrund der ausufernden Lichtverschmutzung im Brunecker Talkessel war die Gruppe jedoch bald gezwungen, sich nach alternativen Standorten umzusehen. Schließlich fand sich ein geeigneter, dunkler Platz auf 1600 m Meereshöhe im Oberen Pustertal. Um das Teleskop dauerhaft und geschützt zu montieren, wurde ein Unterstand mit einem auf Rollen verschiebbaren Dach errichtet und 2012 in Betrieb genommen. Seit Inbetriebnahme werden in jedem Schuljahr etwa 20 Beobachtungsnächte durch wechselnde Schülergruppen absolviert. Visuelle Beobachtung ist hierbei die Ausnahme, zumeist werden wissenschaftliche Messungen (Photometrie, Spektroskopie, Astrometrie) durchgeführt.

Die Mitarbeit der SchülerInnen in der Astrogruppe erfolgt auf freiwilliger Basis. Obwohl die Mitglieder ständig wechseln, liegt deren Anzahl konstant bei etwa zehn Schülern bzw. Schülerinnen. Diese arbeiten zumeist an verschiedenen Projektschwerpunkten, wobei NeueinsteigerInnen von den bereits erfahren Gruppenmitgliedern lernen. Es wird regelmäßig über die verschiedenen Projekte auf der Website der Astrogruppe (www.astrocusanus.org) sowie auf YouTube (www.youtube.com/user/AstroCusanus) und seit Herbst 2017 auch in einem Blog (www.astrocusanus.blogspot.com) berichtet. Die Autoren dieses Berichtes sind zum

¹ AAVSO: American Association of Variable Star Observers

Zeitpunkt der Abgabe seit vier Monaten (Vera Oberhauser, Dominik Moser) bzw. etwa 15 Monaten (Lisa Niederbrunner) Mitglieder der Astrogruppe.

3 Entdeckungsgeschichte

In der ersten Nachthälfte des 16.02.2017 vermaß die Astrogruppe die Helligkeitsänderungen des Sterns CoRoT-18, um den vorhergesagten Vorübergang eines Planeten, eines sog. "Exoplanetentransits", photometrisch zu registrieren. Die resultierenden Bilder wurden allerdings erst Monate später ausgewertet. Der Datensatz wurde im Zuge der Analyse routinemäßig auf variable Sterne und bewegte Objekte überprüft – mit Erfolg. Der Stern mit der Bezeichnung USNO-A2.0 0825-02657246, welcher sich im aufgenommenen Feld befand, zeigte einen deutlichen und systematischen Helligkeitsabfall. Eine erste schnelle Recherche in diversen Katalogen ergab, dass der Stern bislang noch nicht als variabel klassifiziert war. Da das Sternbild erst im späten Herbst wieder sichtbar gewesen wäre, war eine Überprüfung des Fundes kurzfristig nicht möglich. So wurde beschlossen, die genauere Prüfung des Falles sowie die Meldung an die wissenschaftliche Fachwelt auf den Winter zu verschieben.

Im Herbst haben wir, die Autoren dieses Berichts, auf Anregung des Leiters der Astrogruppe Christof Wiedemair, dieses Projekt übernommen. Zuerst wurde ausgiebig recherchiert, ob die Variabilität des Sterns schon bekannt war. Hierbei kamen astronomische Datenbanken wie Simbad (simbad.u-strasbg.fr/simbad/) und VizieR (vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR) zum Einsatz. Nur der Wise-Satellit (<http://wise.ssl.berkeley.edu/mission.html>) stufte den Stern in seinem Wise All-Sky Data Release als möglicherweise variabel ein.

4 Zielsetzung des Projektes

Ziel unseres Projektes ist es, möglichst viel über den von uns als variabel eingestuften Stern USNO-A2.0 0825-02657246 zu erfahren. Wir versuchen zu klären, wie groß seine Periodendauer und die Amplitude der Helligkeitsänderung sind und möchten daraus schlussfolgern, um welche Art von variablem Stern es sich

handelt. Hierbei kann auch die Bestimmung der Farbindizes, U-B, B-V und V-R oder die Aufnahme eines Spektrums helfen. Sind diese Fragen geklärt, wollen wir sämtliche Informationen der American Association of Variable Star Observers (AAVSO) (www.aavso.org) melden. Dadurch würde der Stern in den International Variable Star Index (VSX) (www.aavso.org/vsx/) aufgenommen werden.

5 Beobachtungen und Logbuch

Die nachstehende Tabelle listet alle von uns durchgeführten Beobachtungen auf. Hierbei kamen neben unserem schuleigenen Teleskop auch über das Internet steuerbare Teleskope zum Einsatz.

Das "Faulkes Telescope Project" (<http://www.faulkes-telescope.com>) stellt in Zusammenarbeit mit Las Cumbres Observatory (LCO) ein Netzwerk von über das Internet steuerbaren Teleskopen für Lehrzwecke zur Verfügung. Das Cusanus-Gymnasium Bruneck hat einen Account bei diesem Netzwerk und bekommt Zeit an verschiedenen Teleskopen bereitgestellt. Zur Auswahl stehen dabei Teleskope mit 2 m, 1 m und 0,4 m Durchmesser. Für all unsere Messungen wurden kohärent immer Teleskope mit einem Durchmesser von 0,4 Metern gewählt (<https://lco.global/observatory/0.4m/>). Da man bei Faulkes nicht auswählen kann, welches spezifische Teleskop man benutzen möchte, sondern nur welchen Durchmesser es haben soll, kamen Teleskope in Chile, Südafrika, Texas und Hawaii zum Einsatz. Die Teleskope sind aber alle auf die gleiche Weise bestückt, und zwar mit einer CCD-Kamera vom Typ SBIG STX6303 mit 2.000 mal 3.000 Pixeln und einem Gesichtsfeld von 19 mal 29 Bogenminuten bzw. einem Abbildungsmaßstab von 1,142 Bogensekunden/Pixel bei Binning 2x2. Die Filterauswahl ist beschränkt und so kam ein SDSS-r'-Filter mit Durchlass im Roten zum Einsatz.

Das zweite Teleskopnetzwerk, welches verwendet wurde, ist der kommerzielle Anbieter "iTelescope.net" (<http://www.itelescope.net>). Unsere Schule hat dort ebenfalls einen Account und kann dort Beobachtungszeit an den verschiedenen Teleskopen erwerben. Für all unsere Beobachtungen wurde das Teleskop T5 in Mayhill, New Mexico verwendet (<http://www.itelescope.net/telescope-t5/>). Als Filter

wurde der mit der höchsten Durchlassbreite gewählt, um die Lichtausbeute und damit das Signal-zu-Rausch-Verhältnis zu maximieren. Dies war der Clear-Filter, ein SDSS-r' stand ohnehin nicht zur Verfügung. Das T5 hat eine CCD-Kamera vom Typ SBIG ST-10XME, 250 mm Öffnung, eine Brennweite von 850 mm, ein 40.4 mal 60 Bogenminuten großes Gesichtsfeld und einen Abbildungsmaßstab von 1,65 Bogensekunden/Pixel. Genutzt wurde Binning 1x1. Schlussendlich stellten sich die mit itelescope gesammelten Daten als wenig nützlich heraus, da die Photometriesoftware sie nur eingeschränkt verarbeiten konnte. Sie finden deshalb keinen weiteren Eingang in die Auswertung.

Natürlich haben wir versucht, so oft es nur ging, mit dem "hauseigenen" Teleskop der Schule zu beobachten, was allerdings durch das unbeständige Wetter im heurigen Winter erschwert wurde. Unsere Ausrüstung besteht dabei aus einer CCD-Kamera vom Typ SBIG ST-8XME an einem Meade LX200-Classic-Teleskop mit einer 10" (=250 mm) Öffnung, einer Brennweite von 2777 mm, einem 17 x 11.3 Bogenminuten großen Gesichtsfeld und einem Abbildungsmaßstab von 1,34 Bogensekunden/Pixel bei 2x2 Binning. Für diese Aufnahmen wurde kein Filter verwendet, sodass Licht vom UV bis ins IR registriert wurde.

Nachstehend das Beobachtungslogbuch in chronologischer Reihung. Die erste Zeile steht für die Entdeckungsnacht des 16.02.2017.

