Wissenschaftliche Untersuchung des Sterns Mira im Sternbild Walfisch

Teilnehmerinnen: Lynn Ascheuer (17)

Gloria Gabriel (16)

Erarbeitungsort: Wuppertal, Carl-Fuhlrott-Gymnasium

Projektbetreuer: Bernd Koch

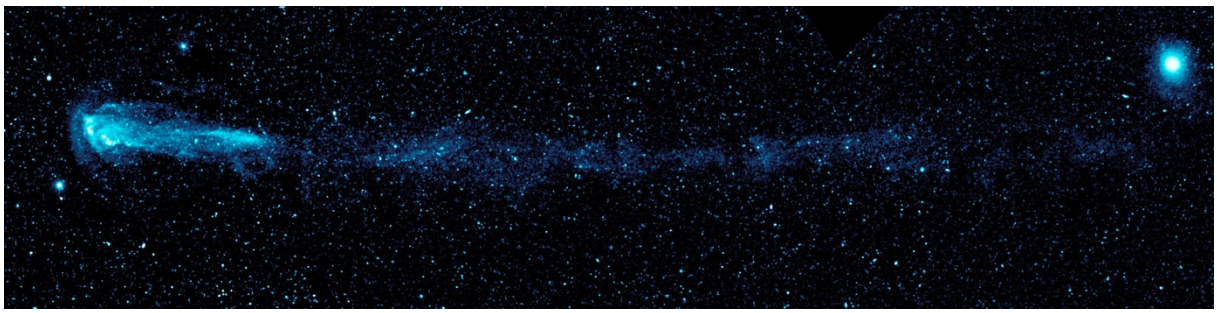
Thema des Projekts: Untersuchung des Sterns Mira (o Cet)

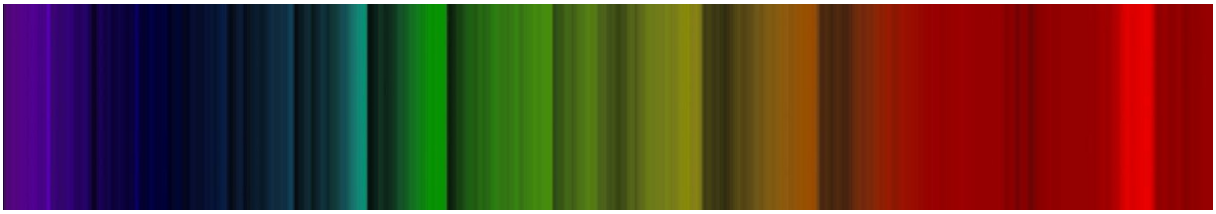
Fachgebiet: Geo- und Raumwissenschaften

Wettbewerbssparte: Jugend forscht

Bundesland: Nordrhein-Westfalen

Wettbewerbsjahr: 2021/2022





Kurzfassung

Unsere Arbeit basiert auf einer Projektarbeit im Projektkurs Astronomie. In dieser Projektarbeit beschäftigten wir uns mit der Faszination der Menschheit in Bezug auf den Sternenhimmel und untersuchten die in der nördlichen Halbkugel am Winterhimmel zu findenden Sternbilder der Perseus-Sage. Die Durchführung der astrofotografischen und spektroskopischen Aufnahmen sowie die Bearbeitung der Bilder und Spektren wurden in der Projektarbeit ausführlich dokumentiert und in der Theorie erklärt.

Bei den Forschungen zur Projektarbeit sind wir auf den Stern Mira im Sternbild Cetus aufmerksam geworden, welchen wir nun im Rahmen von Jugend forscht genauer untersucht haben. Ziel war es, die chemische Zusammensetzung der Photosphäre anhand astrofotografischer und spektroskopischer Aufnahmen zu bestimmen.

Mira haben wir mit dem DADOS Spalt-Spektrographen untersucht. Wir haben festgestellt, dass die Photosphäre von Mira neben Wasserstoff auch Titanoxid enthält, welches spektroskopisch nachweisbar ist.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung....4
Beobachtungen und Spektroskopie des Sterns Mira....6
Kalibrierung der Mira-Spektren....15
Ergebnisse....15
Ergebnisdiskussion....18
Zusammenfassung....20
Quellen....21
Unterstützungsleistungen....21

Einleitung

Diese Jugend forscht-Arbeit basiert auf der Projektarbeit „Sternbilder im Vergleich – wissenschaftliche und kulturelle Hintergründe“, in welcher wir uns mit der Faszination des Menschen für den Sternenhimmel beschäftigt haben. Untersucht haben wir die Sternbilder der Perseus-Sage am Winterhimmel der nördlichen Hemisphäre. Insbesondere haben wir die Mythen, die sich um die Sternbilder ranken, auf ihren wissenschaftlichen Kern untersucht. So haben wir beispielsweise herausgefunden, dass der Stern, welcher das Auge der Medusa im Sternbild Perseus darstellt, tatsächlich ein Doppelsternsystem aus einem eher kleinen, hellen Stern und einem größeren und dunkleren Stern besteht. Dadurch scheint es, als ob Medusa „zwinkert“[1].

In der Mythologie um Cetus geht es um die eitle äthiopische Königin Cassiopeia, welche behauptete, schöner als die Nereiden zu sein. Poseidon, der davon erzürnt war, schickte das Meeresungeheuer Cetus um die Küste Äthiopiens zu plagen. Um den wütenden Gott zu beruhigen und sein Volk zu retten, band König Cepheus an einen aus dem Meer ragenden Felsen seine Tochter als Opfergabe an. Der Held Perseus, welcher gerade auf dem Weg zurück zu seiner Mutter war, sah die angebundene Andromeda und befragte Cepheus nach dem Grund dieser Opfergabe. Als er erfuhr, wofür die schöne Prinzessin geopfert werden sollte, unterbreitete er dem König den Vorschlag das Ungeheuer zu töten, wenn er dafür die Prinzessin heiraten dürfe. Nachdem der König zugestimmt hatte, begab sich Perseus in Stellung und wartete auf Cetus, der auftauchte um die Prinzessin zu fressen. Der Held holte aus einem Beutel den Kopf der Medusa, welche er zuvor getötet hatte, und versteinerte damit das Monster. Anschließend befreite und heiratete er Andromeda, zog mit ihr nach Argos und schenkte der Göttin Athene den Kopf der Medusa.