Datum (UT)	Zeit (UT)	Teleskopnetzwerk/ Observatorium	Anzahl Frames	Ort
2017-02-16	18:21 - 21:51	Schulobservatorium ENTDECKUNG	79	Pustertal
2017-11-18	02:50 - 3:55	iTelescope T5	10	New Mexiko (USA)
2017-12-03	02:50 - 04:00	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	12	Chile
2017-12-03	21:43 - 00:14	Schulobservatorium	31	Pustertal
2017-12-06	22:06 - 00:49	Schulobservatorium	33	Pustertal

2017-12-07	04:10 - 07:20	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	29	Chile
2017-12-10	06:48 - 08:20	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	20	Chile
2017-12-10	07:50 - 11:00	iTelescope T5	29	New Mexiko (USA)
2017-12-11	08:25 - 10:30	iTelescope T5	22	New Mexiko (USA)
2017-12-12	08:48 - 12:30	iTelescope T5	37	New Mexiko (USA)
2017-12-13	20:44 - 21:04	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	5	Chile
2017-12-14	05:45 - 07:55	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	11	Chile
2017-12-14	14:15 - 16:44	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	44	Chile
2017-12-14	20:25 - 22:45	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	28	Südafrika
2017-12-18	03:50 - 9:10	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	59	Texas (USA)
2017-12-22	19:35 - 22:00	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	30	Südafrika
2017-12-23	19:50 - 23:10	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	40	Südafrika
2017-12-25	20:20 - 21:10	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	12	Chile
2017-12-26	02:55 - 06:15	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	40	Chile
2017-12-28	19:40 - 23:00	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	40	Südafrika
2017-12-31	03:13 - 06:44	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	40	Texas (USA)
2018-01-03	19:21 - 22:51	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	40	Südafrika
2018-01-09	20:03 - 23:34	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	42	Südafrika

2018-01-13	07:54 - 11:26	Faulkes (Instrument: 0.4 meter SBIG)	38	Hawaii (USA)
2018-01-13	19:35 - 23:40	Schulobservatorium	48	Pustertal
2018-01-23	19:23 - 23:47	Schulobservatorium	52	Pustertal
2018-01-27	17:52 - 23:42	Schulobservatorium	68	Pustertal

Tabelle 1: Beobachtungslogbuch

Unabhängig vom verwendeten Teleskop dauerte jede Belichtung fünf Minuten. Hinzu kommen Kalibrationsaufnahmen. In Summe wurden somit mehr als 929 Bilder mit einer Gesamtbelichtungszeit von mehr als 77 h 25 min gesammelt, davon ein Viertel im Pustertal.

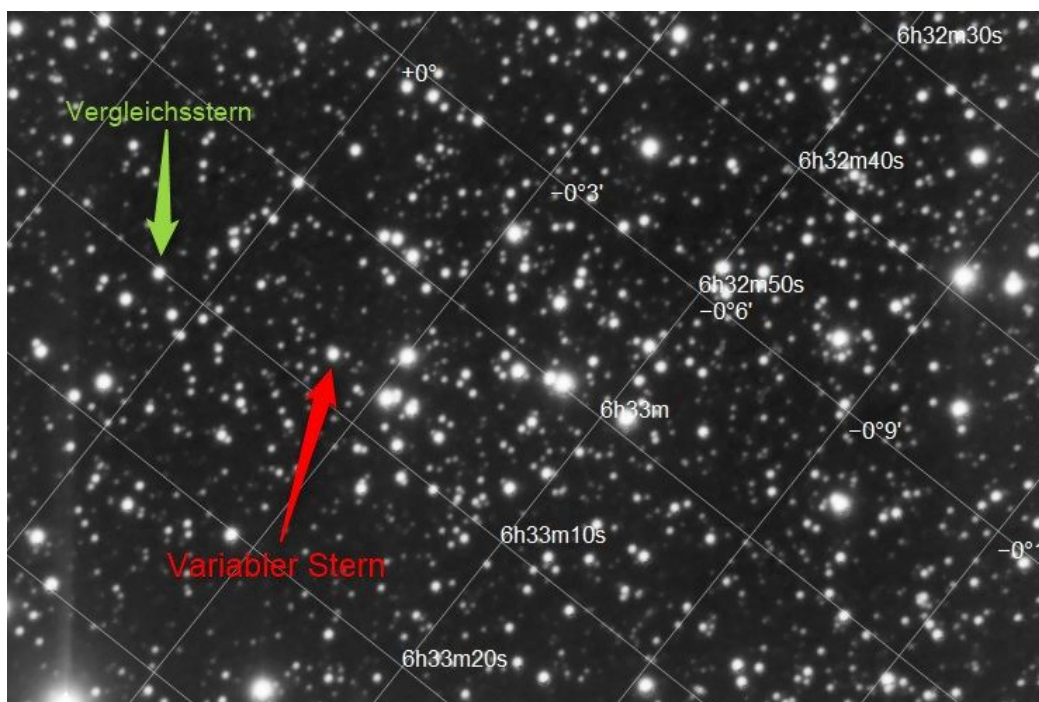


Abb. 1: Himmelsausschnitt, in dem unser Variabler sowie der benutzte Vergleichssterne zu finden sind. Summe von 50 Einzelbildern zu je fünf Minuten Belichtungszeit, aufgenommen im Schulobservatorium in der Nacht vom 23.01.18.

6 Kalibration

Die Aufnahmen, in denen Sternenlicht vorhanden ist, werden Lights genannt. Bevor diese für photometrische Zwecke ausgewertet werden können, müssen sie kalibriert werden. Man wendet die Dark- und die Flatkorrektur an.

Darks sind Kalibrationsaufnahmen, bei deren Gewinnung der Verschluss der Kamera geschlossen gehalten wird. Um das Rauschen zu reduzieren, werden viele solche Aufnahmen angefertigt, zu einem sogenannten "Masterdark" gemittelt und dann von den sog. "Lights" subtrahiert. Das Ziel von Darks ist es, jegliches Signal, welches nicht vom Himmel auf den Chip gelangt, zu eliminieren. Hierzu gehören in erster Linie das Rauschen, welches auf die Elektronik des Teleskopes zurückgeht, sowie die sog. "Hot Pixel", also Pixel, welche auch ohne äußeren Einfluss immer viel Signal tragen. Um diese Störsignale korrekt zu eliminieren, müssen Darks dieselbe Belichtungszeit wie Lights aufweisen.

Flats dienen dazu, Unterschiede in der Pixelempfindlichkeit des Aufnahmechips auszugleichen. Die Ursache hierfür muss nicht nur herstellungsbedingt sein. Die meisten Teleskope verteilen das Licht nicht gleichmäßig auf dem Sensor (Vignettierung), außerdem können durch Staubpartikel auf dem Chip Abschattungseffekte auftreten, welche sich in sog. "Dust Donuts" äußern. Für die diese Effekte korrigierenden Flatfield-Aufnahmen nimmt man Bilder von einer gleichmäßig hellen Fläche auf. Dies kann der Dämmerungshimmel oder auch eine selbstleuchtende Elektroluminiszenzfolie sein. Flats werden ebenso wie Darks in größerer Anzahl angefertigt, werden selbst Darkkorrigiert und im Anschluss zu einem Masterflat gemittelt. Im Anschluss werden alle Lights durch dieses Masterflat dividiert.

Beispiele für von uns angefertigte Kalibrationsaufnahmen finden sich im Anhang.

7 Differentielle Photometrie und Lichtkurven

Um die charakteristischen Maßzahlen und infolgedessen die Natur der Variabilität unseres Sterns näher zu ergründen, haben wir photometrische Messungen durchgeführt. Bei der Photometrie werden digitale Bilder mit Hilfe einer an der Teleskopoptik angeschlossenen CCD-Kamera aufgenommen und anhand dieser die eintreffende Lichtmenge (griechisch 'phos') des Sterns gemessen (griechisch 'metrein'). Die Helligkeit des Sterns ist hierbei proportional zum Signal in den Pixeln des Aufnahmechips und wird immer im Vergleich zur Helligkeit eines anderen Sterns gemessen, man spricht von differentieller Photometrie. "Differentiell" heißt also, dass lediglich relative Helligkeitsunterschiede zu einem im Sternenfeld gewählten Vergleichsstern gemessen werden. Dieses Vorgehen hat einen entscheidenden Vorteil: Ändert sich die Helligkeit des betrachteten Sterns aufgrund von externen Faktoren, wie z.B. Wolken, Taubeschlag der Optik, Turbulenzen in der Atmosphäre (Seeing) usw., so wirkt sich dies zwar auf den tatsächlich eintreffenden Lichtfluss aus, nicht jedoch auf die Differenzhelligkeit.

Bei der Wahl des Vergleichssterns gilt, dass er selbst nicht variabel sein darf. Wäre dies der Fall, würde sich der Nullpunkt der relativen Helligkeitsskala ständig verändern. Somit wüsste man nicht, welchem der beiden Sterne die Variabilität zuzuschreiben ist. Außerdem darf der Vergleichsstern keine zu große oder zu kleine Helligkeit besitzen. Bei einer zu großen Helligkeit wird der sog. "lineare Bereich" des Kamerachips verlassen, in dem die eintreffende Lichtmenge proportional zum gespeicherten Signal ist. Bei Signalstärken von über 2^{16} 'Counts' kommt es sogar zum Überlaufen der Pixel im Kamerachip, dem sogenannten "Blooming".

Bei einer zu geringen Helligkeit des Vergleichssterns hingegen beeinträchtigt das Poisson-Rauschen die Qualität der Helligkeitsmessungen unnötig stark (wie beim Fotografieren mit einer herkömmlichen Digitalkamera bei Nacht).

Zusätzlich sollte darauf geachtet werden, dass sich der Vergleichssterne nicht zu weit vom zu vermessenden Stern entfernt befindet, damit sich atmosphärische Störeinflüsse auf beide Sterne im selben Maße auswirken und sich somit aufheben.