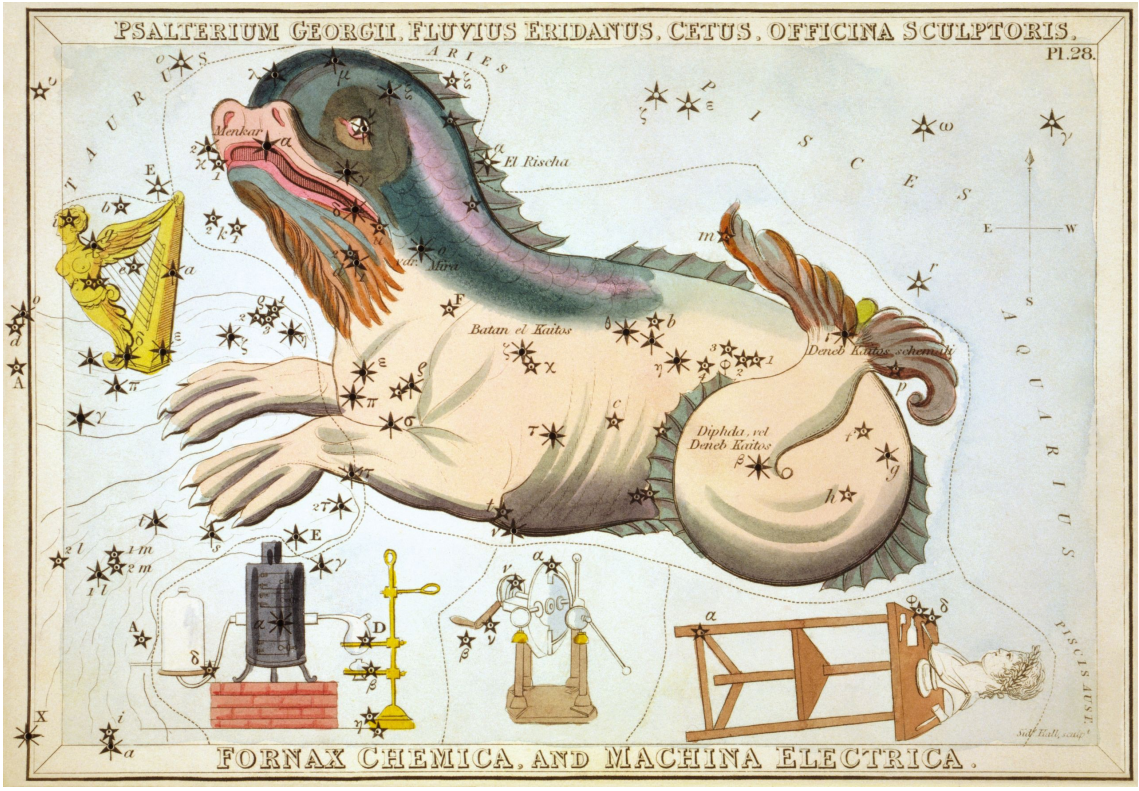


Abbildung 1: Zeichnung von Cetus

Die Methoden der Astrofotografie sowie der Spektrographie haben sich bereits in der Projektarbeit bewährt. Wir haben diese an den Sternen Navi/Tsih (γ Cas) und Algol (β Per) angewendet.

In dieser Arbeit beschäftigen wir uns mit dem pulsationsveränderlichen Stern Mira (o Cet), welcher ein Doppelsternsystem, bestehend aus dem Roten Riesen Mira A und dem Weißen Zwerg Mira B, darstellt[2]. Gestoßen sind wir auf diesen Stern, als wir die Frage „Warum verschwindet einer der Sterne im Sternbild Cetus“ in unserer Projektarbeit beantwortet haben[1]. Aufgefallen ist dieser Stern außerdem durch seine Hülle aus abgestoßener Materie, die sich wie ein Schweif hinter dem Stern herzieht.

Entdeckt wurde Mira vom Astronomen David Fabricius am 13.08.1596. Johann Bayer trug bereits im Jahr 1603 diesen Stern unter dem Namen Omikron Ceti in seinen Himmelsatlas ein. Diesen Namen trägt Mira auch heute noch. Johann Ph. Howards entdeckte 1638, dass sich die Helligkeit in mehr oder weniger gleichmäßigen Abständen verändert, woraufhin Johannes Hevelius Omikron Ceti den Namen Mira gab. Mira bedeutet auf Latein „die Wundersame“. Mira war der erste Stern, bei dem die Helligkeitsschwankungen jemals konstatiert worden sind, sowie der erste Stern, der einen Schweif besitzt. Erst 2007 wurde dieser auf Bildern der NASA entdeckt und bis jetzt ist kein anderer Stern bekannt, der einen solchen Schweif besitzt[2].

Mithilfe von astrofotografischen und spektroskopischen Untersuchungen wollten wir mehr über diesen Stern herausfinden. In unserer Projektarbeit haben wir bereits die Frage beantwortet, warum es so scheint, als ob Mira verschwinden würde. Nun haben wir den auf unseren Fotos rötlichen Stern mit dem DADOS Spalt-Spektrographen untersucht, um die chemische Zusammensetzung seiner Photosphäre zu bestimmen.

Zu diesem Zweck haben wir an einem Abend mit Hilfe eines ferngesteuerten Teleskops, das uns von unserem Projektleiter zur Verfügung gestellt wurde, Spektren von Mira aufgenommen. Diese haben wir anschließend aufbereitet und bearbeitet. Die Ergebnisse haben wir anhand des „Spektralatlas für Amateurastronomen“ von Richard Walker und der NIST Atomic Spectra Database interpretiert.

Beobachtungen und Spektroskopie des Sterns Mira

Am 09.11.2021 war der Himmel abends klar und Mira mit optischen Hilfsmitteln gut zu erkennen, sodass wir die Gelegenheit nutzten unsere Aufnahmen anzufertigen.

Wir haben die astrofotografischen Aufnahmen mit einer Canon EOS 6D-Kamera und die spektroskopischen Aufnahmen mit dem DADOS Spalt-Spektrographen und der STF-8300M-Kamera im Zeitraum von 20:30 Uhr MEZ bis 22:15 Uhr MEZ gemacht. Die Geräte haben wir von zu Hause ferngesteuert und mit Herrn Koch als Projektbetreuer über Videotelefonie Kontakt gehalten.

Zu Beginn hat Herr Koch sein Celestron 14-Teleskop aufgebaut (Bild 2) und anschließend den DADOS Spalt-Spektrographen angebracht.

Abbildung 2: Celestron 14-Teleskop

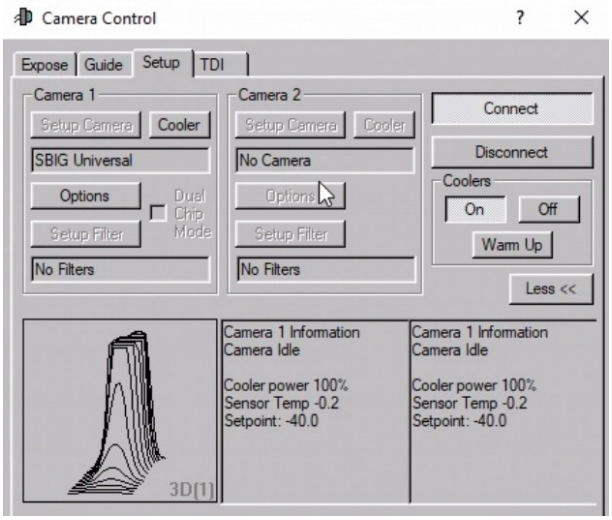


Abbildung 3: Herstellen der Kameraverbindung

Danach erfolgte die Freigabe des Computers für den Fernzugriff mittels der Software AnyDesk[12], so dass Lynn Ascheuer das System von zu Hause steuern konnte. Nun wurde noch die Kamera mit dem System verbunden.

Anschließend haben wir mit Hilfe des Programms Stellarium [9] nachgesehen, wo genau Mira am Himmel stand und daraufhin das Teleskop in Position geschwenkt.