7.1 Photometriesoftware 'Muniwin'

Sind alle Lights kalibriert, werden sie in Muniwin (<http://c-munipack.sourceforge.net>) ausgewertet. Muniwin ist ein freies Programm, mit welchem man differentielle Aperturphotometrie betreiben kann. Die Apertur ist hierbei ein gedachter Kreis, welcher subpixelgenau um den Helligkeitsschwerpunkt eines Sterns gelegt wird und dessen gesamten Lichtfluss erfassen soll. Die Pixelwerte innerhalb der Apertur werden summiert und dienen als Maßzahl für die Helligkeit des Sterns. Um den unerwünschten Beitrag des Himmelshintergrundes zum Fluss in der Apertur zu berücksichtigen, wird um die innere Apertur ein Kreisring gelegt. Innerhalb dieses Ringes wird der mittlere Himmelshintergrundfluss durch Medianbildung bestimmt und flächenanteilmäßig vom Fluss in der Apertur abgezogen.

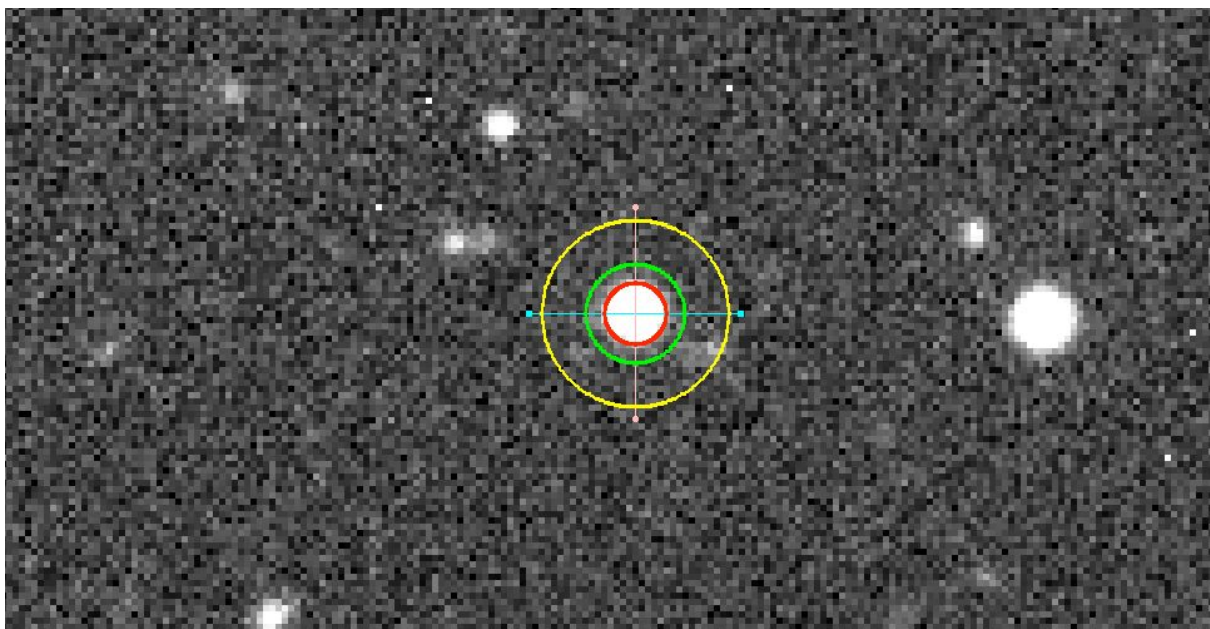


Abb. 2: Ein Beispiel für die Bestimmung eines Sternenflusses mittels innerer Apertur (rot) und äußeren Himmelsringes (grün-gelb). Screenshot aus "Aperture photometry tool" APT (<http://www.aperturephotometry.org>).

Wie eingangs in diesem Kapitel erwähnt, wird die Helligkeit des Sterns differentiell bestimmt. Nicht der himmelsbereinigte Fluss in der Apertur wird als Maß für die Helligkeit verwendet, sondern ein Flussverhältnis, welches gemäß der Formel

$$\Delta m = -2,5 \log \left(\frac{F_{\text{Stern}}}{F_{\text{Vergleichssterne}}} \right) \quad (1)$$

in eine astronomische Magnitudendifferenz konvertiert wird.

Muniwin kann durch Photometrie von vielen aufeinanderfolgend aufgenommenen Lights eine Lichtkurve erstellen. Sie zeigt die Entwicklung der Magnitudendifferenz mit der Zeit. Die Messwerte können außerdem in eine Tabelle exportiert werden.

Weiters ist ein Tool zur Suche nach variablen Sternen in Muniwin implementiert, wodurch die Astrogruppe auf USNO-A2.0 0825-02657246 aufmerksam geworden war.

7.2 Julianisches Datum

Als Zeitangabe in Lichtkurven wird nicht die uns gebräuchliche Zeitzählung, sondern das sog. "Julianische Datum" (JD) verwendet. Diese Zeitzählung gibt die Tage an, die seit dem 1. Januar 1413 v. Chr. um 12:00 Uhr vergangen sind. Dadurch, dass es in dieser Zeitzählung keine Schaltjahre, unterschiedlich lange Monate usw. gibt, kann man Zeitdifferenzen viel einfacher berechnen. Das Julianische Datum des 31.01.2018 um 18:00 Uhr MEZ lautet beispielsweise 2458150,208333 d. [4]

7.3 Heliozentrische Korrektur

Durch die Drehung der Erde um die Sonne und durch den endlichen Wert der Vakuumlichtgeschwindigkeit sind die Beobachtungszeiten eines astronomischen Events jahreszeitlich abhängig. Steht die Erde auf ihrer Bahn einem variablen Stern nahe, so ist der Laufweg des Lichtes geringer und die Minima treten verfrüht auf. Steht sie dem Stern hingegen fern, so ergibt sich ein zusätzlicher Lichtweg und eine Verspätung der Minimazeitpunkte tritt auf. Der Effekt ist am größten, wenn das

beobachtete Himmelsobjekt in der Erdbahnebene, der Ekliptik, steht. Der Effekt verschwindet hingegen, wenn das Objekt an den Ekliptikpolen steht. Deshalb ist eine Korrektur notwendig, welche maximal $\frac{2R}{c} = 16,7$ min ausmachen kann. Der Beobachtungspunkt wird dabei virtuell durch eine Zeitkorrektur in die Sonne gelegt (helios= Sonne). Muniwin kann diese heliozentrische Korrektur durch Angabe der Koordinaten des beobachteten Himmelsobjektes berechnen und anwenden. Man wechselt vom Julianischen Datum (JD) zum heliozentrischen Julianischen Datum (HJD). [1]

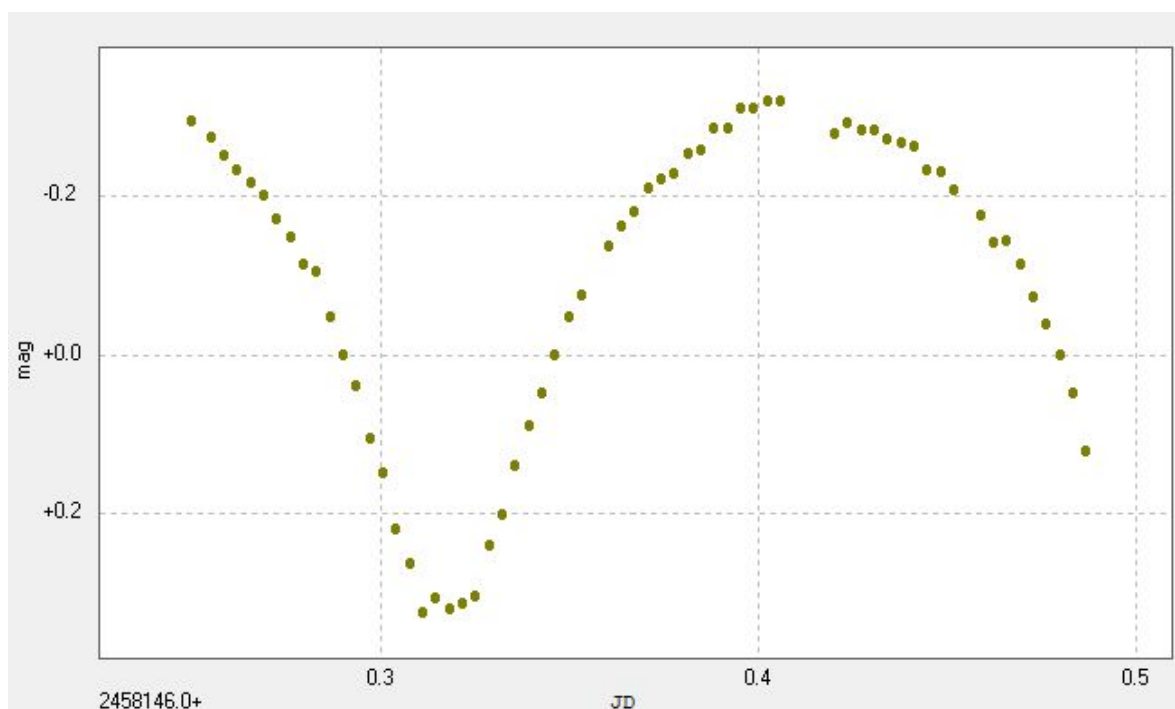


Abb. 3: Lichtkurve (Helligkeit in Magnituden vs. Heliozentrisches Julianisches Datum) von USNO-A2.0 0825-02657246, erstellt aus den Daten des 27. Januar 2017, gewonnen am Schulobservatorium.