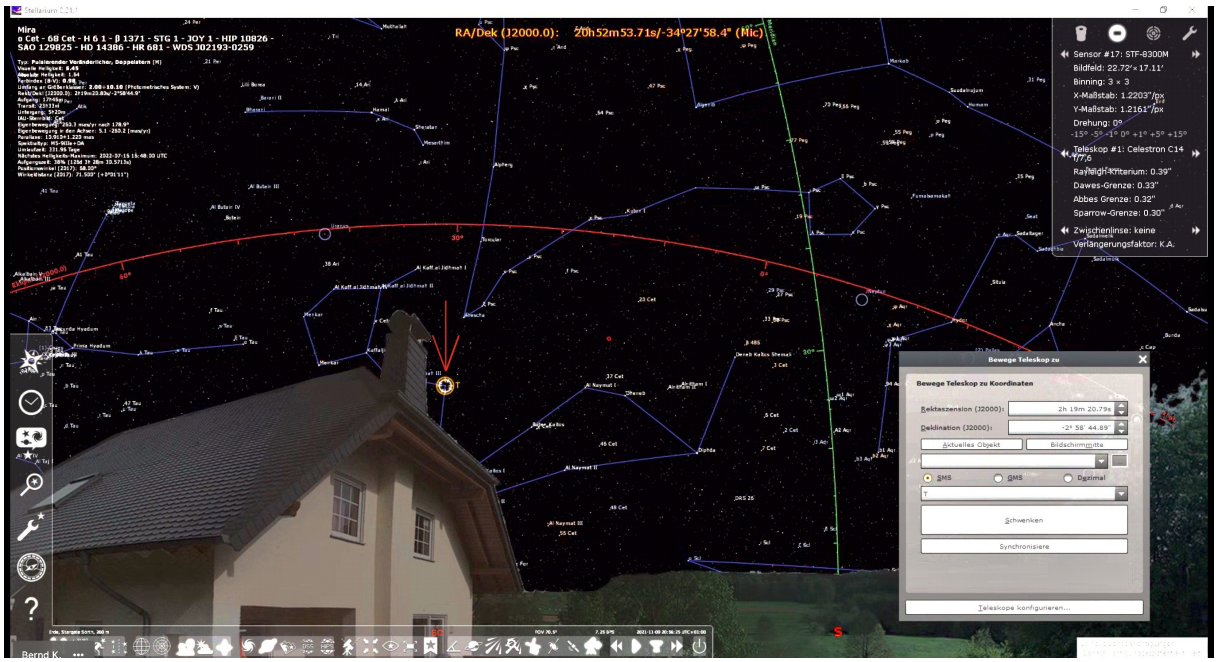


Abbildung 4: Darstellung von o Cet und schwenken des Teleskops

Danach mussten wir den Spektrographenspalt mit Hilfe des Programms SpecTrack [7] fokussieren und auf dem Bildschirm deutlich sichtbar machen (Bild 5), damit wir Mira auch im Spalt einfangen konnten (Bild 6). Nur wenn der Stern tatsächlich ganz im Spalt ist und während der Dauer der Aufnahme auch in diesem bleibt, kann ein klares Spektrum aufgenommen werden.