8 Astrometrische Lösung

Das Wort Astrometrie setzt sich aus 'Astro' (griechisch für 'Stern') und 'métron' (griechisch für 'messen') zusammen. Wie man daraus schließen kann, beschäftigt

sich die Astrometrie also mit der genauen Vermessung von Sternpositionen relativ zu einem gewählten Koordinatensystem. Wir verwenden für die Meldung unserer Entdeckung an die AAVSO² die Positionsangabe aus dem Katalog USNO-A2.0, auf den wir über die Online-Datenbank VizieR (<http://vizier.cfa.harvard.edu>) zugreifen. Einzelne Katalogeinträge lassen sich nicht direkt verlinken, weshalb wir im gesamten Dokument darauf verzichten müssen. Eine eigene Messung der Position wäre nicht sinnvoll, da wir hierfür aufgrund unserer Ausrüstung und der Luftunruhe keine genügende Genauigkeit erreichen könnten. Unser Stern hat unter den 526280881 im Katalog erfassten Sternen die Bezeichnung USNO-A2.0 0825-02657246.

Die genaue Position des Sternes im äquatorialen Koordinatensystem des Jahres 2000 (Epoche J2000) ist:

Rektaszension	RA	06h 33min 07.418s
Deklination	DEC	-00° 02' 05.25"

(<http://vizier.cfa.harvard.edu/viz-bin/VizieR?-source=I/252&-to=3:>)

Man gibt die Koordinaten für die sog. "Epoche" J2000 an, da sich das äquatoriale Koordinatensystem im Laufe der Zeit aufgrund der Präzessionsbewegung der Erde verschiebt.

9 Periode, Amplitude, Phasenplot und Ephemeride

Wie bereits erwähnt, kann Muniwin die Ergebnisse der Photometrie auch in tabellarischer Form exportieren. Die Tabellen der einzelnen Beobachtungsnächte wurden von uns zu einer zusammengefasst und in das Periodenanalyseprogramm Peranso (<http://www.cbabelgium.com/peranso/>) importiert. Die Periodensuche wurde mit dem Algorithmus "Phase dispersion minimization" (PDM) durchgeführt. Hierbei wird die gesamte Lichtkurve iterativ mit einer Abfolge von Periodenwerten innerhalb eines vorgegebenen Suchintervalls gefaltet und die Streuung im daraus resultierenden Phasenplot beurteilt. Wird die Streuung minimal, ist die beste Periodendauer gefunden. Die geringste Streuung ergab sich bei einer Periode von

² AAVSO: American Association of Variable Star Observers

4,633 Stunden. Da aber das Aussehen des Phasenplots allerdings auf einen Bedeckungsveränderlichen weist und ein solcher pro Periode zwei Helligkeitsabfälle zeigt, ist die wahre Periode doppelt so groß und folglich 9,266 h.

Aus dem gewonnenen Phasenplot kann auch die Amplitude genauer abgelesen werden, als aus einer einzelnen Lichtkurve. Diese liegt bei 0.7 mag, wobei wir keinen signifikanten Unterschied zwischen den filterlos aufgenommenen Daten unseres Schulteleskops und den SDSS-r'-gefilterten Daten von Faulkes bemerken konnten. Ein Amplitudenhub von 0,7 mag entspricht einer Verdoppelung der Strahlungsleistung in Richtung Erde.

Peranso ermöglicht auch die Vermessung der einzelnen Minima in den Lichtkurven. Wir wiesen dem ersten der neun erfassten Minima die laufende Nummer (Epoche) Null zu und bestimmten tabellarisch die zugehörige Epoche aller weiteren. Werden nun die Minimazeitpunkte im heliozentrischen Julianischen Datum gegen ihre Epoche aufgetragen, ergibt sich eine Gerade, die sog. "Ephemeride". Diese ermöglicht die Vorausberechnung von weiteren Minimazeitpunkten in der Zukunft. Die Ephemeride in Tagen lautet:

$$T_{min}(E) = 0,3859 E + 2458091,5142 \quad (2)$$

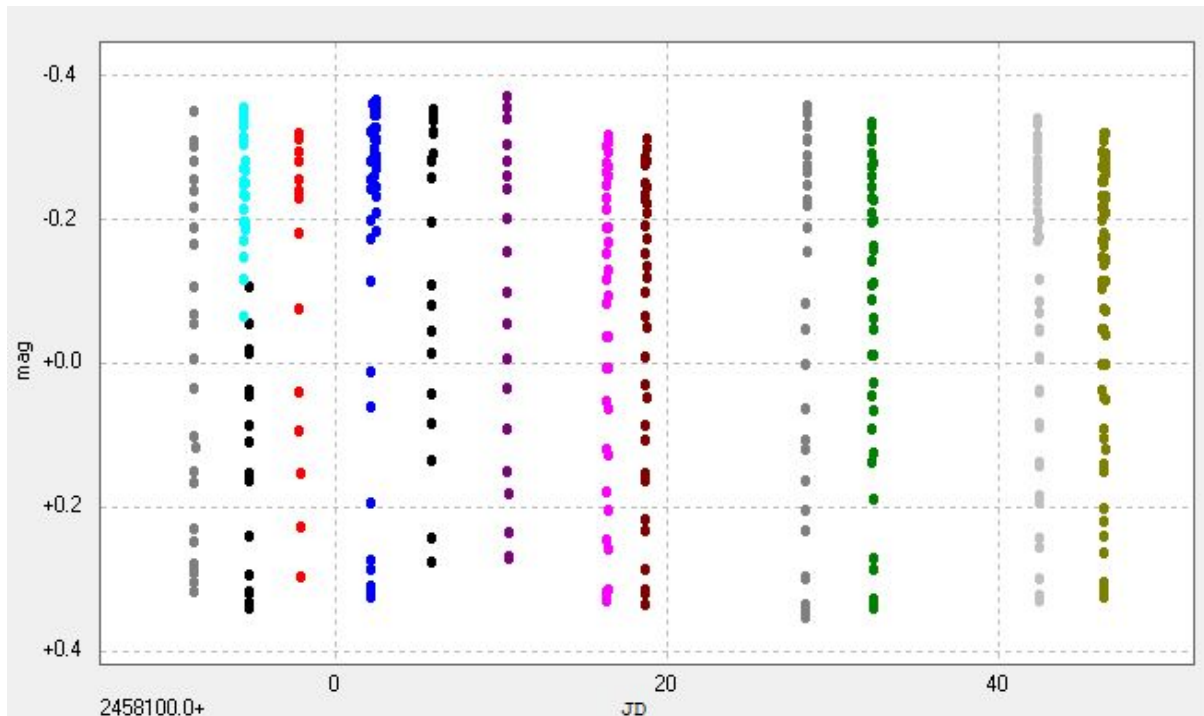


Abb. 4: Vereinigung aller Lichtkurven (Helligkeit in Magnituden vs. Heliozentrisches Julianisches Datum) mit Peranso. Die verschiedenen Farben stellen die unterschiedlichen Beobachtungstage dar. Jeder Datenpunkt steht für eine fünfminütige Belichtung.

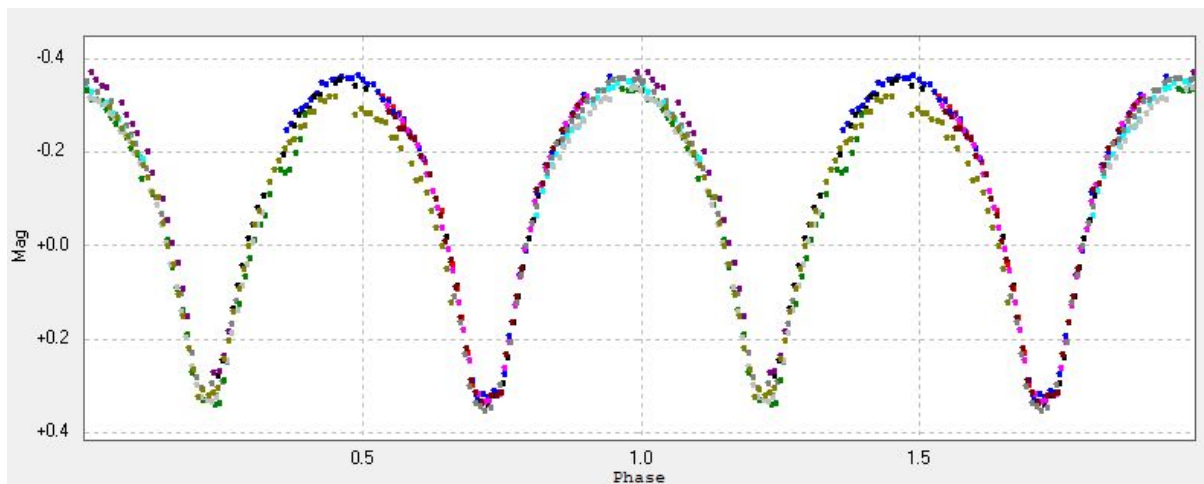


Abb. 5: Phasenplot des Sterns USNO-A2.0 0825-02657246 unter Verwendung der Periodendauer von 9,266 h. Auf der horizontalen Achse findet man nun die dimensionslose Phase der Schwingung.

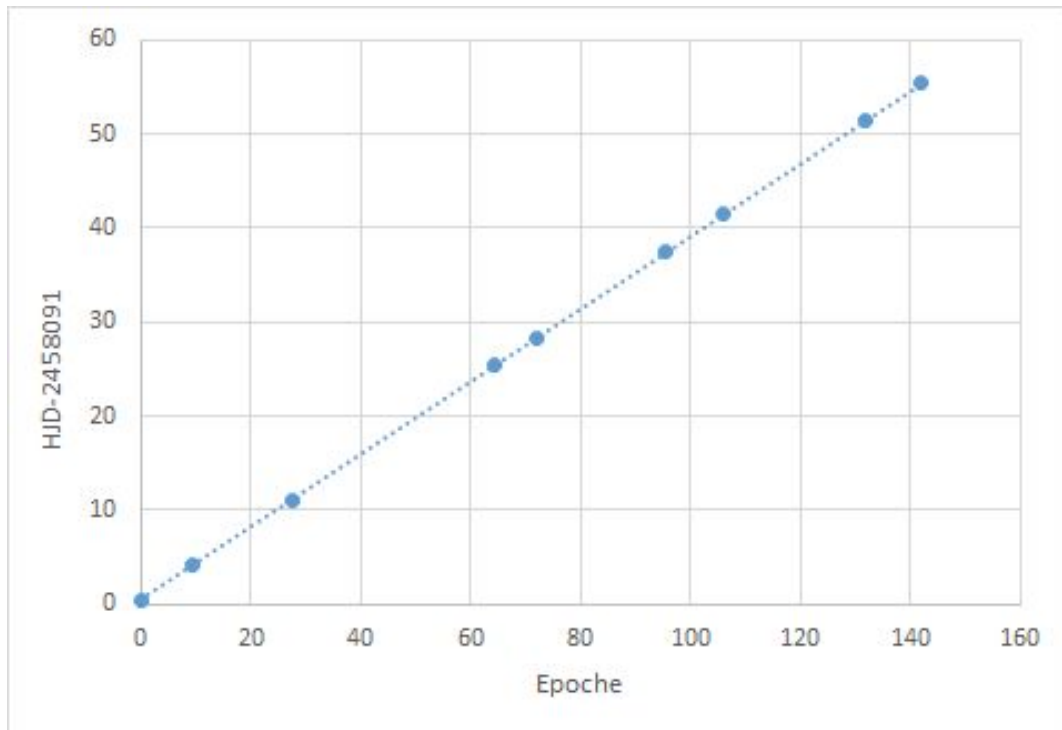


Abb. 6: Heliozentrisches Julianisches Datum (HJD) aller von uns gemessenen Minima aufgetragen gegen die Epoche (fortlaufende Zählung).

10 “All-Sky”-Photometrie

Während differentielle Photometrie darauf abzielt, die Helligkeitsveränderung eines Sterns in Relation zu einem Vergleichssterne aufzuzeichnen, will man bei der “All-Sky-Photometrie” die tatsächliche Helligkeit des Sterns in einem astronomischen Farbband angeben. Man fotografiert den Stern hierzu durch normierte Farbfilter, in unserem Fall B, V und R des UBVRI-Farbsystems. Im U-Band erwies sich der Stern als zu lichtschwach für eine aussagekräftige Messung. Zusätzlich zum Feld mit dem zu untersuchenden Stern wird in großer zeitlicher Nähe zu diesen Aufnahmen ein weiteres Himmelsfeld in geringem Winkelabstand fotografiert, ein sogenanntes “photometric standard field”. Wir benutzten für unsere Zwecke das Feld, welches auf der Website <http://james.as.arizona.edu/~psmith/61inch/ATLAS/charts/c53.html> dargestellt ist. Die große zeitliche Nähe und der geringe Winkelabstand der Felder sollen sicherstellen, dass die atmosphärischen Bedingungen für beide Aufnahmeserien vergleichbar sind. Da das blaue Licht besonders anfällig für

atmosphärische Störungen ist, wurde die Reihung R-V-B und dann B-V-R eingehalten. Somit liegen die Blau-Aufnahmen zeitlich besonders nahe aneinander. Für die Durchführung dieser Beobachtungen am 19.01.2018 gegen 05:40 UT nutzten wir T11 des itelescope-Netzwerks. Nach dem Download der Aufnahmen vom Kontrollrechner des Teleskops bearbeiteten wir zunächst die Bilder des Standardfeldes mit dem Programm Aperture Photometry Tool (APT). Wir vermaßen die Helligkeiten jener Sterne im Standardfeld, deren Helligkeit auf oben genannter Website vermerkt war. Somit konnten wir auf den Offset zwischen der Helligkeit in unserem Bild und der tatsächlichen Helligkeit in Magnituden bestimmen, den sogenannten "Magnitude Zero Point". Anschließend öffneten wir die Bilder mit dem Variablen und vermaßen auch dessen Helligkeit, diesmal allerdings unter Berücksichtigung des eben errechneten Magnitude Zero Point. So erhielten wir die Helligkeit des Variablen im jeweiligen Farbband. Daraus ergab sich die Helligkeit $V = 14.21$, Farbindizes $B - V = 0.84$ mag und $V - R = 0.59$ mag. Zum Vergleich gibt der Katalog AAVSO Photometric All Sky Survey (APASS) für USNO-A2.0 0825-02657246 $V = 14.36$ mag und $B - V = 0.86$ mag. Ein $V - R$ fehlt in diesem Katalog.

Diese Farbinformationen schickten wir mit dem Phasenplot an den Amateurastronom Lorenzo Franco, welcher sich bereit erklärte, anhand dieser Messungen mittels der Software Binary Maker 3 eine Simulation am Rechner zu erstellen, um eine Vorstellung zu bekommen, wie das Binärsystem aussehen könnte.

11 Art der Variabilität und Modellierung von USNO-A2.0 0825-02657246

Nicht alle Sterne behalten konstant dieselbe Helligkeit bei, man spricht von veränderlichen Sternen bzw. variablen Sternen oder kurz einfach Veränderlichen oder Variablen. Man unterscheidet zwischen extrinsisch und intrinsischen Variablen. Unser Stern fällt nach Begutachtung der Form der Lichtkurve unter die Kategorie extrinsisch, was bedeutet, dass die Gesamtleuchtkraft an sich konstant wäre, die Helligkeit jedoch von der Warte der Erde aus veränderlich ist, beispielsweise aufgrund einer Bedeckung durch einen Begleitstern. Intrinsische Sterne verändern

die Helligkeit hingegen durch das Vergrößern bzw. Verkleinern der Oberfläche sowie der Oberflächentemperatur im Zuge einer Pulsation und ändern damit tatsächlich die ausgestoßene Lichtmenge.

Eine Art von extrinsisch variablen Sternen sind die sogenannte “W Ursae Majoris” Sterne. Diese wurden nach dem Prototyp W Ursae Majoris im Sternbild “Großer Bär” benannt. Sie bestehen aus einem System von zwei sich umkreisenden Sternen. Da beide Sterne ihren gravitativ dominierenden Einflussbereich, die sogenannte “Roche-Grenze”, überschreiten, kommt es zum Massenaustausch und zur Ausbildung einer gemeinsamen Gashölle. Diese Gashölle hat in etwa die Form einer Acht. Von außen kann man nicht die einzelnen Sterne, sondern nur noch die Hölle, in der sie eingebettet sind, erkennen. [5]

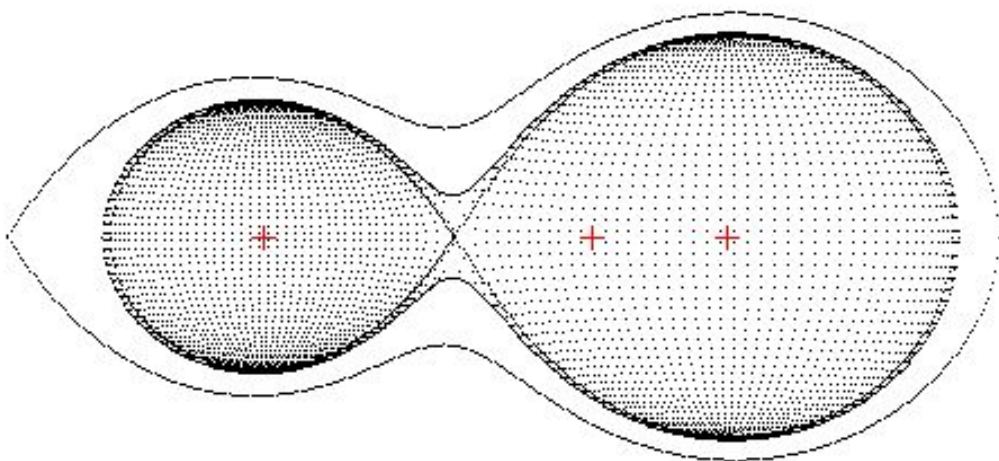


Abb. 7: Schematische Darstellung eines W Ursa Majoris Systems. Bild von Franco Lorenzo zur Verfügung gestellt.

Zu Helligkeitsveränderungen kommt es, weil sich die Sterne umkreisen und dabei wechselnde Anteile der Oberfläche des Systems sichtbar werden und es dabei zudem immer wieder zur gegenseitigen Bedeckung kommt. Bei der Lichtkurve dieses Sternentyps kommt es zu fast gleich tiefen Minima, was darauf schließen lässt, dass die Oberflächentemperatur der Sterne eine ähnliche ist. Bei identischer Oberflächentemperatur der Sterne strahlt jeder Quadratmeter, gemäß des Stefan-Boltzmann-Strahlungsgesetzes, gleich viel Leistung ab. Die Helligkeit wird lediglich durch die zu jedem Zeitpunkt von der Erde aus sichtbare Oberfläche

bestimmt. Ob dabei der größere Stern den kleineren bedeckt oder umgekehrt, ist somit irrelevant, die von der Erde aus sichtbare Oberfläche bleibt dieselbe. Deshalb sind Haupt- und Nebenminimum gleich tief.