Abbildung 5: Bestimmung der Lage des Spalts, Fokussierung und Beschriftung

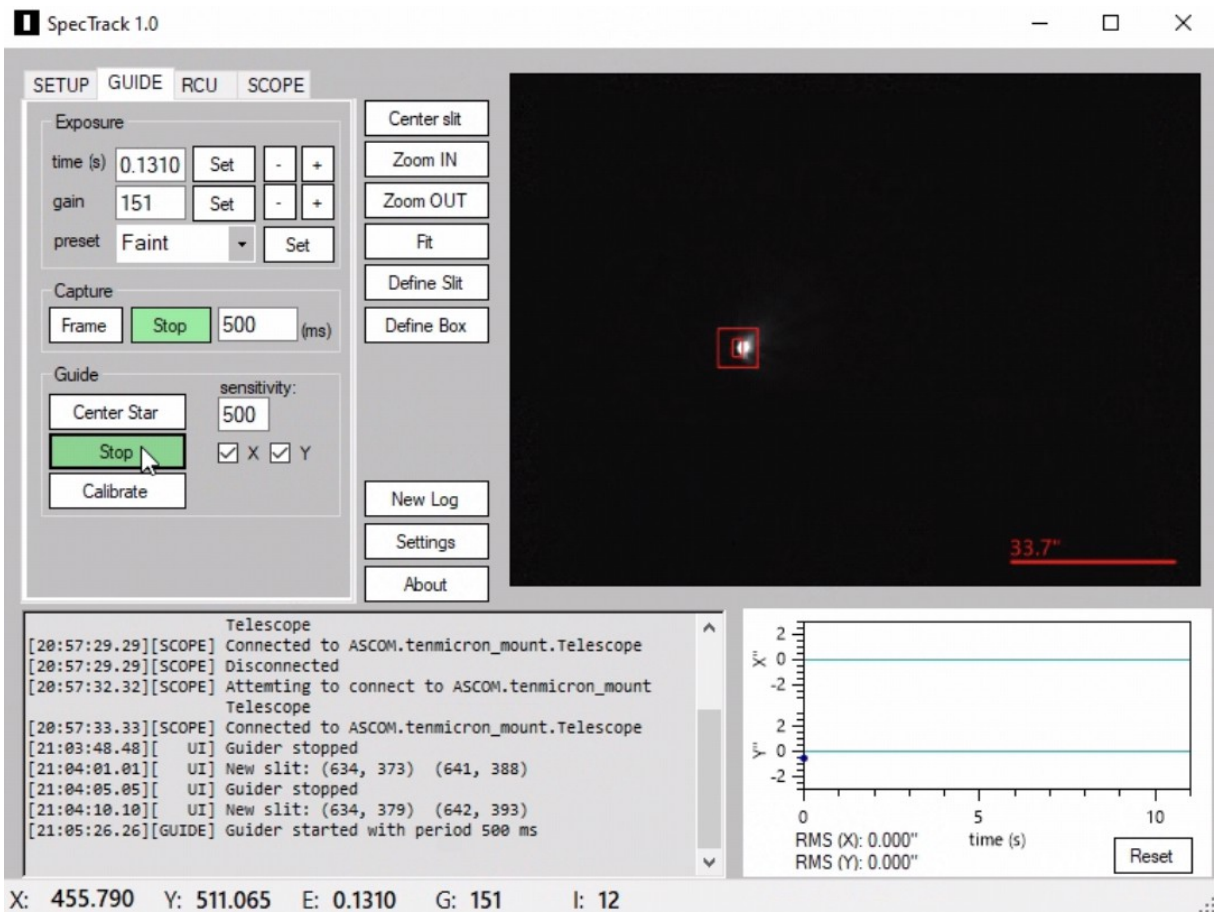


Abbildung 6: Einfangen des Sterns o Cet im Spalt des DADOS Spalt-Spektrographen

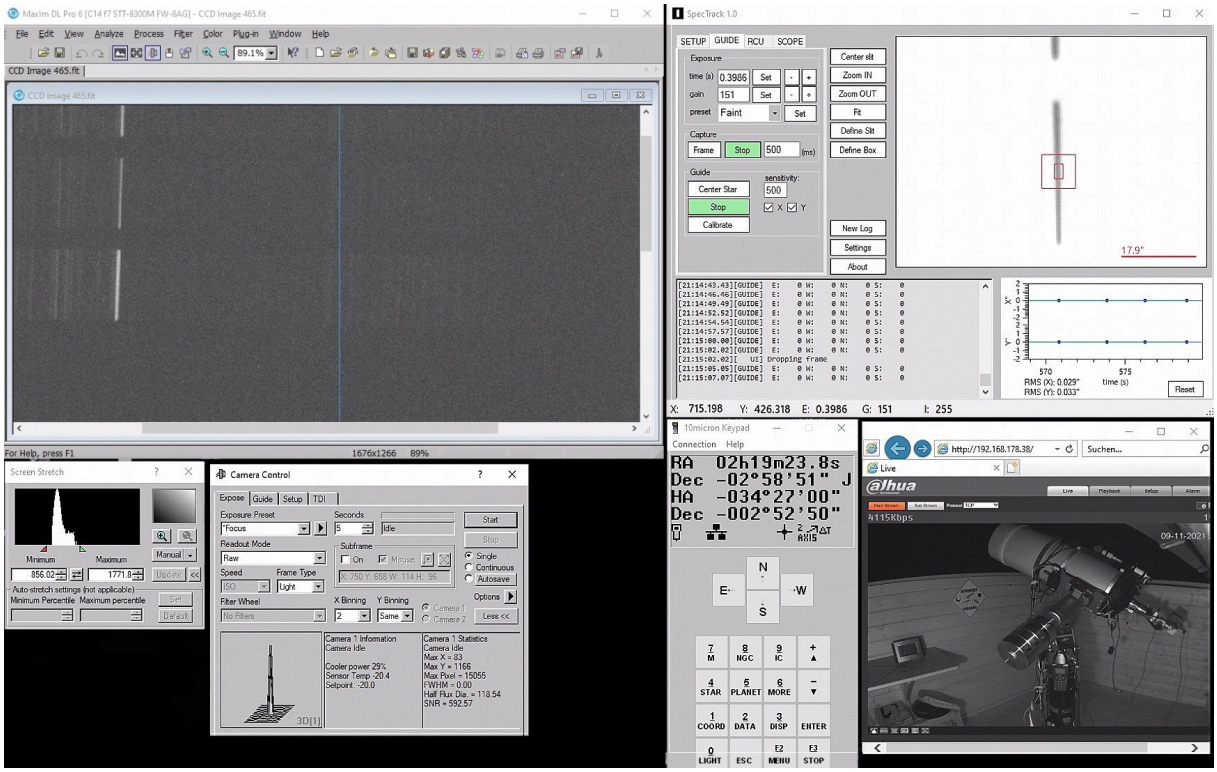


Abbildung 7: Desktopübersicht mit Rohspektrum der Referenzlampe (oben links)

Vor Beginn der Aufnahmen musste der DADOS Spalt-Spektrograph anhand der Emissionslinie einer Referenzlampe kalibriert werden. Dies erfolgte mit einer Neon-Argon-Referenzlampe und dem Programm MaxIm DL Pro 6 [8] ab 21:10 Uhr MEZ. Bild 7 zeigt eine Übersicht des Referenzspektrums im Rohzustand (oben links auf dem Desktop). Hier kann man außerdem auch die Einstellungen zum Aufnehmen des Spektrums sowie den Aufbau des Teleskops und die Fokussierung des Spektrographenspalts sehen.

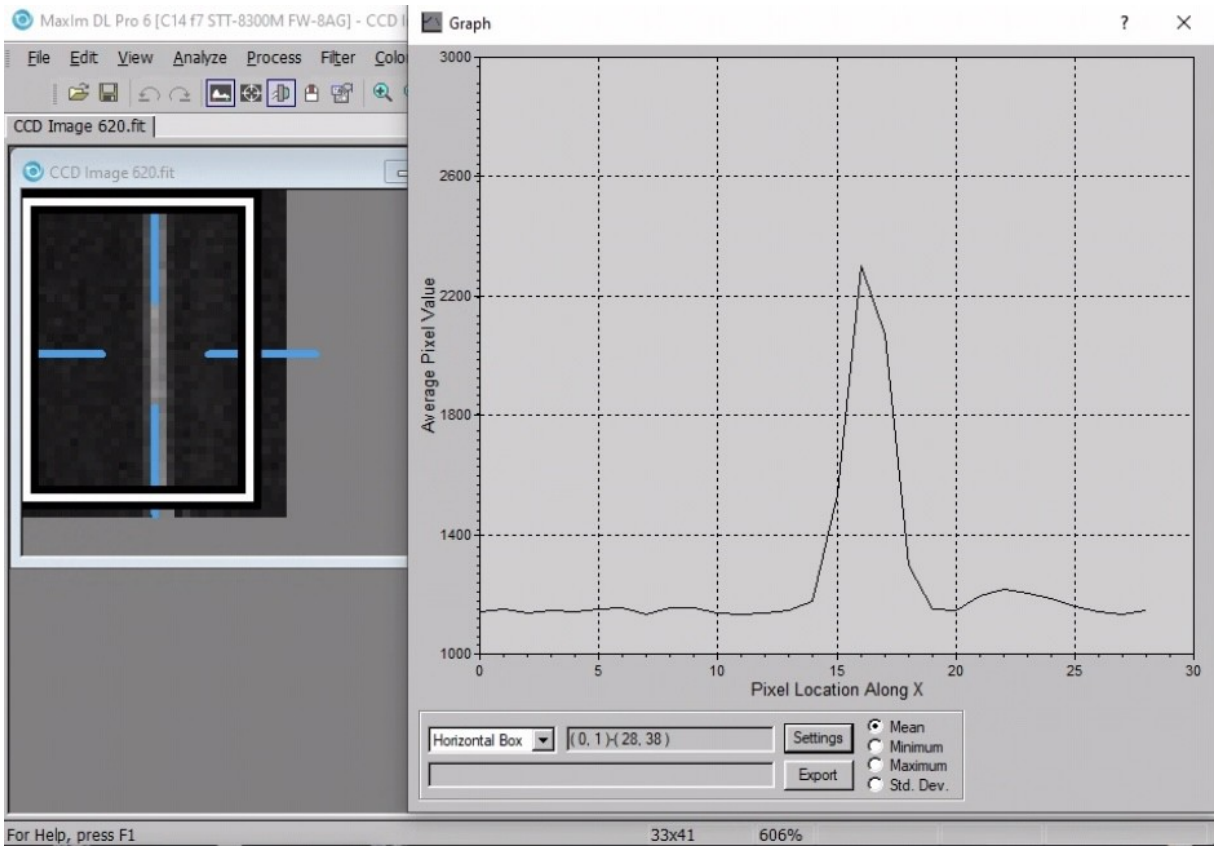


Abbildung 8: Fokussierung des DADOS Spalt-Spektrographen anhand einer Emissionsline der Referenzlampe

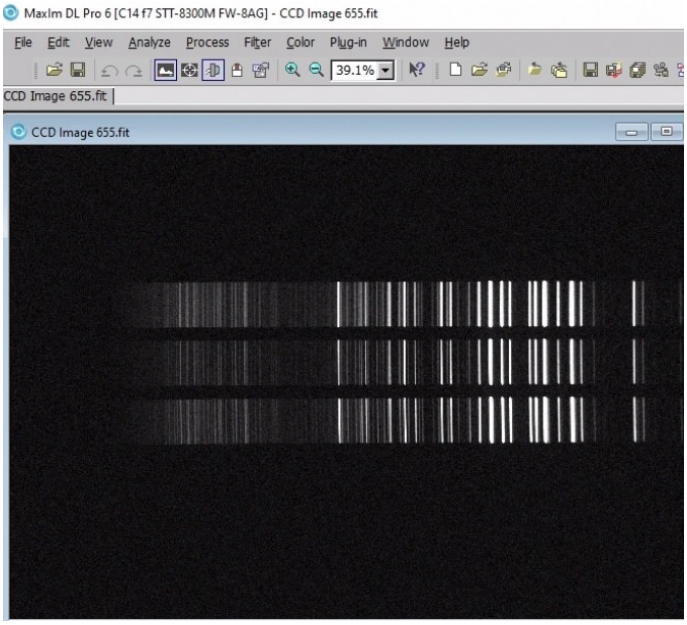


Abbildung 9: Referenzspektrum der Neon-Argon-Lampe

Im Anschluss an die getroffenen Vorbereitungen, haben wir das Referenzspektrum der Neon-Argon-Lampe aufgenommen und eine Wellenlängenkalibrierung vorgenommen. Diese Kalibrierung wird dann auf die aufgenommenen Mira-Spektren übertragen.

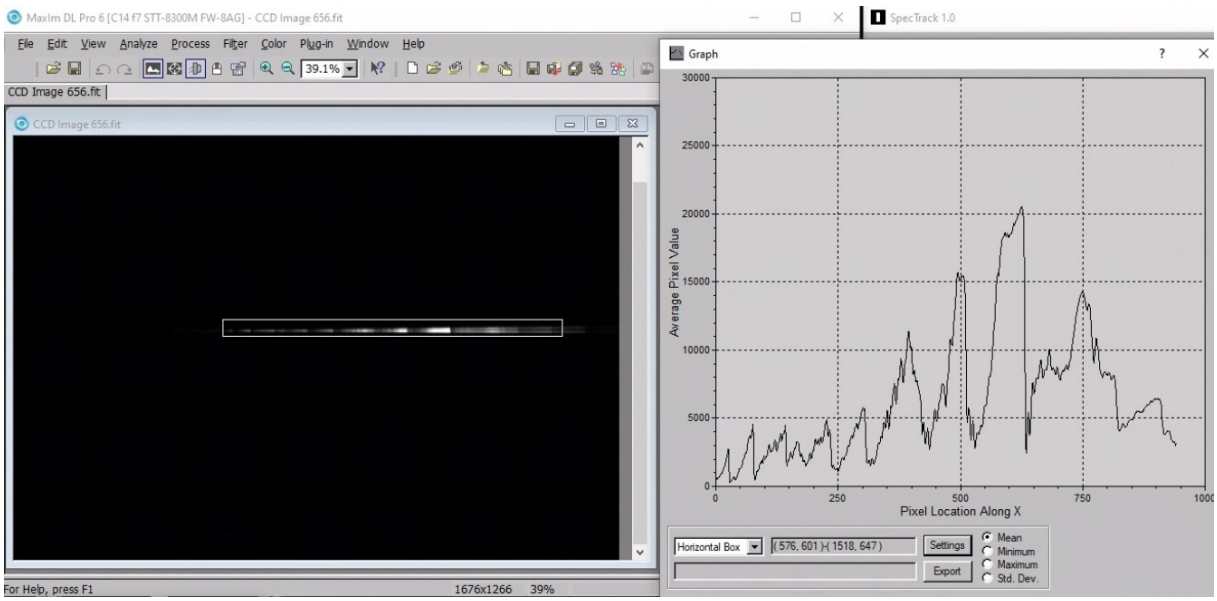


Abbildung 10: Testspektrum von Mira zur Ermittlung der Belichtungszeit

Nachdem der DADOS Spalt-Spektrograph kalibriert und das Referenzspektrum aufgenommen war, wurde ein Testspektrum von Mira aufgenommen. Anhand des Testspektrums wurde die optimale Belichtungszeit ermittelt. Mit der Aufnahme der Testspektren haben wir um 21:34 Uhr MEZ begonnen.

Durch verschiedene Einstellungen, haben wir die für uns optimale Belichtungszeit ermittelt. Zunächst hatten wir ein gesättigtes Testspektrum mit einer Belichtungszeit von 60 Sekunden aufgenommen, dieses war jedoch überbelichtet (Bild 11). Mit dieser Belichtungszeit und einem Binning von 1 konnten wir für uns die größtmögliche Auflösung erreichen (Bild 12).

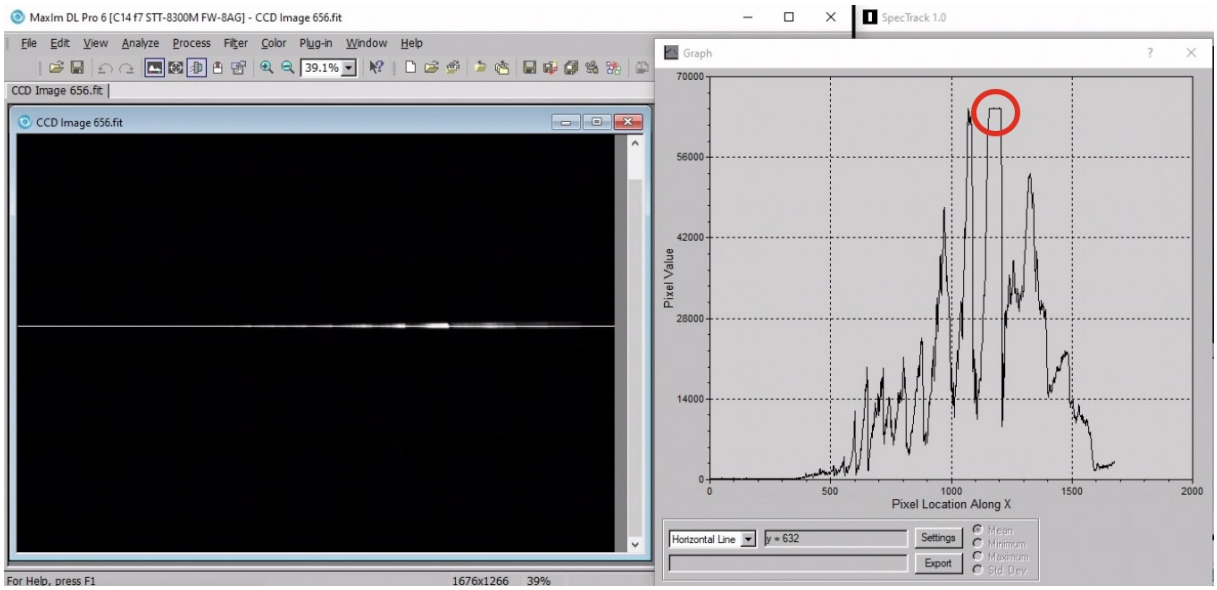


Abbildung 11: Gesättigtes Testspektrum

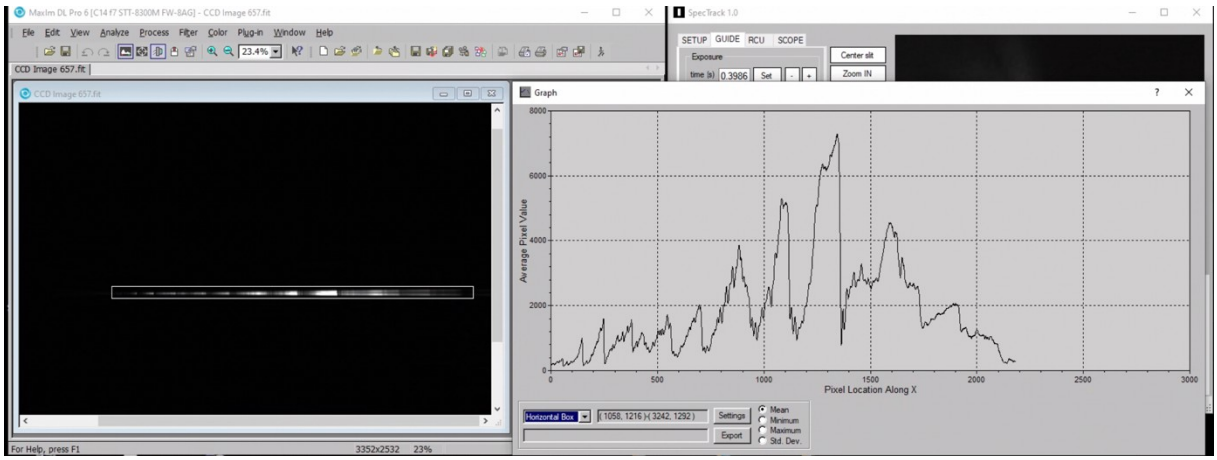


Abbildung 12: Spektrum von Mira, Belichtungszeit 60 Sekunden, Binning 1

Anschließend haben wir mit der Aufnahmeserie begonnen.