Es wird vermutet, dass die ähnlichen Temperaturen dadurch entstehen, dass ständig Masse vom massereicheren über die gemeinsame Hülle auf den masseärmeren Stern übertragen wird und sich die Temperatur somit angleicht.

Ein weiteres Merkmal dieser W Ursae Majoris Sterne ist, dass sie eine relativ kurze Periodendauer besitzen, nämlich von sieben Stunden bis zu einem Tag. Die Sterne dieser Art können noch in zwei weitere Sub-Typen eingeteilt werden: in ein A- und ein W-Typ-System. Ersteres findet man bei massereicheren Sternen mit einer Spektralklasse von A bis F vor. Bei diesem Typ ist die Periode länger und beim tieferen Minimum kommt es zu einer Bedeckung des kleineren und lichtschwächeren Sterns. Der kleinere Stern besitzt bei diesem Typ eine tiefere Oberflächentemperatur. Das W-Typ-System tritt bei Sternen mit geringeren Massen und einer Spektralklasse von G bis K auf. Die Perioden sind dabei kürzer und das tiefere Minimum entsteht dadurch, dass der kleinere aber hellere Stern vom anderen bedeckt wird. Die Oberflächentemperatur des kleineren Sterns ist hierbei die höhere.

[6]

Der italienische Amateurastronom Lorenzo Franco hat Erfahrung mit der Modellierung von solchen W-Uma-Systemen und wurde deshalb von uns kontaktiert. Auf der Grundlage der von uns gemessenen, gefalteten Lichtkurve und der Farbindizes konnte er mit der kostenpflichtigen und uns nicht zur Verfügung stehenden Software *"Binary Maker 3"* ein Modell des Doppelsterns generieren. Hierbei werden die anfangs geschätzten Systemparameter so lange variiert, bis die Residuen zwischen gemessener und synthetischer Lichtkurve minimal werden. Die dabei angewendete Technik beschreibt er ausführlich in einem pdf-Dokument [6]. Die Ergebnisse dieser Modellierung sind für USNO-A2.0 0825-02657246 in der nachstehenden Tabelle angegeben und deuten auf einen W-Typ.

	Primärstern	Sekundärstern
Masse in Sonnenmassen	1,27	0,53
Massenverhältnis $q = m_1/m_2$	0,42	
Radius in Sonnenradien	1,27	0,86
Oberflächentemperatur in K	4500	4585
Inklination der Bahnachse	81,9°	
Große Halbachse in Sonnenradien	2,71	

Tabelle 2: Physikalische Daten zu USNO-A2.0 0825-02657246.

Mittels dieser Daten war auch eine Visualisierung durch das Anwenderprogramm „StarLight Pro“ möglich.

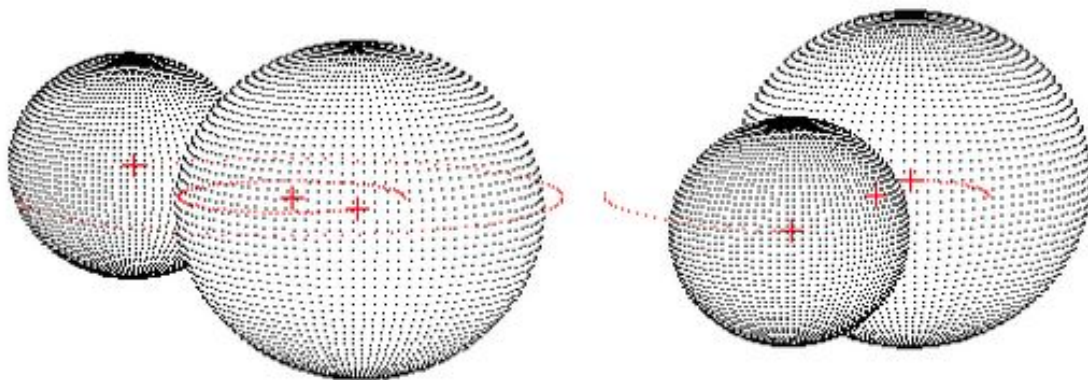


Abb. 8: Visualisierung des Systems USNO-A2.0 0825-02657246 auf Grundlage der Modellierung von Lorenzo Franco.

In einem im Jahr 2008 erschienenen Paper berichten Gazeas und Stepien [7] von einer bei W-Uma-Systemen empirisch ermittelten Beziehung zwischen Periodendauer und der sog. absoluten Helligkeit, also der Helligkeit in Magnituden bei einer gedachten Entfernung von 10 pc. Unter Ausnutzung dieser Beziehung folgt eine absolute V-Helligkeit von $M_V = -8,4 \log P + 0,31 = 3,78 \text{ mag}$ und daraus bei

bekannter scheinbarer und von interstellarer Extinktion befreiter V-Helligkeit von 11,2 mag mittels des sog. Entfernungsmoduls eine Distanz von etwa 990 Lichtjahren.

12 Meldung an die AAVSO³

Als wir am Nachmittag des 30.01.2018 schließlich die Meldung der Variabilität des Sterns USNO-A2.0 0825-02657246 an die AAVSO machen wollten, stießen wir beim Ausfüllen des Online-Formulars auf den unerfreulichen Umstand, dass der Stern bereits am Vorabend, dem 29.01.2018, als variabel eingetragen worden war. Die Meldung, die von den Astrophysikern T. Jayasinghe, C. Kochanek, und K. Z. Stanek et al. von der Ohio State University erfolgte, lässt sich unter der folgenden Internetadresse abrufen: <https://tinyurl.com/y9333sds>. Diese Forscher arbeiten am Projekt ASAS-SN⁴ mit, einem Netzwerk von 20 über den ganzen Globus verteilten Teleskopen, welche in jeder Nacht den gesamten Himmel bis hin zu einer Grenzgröße von 17 mag mustern und somit ein enormes Datenvolumen erzeugen. Die drei Forscher haben einen wissenschaftlichen Artikel zur Entdeckung für 2018 angekündigt. Der E-Mail-Dialog zwischen uns und den drei Forschern ist im Anhang abgedruckt.

13 Ausblick

In den nächsten Monaten der bis Anfang April dauernden Beobachtungssaison für USNO-A2.0 0825-02657246 möchten wir trotz kürzer werdender Nächte den Stern weiterhin photometrieren. Hierbei möchten wir uns besonders auf die Form der Minima konzentrieren und diese mit einer höheren Zeitauflösung erfassen. Im April werden wir bei einer eventuellen Finalteilnahme unsere Ergebnisse vielleicht mit neueren Messungen ergänzen bzw. präzisieren können. Sehr gerne hätten wir auch ein Spektrum des Sterns aufgenommen. Für unseren schuleigenen Spaltspektrographen ist das Objekt zwar zu lichtschwach, doch eines der 2-m-Teleskope von Faulkes ist mit einem Spektrographen (FLOYDS, <https://lco.global/observatory/instruments/floyds/>) ausgerüstet. Dieser war zur Zeit

³ AAVSO= American Association of Variable Star Observers

⁴ ASAS-SN: All-Sky Automated Survey for Supernovae

unserer Untersuchung jedoch leider aufgrund eines technischen Gebrechens nicht funktionstüchtig.

14 Persönliches

Erst die Möglichkeit, eigene Beobachtungen mit dem Schulteleskop durchzuführen, hat uns motiviert, viele Stunden an diesem Projekt zu arbeiten. Über die Methode der praktischen Astronomie haben wir viel erfahren und gelernt, aber genauso wichtig ist die Leidenschaft zur Astronomie, die wir dabei gewonnen haben. Inzwischen ist es nicht mehr bloß ein Schulprojekt, sondern es hat sich zu einem Hobby entwickelt. So oft es geht, wird beobachtet. Auch wenn wir bis zu sieben Stunden in der Kälte saßen, arbeiten alle mit Freude mit. Nur wenn die wichtigsten Schulfächer am nächsten Tag Zeit abverlangen, muss man schweren Herzens zu Hause bleiben. Insgesamt wird nicht nur das physikalische Verständnis der Welt geschärft, sondern auch das Verständnis der gelernten Sprachen vertieft. Die in diesem Projekt genutzten Kontakte reichen von Deutschland über Italien und Belgien bis nach Amerika.

15 Danksagung

An dieser Stelle möchten wir uns bei allen bedanken, die uns während dieses Projektes unterstützt und motiviert haben.

Besonders gilt dieser Dank dem Lehrer Christof Wiedemair, welcher uns durch das gesamte Projekt stets zur Seite gestanden ist. Seine starke Unterstützung und seine Ratschläge waren sehr wertvoll. Daneben gilt unser Dank Univ. Prof. Christiaan Sterken von der Universität Brüssel, welcher uns insbesondere bei Fragen zur Natur der W-UMa-Sterne weitergeholfen hat. Außerdem möchten wir Franco Lorenzo für die Bereitschaft danken, unseren Variablen am Computer zu virtualisieren. Des Weiteren danken wir der EURAC für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes, wie auch dem Faulkes Telescope Project gemeinsam mit LCOGT⁵ für die Bereitstellung von Teleskopzeit.