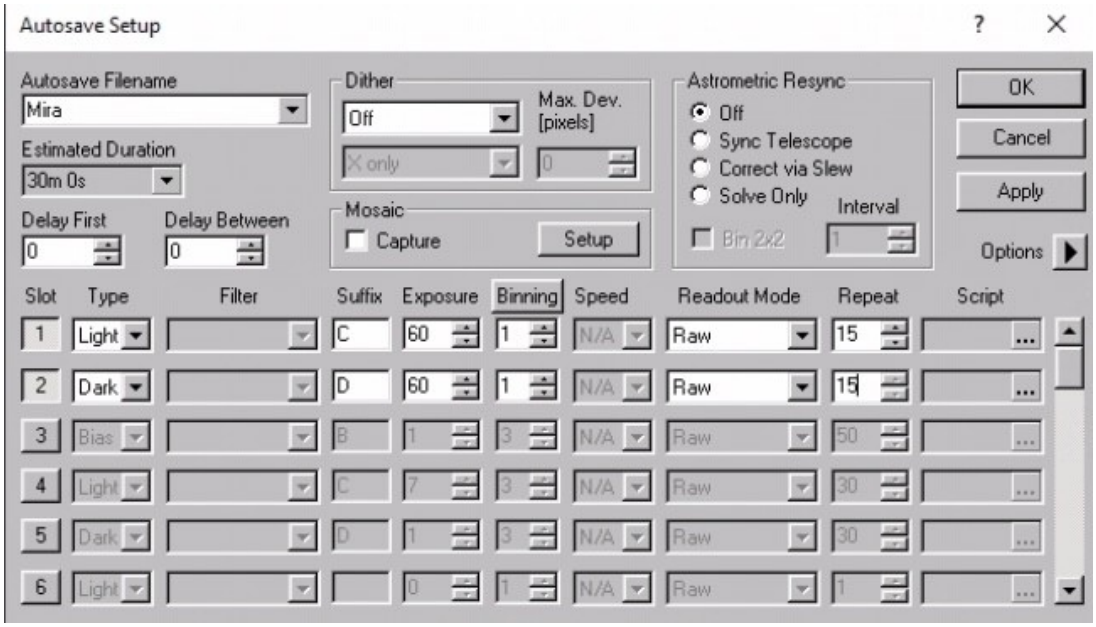


Abbildung 13: Aufnahmeserie von Lights und Darks in Autosave Setup

Bild 14 zeigt die Desktop-Anordnung beim Erstellen der Aufnahmeserie. Unten links sieht man die Einstellungen für die Spektren und rechts daneben die Einstellungen für die Kamera welche die Spektren aufnimmt. Unten in der Mitte, rechts neben den Kameraeinstellungen sieht man die Steuerung des Teleskops. Unten rechts in der Ecke sieht man das Teleskop und darüber den Spalt des DADOS Spalt-Spektrographen. Oben links sieht man, wie das Spektrum, welches gerade aufgenommen wird, aussieht. Wie man erkennen kann, hat Mira im Vergleich zum Referenzspektrum ein kompliziertes Molekülspektrum. Nach den spektroskopischen Aufnahmen haben wir auch die astrofotografischen Aufnahmen von Mira gemacht. Wir haben einen noch günstigen Zeitpunkt für diese Aufnahmen getroffen, da Mira als pulsationsveränderlicher Stern seine Helligkeit verändert. Die Helligkeitsmaxima können zwischen 1,4 mag und 4,9 mag schwanken, während die Minima zwischen 8,6 mag und 10,1 mag schwanken. Dadurch ist der Stern zeitweise einer der hellsten Sterne am Winterhimmel der nördlichen Hemisphäre und zeitweise einer der so schwach leuchtet, dass er mit bloßem Auge nicht zu sehen ist [2].

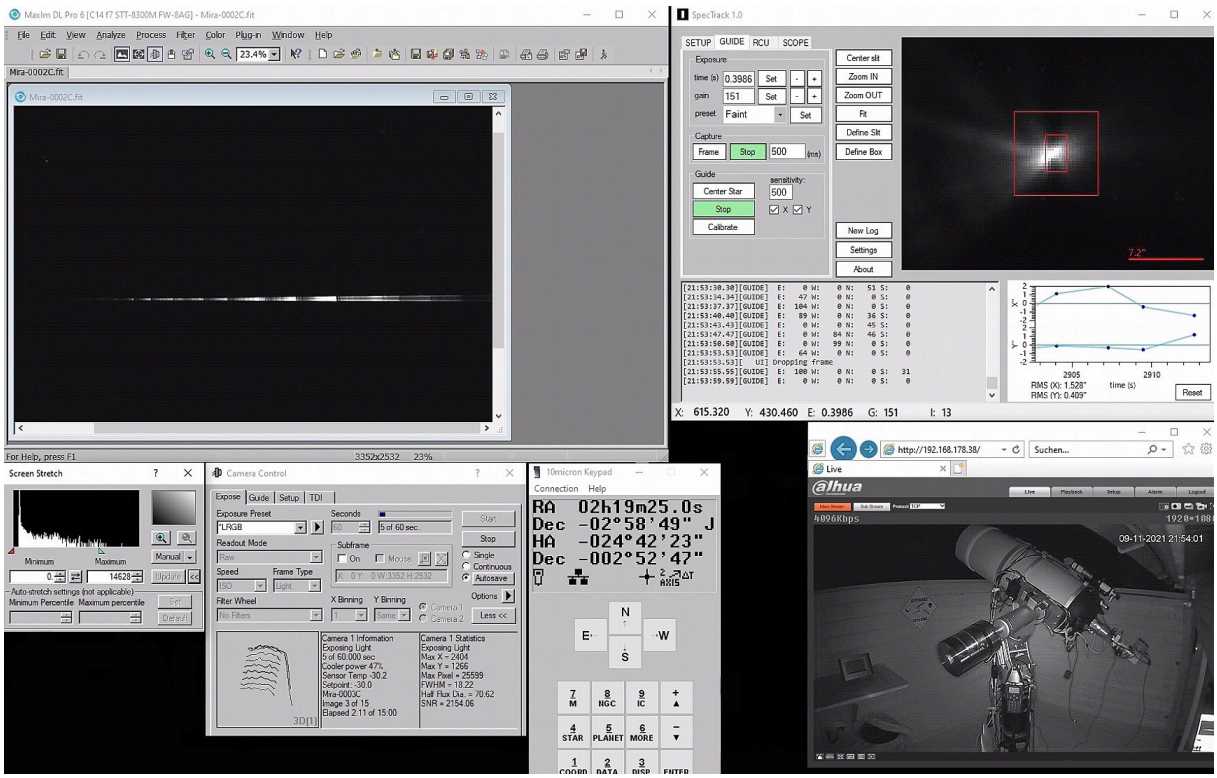


Abbildung 14: Desktopübersicht mit Aufnahmeserie des Spektrums, das Rohspektrum befindet sich oben links

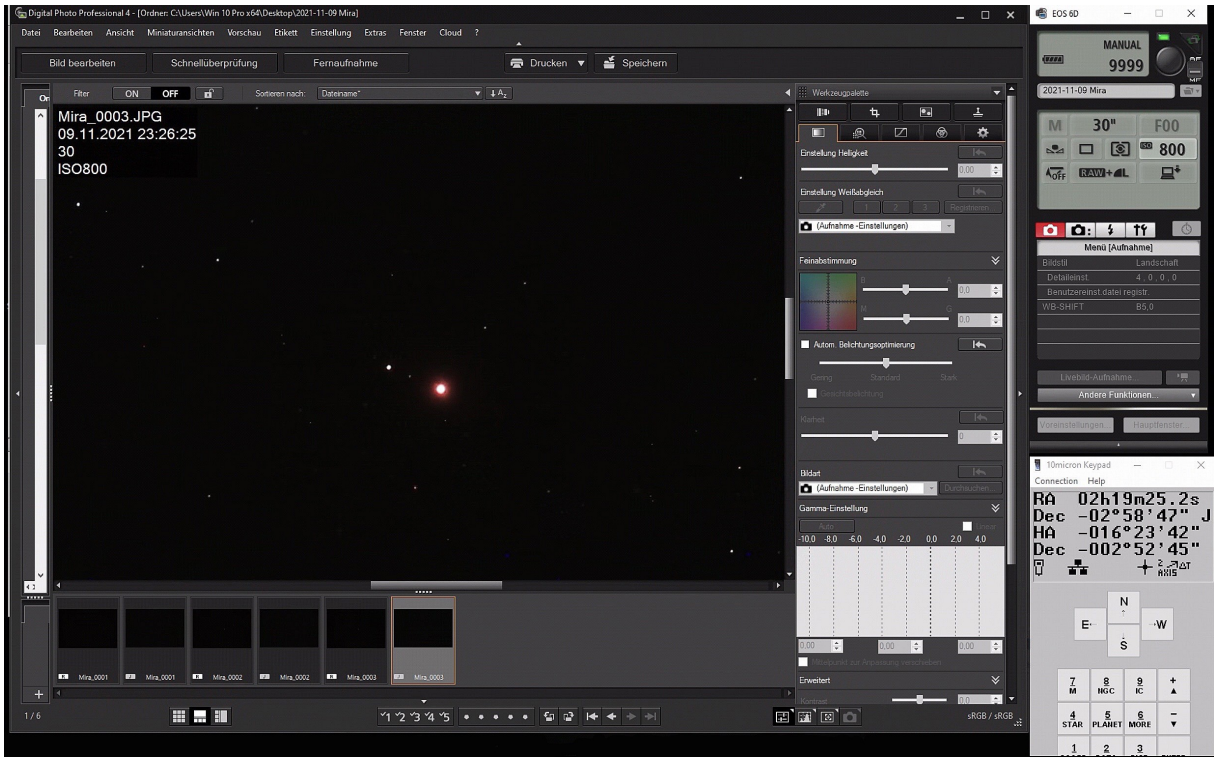


Abbildung 15: Desktopanordnung während der Aufnahme von Mira

Zum Zeitpunkt unserer Aufnahme hatte Mira eine Helligkeit von 6,45 mag, wodurch die rötliche Färbung deutlich hervorgehoben wird. Bei einer Magnitude größer als 5 mag ist Mira mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen.

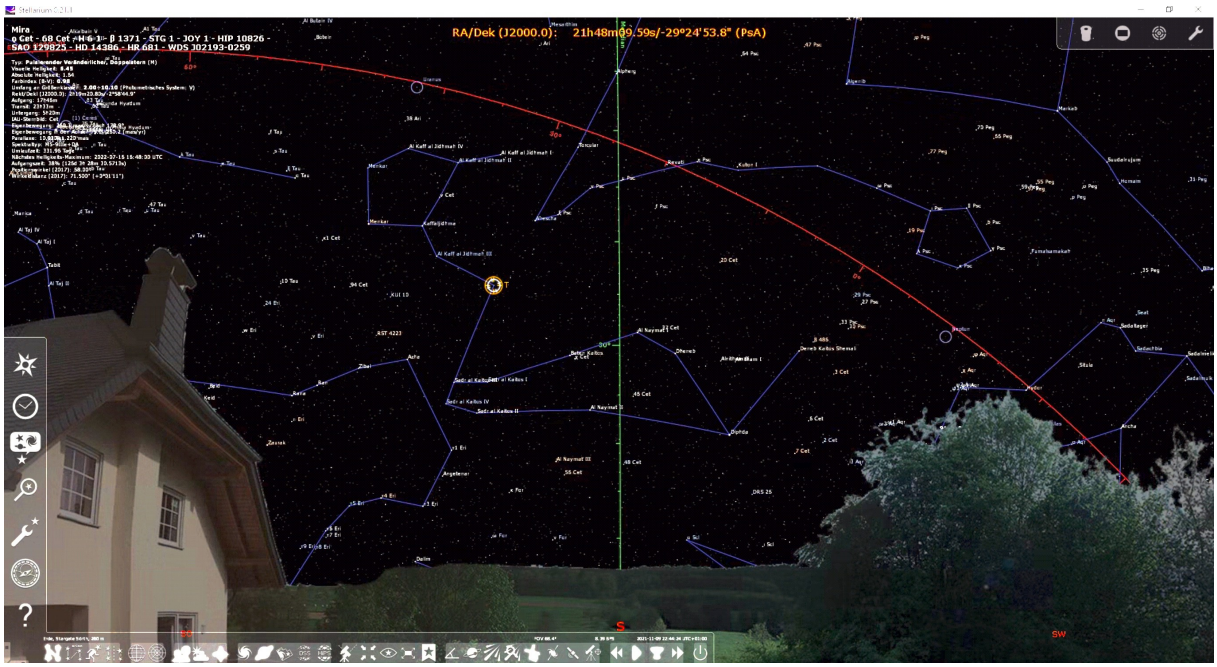


Abbildung 16: Sternbild Cetus mit markierter Position von Mira am Ende unserer Aufnahmen

Im Anschluss haben wir uns noch einmal im Programm Stellarium [9] die Position von Mira angesehen und das Sternbild Walfisch dargestellt, einmal mit Figur und einmal ohne.