⁵ LCOGT: Las Cumbres Observatory Global Telescope

16 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1- 6, 9 -15: eigene Bilder
- Abb. 7 und 8: Bereitgestellt von Lorenzo Franco

17 Quellenverzeichnis

- Literatur
 1. C. Sterken C. Jäschek: Light Curves of Variable Stars, A Pictorial Atlas. (2005): pg 183-187
- Weblinks
 1. MÃ¡rcio Catelan - Horace A. Smith: Pulsating Stars. (2. Februar, 2015) <https://tinyurl.com/y9kt5qdh> (abgerufen am 27. Januar 2018)
 2. <http://www.itelescope.net/telescope-t5/> (abgerufen am 27. Januar 2018)
 3. <http://www.faulkes-telescope.com/information> (abgerufen am 27. Januar 2018)
 4. Prof. Richard Pogge: A Brief Note on Time Systems (kein Veröffentlichungsdatum) <http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast350/timesys.html> (abgerufen am 27. Januar 2018)
 5. Kerri Malatesta: W Ursae Majoris.(13. April 2010) https://www.aavso.org/vsots_wuma (abgerufen am 29. Januar 2018)
 6. Lorenzo Franco: Modellazione dei Sistemi Binari ad Eclisse (2011) http://digilander.libero.it/A81_Observatory/documenti/Modellazione_sistemi_binari_ad_eclisse.pdf (abgerufen am 30. Januar, 2018)
 7. Gazeas und Stepien, 2008, Angular momentum and mass evolution of contact binaries, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13844.x> (aufgerufen am 15.03.2018)

18 Tabellenverzeichnis

- | | |
|--|----------|
| 1. Tabelle zu Beobachtungen | S. 8 - 9 |
| 2. Tabelle zu physikalischen Daten von USNO-A2.0 0825-02657246 | S. 22 |

19 Anhang

Anhang 1 - E-Mails

Your latest submission to VSX

Dear Mr. Jayasinghe, Prof. Stanek and Prof. Kochanek,

we are three students (Vera 16, Lisa 17 and Dominik 16) from Bruneck, South Tyrol, Italy and are part of the astronomy group of our school (astrocusanus.org, astrocusanus.blogspot.com). Last spring the astronomy group observed a star field in Monoceros and when they gave a look at the data in summer 2017 they discovered a new variable star in that field. The designation of the star is USNO-A2.0 0825-02657246 and the coordinates according to this catalog are RA 06 33 07.418 DEC -00 02 05.25 (J2000). In autumn we took over the task to find out more about this star and eventually to report it to the AAVSO.

In December 2017 and January 2018 we collected data and built 22 partial lightcurves using two different locations and setups.

Six observations, including the discovery observation of 16th February 2017, have been carried out in our own observatory (46.7827 N, 12.0843 E) using a Meade 10" LX200 Classic with a SBIG ST-8XME resulting in 232 unfiltered and calibrated light frames.

Seventeen observations have been made using a 0.4-m-telescope with a SBIG STX6303 through a SDSS-r' filter resulting in 530 calibrated light frames.

All frames had an exposure time of five minutes and 2x2 binning.

Differential aperture photometry has been done with Muniwin using the star USNOA2 0900-03105625 (RA 06 33 10.238 DEC +00 00 50.91 J2000) as comparison star and USNO-A2.0 0900-03106451 (RA 06 33 12.853 DEC +00 01 00.13 J2000) as check star. Period analysis has been done using the phase dispersion minimization algorithm (PDM) in Peranso. Despite the use of different filters all amplitudes were in good agreement so we combined all datasets. Based on our analysis some days ago we concluded that the variable is a W UMa star (EW) with a period of 9.266 h and an amplitude of approximately 0.7 mag.

We tried to submit our findings to the VSX catalog one hour ago but found that someone has been faster than we were. It was you! You can imagine our disappointment...

However we have read that a paper about the star is in preparation. If you are interested in our data we would be happy to contribute to the paper.

Best wishes

Vera, Lisa and Dominik

Abb.8 : Unsere E-Mail an die Astronomen der Ohio State University

Betreff: Aw: Your latest submission to VSX

Dear Vera, Lisa and Dominik,

I am terribly sorry to hear about what happened :(It was certainly not our intention to take this discovery away from you! As much as we'd like to use your data to talk about this object in the upcoming paper, we do not have r'-band data for any of our other ~64,000 variables, thus, sadly we can't use your data just for this one object.

I am very impressed by the amount of work that all of you have put into confirming this variable star- those skills that you've acquired along the way are tremendously useful and will certainly not be scooped or taken away. Please don't let this discourage any of you from continuing the brilliant work you've been doing, keep looking up at the starry sky, there is so much more out there to be discovered and talked about. I have no doubt in my mind that you will go far in your astronomical pursuits!

We do have something exciting planned for the future that should be of interest to all the variable star enthusiasts out there. Our goal is to map the whole sky for bright variable stars ($V < 17$), and as you can imagine, this is a whole lot of data to peruse and analyze. We hope to enlist the help of thousands of enthusiasts all over the world to do this. There is a lot of opportunity to discover a ton of new variables through this project. There will also be a bunch of weird objects that need follow up observations, and this is something that your astronomy group can take part in (if interested). And of course, everyone who participates will be given credit in the publications that come out of this endeavor. Let me know if you're interested and I'd be happy to keep you in the loop!

Once again, on behalf of ASAS-SN, we are sorry to have taken this discovery away from you!

Best wishes,
Tharindu Jayasinghe

Abb. 9: Antwort von Tharindu Jayasinghe auf unsere Mail

Dear Christof -- translate as necessary -- we all felt sad about this, since you and the students had done real work for this (as compared to a lot of people who had been finding "new" variables by just running our WWW site). Also, relatively close to home -- my wife's family is from the sud tyrol on the other side of the border.
Dear Vera, Lisa and Dominik

Congratulations on your discoveries. You did the work, and you found new objects with properties that were not previously known. This is the fundamental essence of a scientific project.

I'm sorry that you did not beat us into the "system" with your new variables. But you should also keep this in perspective -- we "professionals" have been scanning the sky for centuries, and yet we have some big blind spots. Particularly today, we are really bad at covering the "bright" sky -- that which can be done with small telescopes/cameras. The objects you found are ones which very few professionals can even look at because their telescopes are so big. Unfortunately for your particular discoveries, this is exactly the gap our ASAS-SN project is trying to fill, and we dumped a huge number of new variable stars (about 50 thousand) into the system just in front of you. You should take some pride that a team of trained professionals with a multi-million dollar budget (although not as many of those millions as we would like!) barely beat you! And, if it is any additional consolation, I have been "scooped" many times in my career -- someone else just gets the data in front of you. You just move on, and get better data or figure out how to use their data better than they did.

We work with a large group of amateurs to confirm our supernovae, but from Christof's description I think your telescopes are a little too small, although you would be welcome to try (our ASAS-SN telescopes are 14cm aperture, so you really need something significantly bigger with a significantly better resolution than our ~16 arcsec FWHM). There is a big, public community that follows up cataclysmic variable stars (<https://cbastro.org/>) where they are always looking for participants -- these can be crazy bright. Also, follow-up of novae in our Galaxy. So there are opportunities to contribute to science with small, amateur telescopes beyond finding new variable stars.

Good luck, and don't be discouraged!

Cheers

CSK

Abb 10: Antwort von Prof. Christopher Kochanek auf unsere Mail

Anhang 2 - Abend im Observatorium

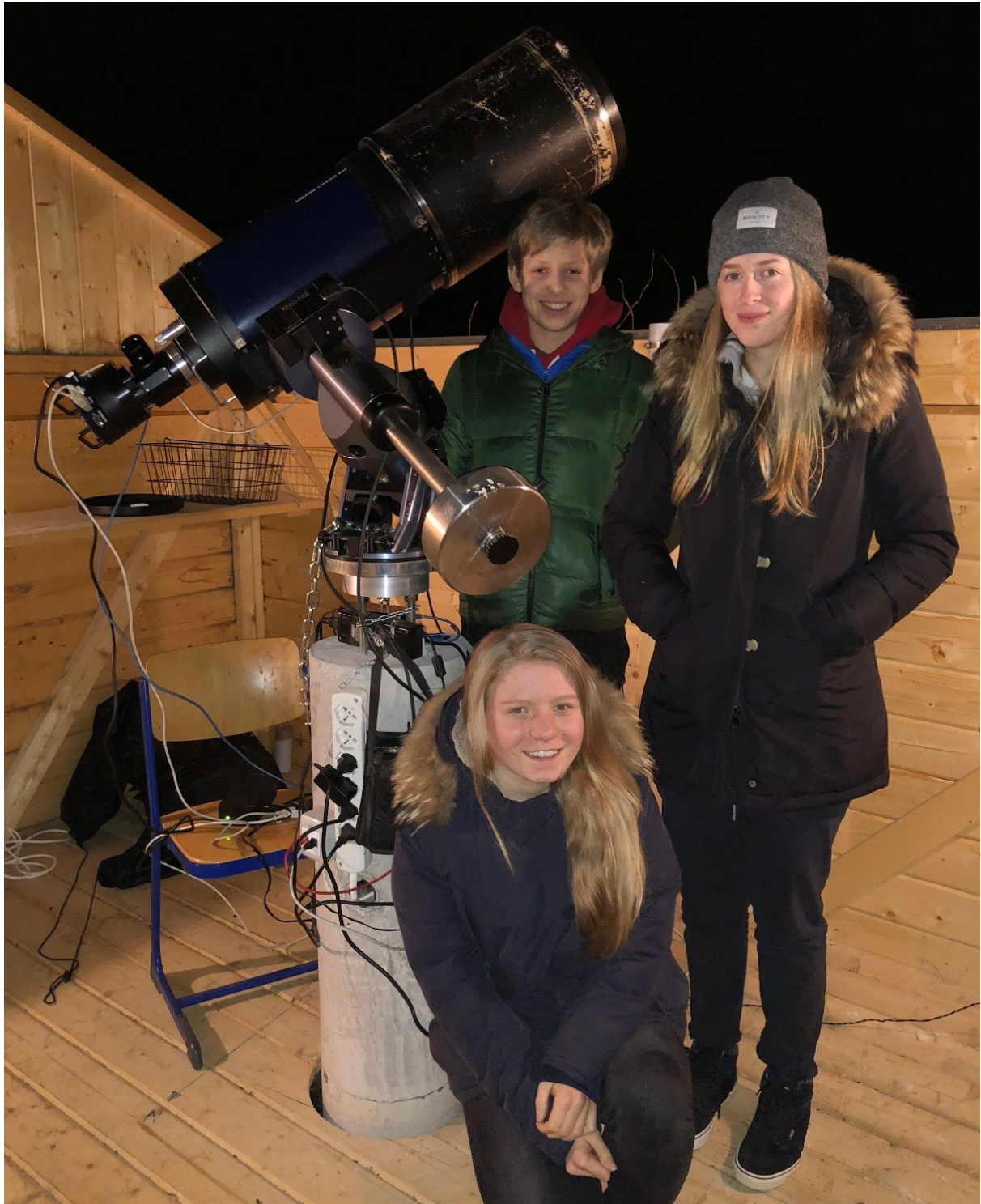


Abb. 11: Das VarMon-Team im Schulobservatorium. Von links: Vera Oberhauser, Dominik Moser und Lisa Niederbrunner

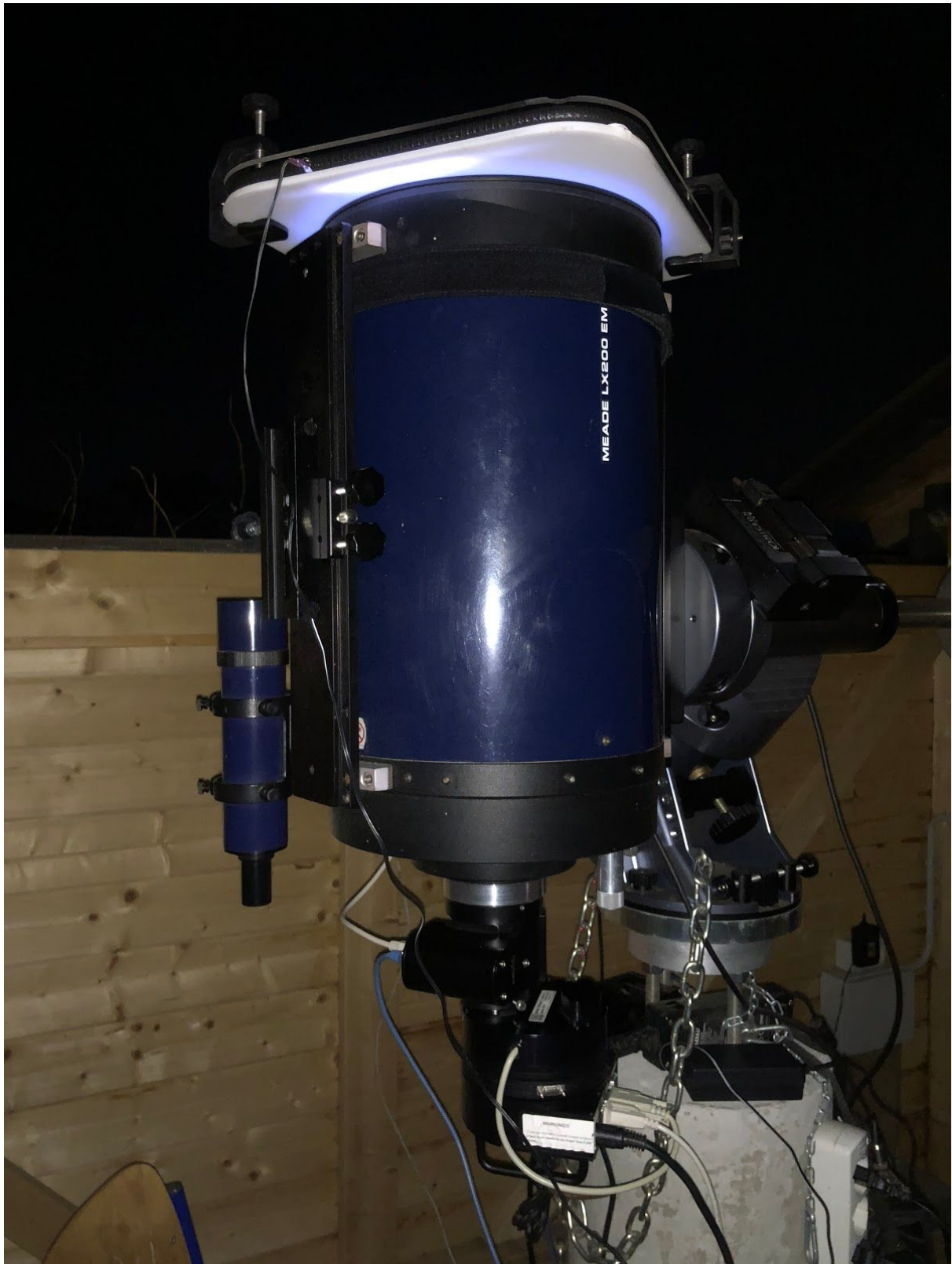


Abb. 12: Anfertigen von Flatfieldaufnahmen mittels der Elektrolumineszenzfolie am Teleskop des Schulobservatorium.



Abb. 13: Abendessen im Schulobservatorium

Anhang 3: Kalibrationsaufnahmen



Abb. 14: Beispiel für ein Masterdark. Man sieht links das Leuchten der Ausleseelektronik im Infraroten sowie zahlreiche sog. "Hot Pixel".

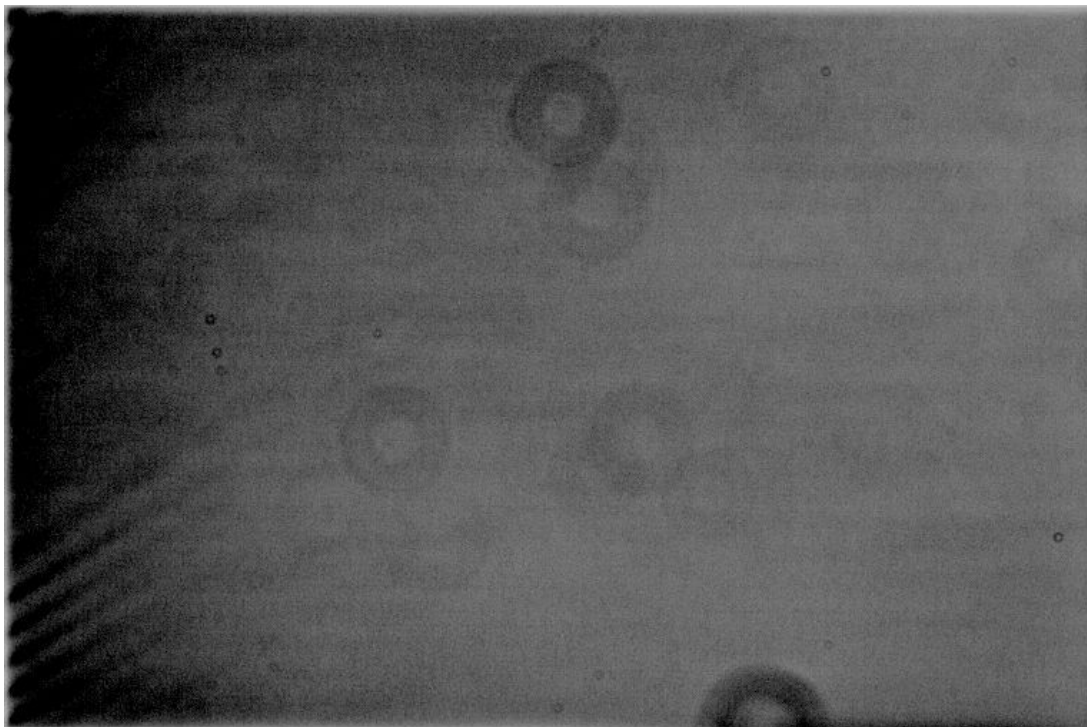


Abb. 15: In diesem Masterflat sieht man Unterschiede in der Pixelempfindlichkeit und Abschattung durch Staubkörner auf dem Chip und dem Eintrittsfenster der Kamera.