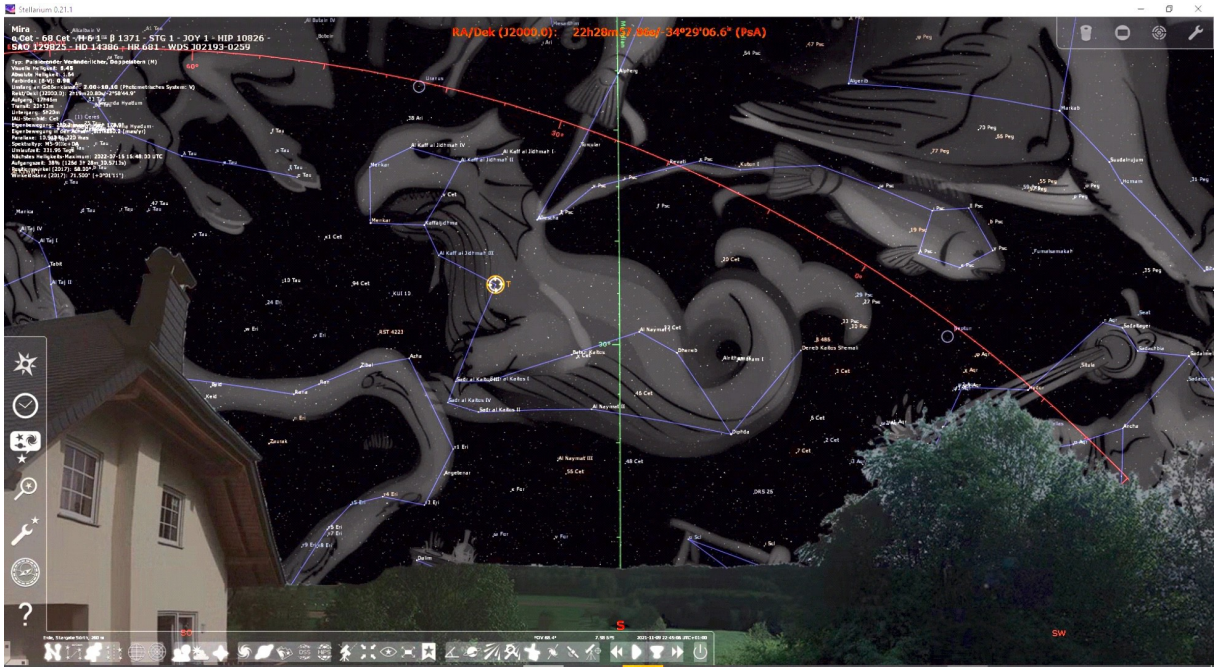


Abbildung 17: Sternbild Cetus mit markierter Position von Mira am Ende unserer Aufnahmen und mit der Figur des Walfischs

Insgesamt wurden 31 Bilder angefertigt, 21 von Mira und zehn so genannte Darks. Die Darks werden verwendet, um das Rauschen des Hintergrundes zu minimieren und den Bereich um die Sterne so schwarz wie möglich zu bekommen. Dadurch sind die Sterne und gegebenenfalls andere Objekte auf den Fotos besser zu sehen und scheinen zu leuchten.

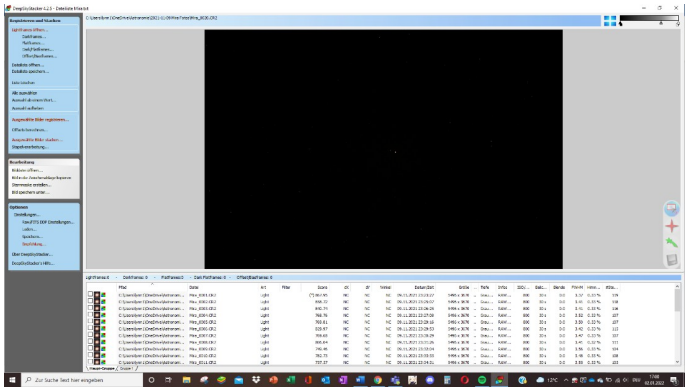


Abbildung 18: Programm DeepSkyStacker mit unbearbeiteter Aufnahme von Mira

Mit dem Programm DeepSkyStacker [10] haben wir die 21 einzelnen Bilder von Mira gestackt, um eine bessere Qualität sowie bessere Sichtbarkeit des Sternes zu erreichen. Beim Stacken wird aus den einzelnen Bildern ein optimiertes Gesamtbild errechnet.

Abbildung 19: Vollständig bearbeitete Aufnahme von Mira (Bildmitte)

Anschließend haben wir das Bild mit dem Programm Photoshop [11] optimiert. Wir haben Farbkorrekturen vorgenommen und das Bild aufgehellt.

Kalibrierung der Mira-Spektren

Wir haben von jedem Einzelspektrum von Mira ein Master Dark subtrahiert, sodass das Hintergrundrauschen so gut wie möglich ausgeblendet werden konnte. Ein Master Dark ist ein gemitteltes Dark. Die bearbeiteten Einzelspektren wurden anschließend zu einem Summenspektrum aufeinander addiert. Dies ist notwendig, um mögliche Fehler und Ungenauigkeiten der Einzelspektren zu korrigieren und somit ein möglichst klares und korrektes Spektrum zu erhalten.

Um möglicherweise thermische Verschiebungen im Spektrographen auszugleichen oder zumindest bemerken zu können, fertigten wir ein Referenzspektrum vor der Aufnahme der Miraspektren und ein Referenzspektrum nach der Aufnahme der Miraspektren.

Wir haben die Referenzspektren, bei denen genau bekannt ist an welcher Wellenlänge welche Bande zu finden ist, kalibriert und diese auf das Summenspektrum von Mira übertragen, wodurch auch die Wellenlängenkalibrierung unserer Spektren stimmt. Danach erfolgte die spektrale Kalibrierung des Summenspektrums von Mira, indem wir die Wellenlängenkalibrierung des Referenzspektrums der Neon-Argon-Lampe eins zu eins mit der Software Bass Project [6] auf das Spektrum von Mira übertrugen. Anschließend passten wir die Flusskalibrierung der Intensität mithilfe eines Referenzspektrums eines Sterns desselben Spektraltyps wie Mira an.

Ergebnisse

Unser Spektrum haben wir mit dem von Richard Walker [4] verglichen und so unsere Molekülbanden betitelt. Wir erhielten ein sehr interessantes Spektrum zum Aufnahmezeitpunkt, da Mira ein Stern ist, welcher seinen Spektraltyp verändern kann. Interessant wäre gewesen, Aufnahmen vom Helligkeitsminimum und -maximum anzufertigen und diese Spektren dann zu vergleichen. Zwischen Helligkeitsminimum und Helligkeitsmaximum liegen jedoch etwa 126 Tage, zwischen Helligkeitsmaximum und -minimum etwa 206 Tage.

Auffällig am Spektrum von Mira ist, dass es sowohl ein Absorptionsspektrum, als auch ein Emissionsspektrum ist. Wie man auf Bild 20 sehen kann, sind die Hγ- und Hδ-Linien (gelb beschriftete Linien, links) in Emission, während die Titanoxid-Banden (rot beschriftete Linien) in Absorption zu finden sind. Wir haben außerdem eine tellurische Sauerstoff-Linie (dunkelblau beschriftete Linie) im nahen Infrarotbereich und eine neutrale Calciumlinie (grün beschriftete Linie) im nahen Ultraviolettbereich in Absorption herausarbeiten können.

Eine auffällige Linie bei einer Wellenlänge von 5626 Å (türkisfarben beschriftete Linie) konnten wir nicht zuordnen, da diese nicht im Spektralatlas für Amateurastronomen von Richard Walker verzeichnet ist. In der NIST Atomic Spectra Database (National Institute of Standards and Technology) [5] haben wir nur den Vorschlag bekommen, dass es sich bei dem von uns gesuchten Element um Vanadium handeln könnte. Da wir nirgendwo einen Hinweis auf das Vorkommen von Vanadium in Mira gefunden haben, beschrifteten wir diese Linie mit Fragezeichen.

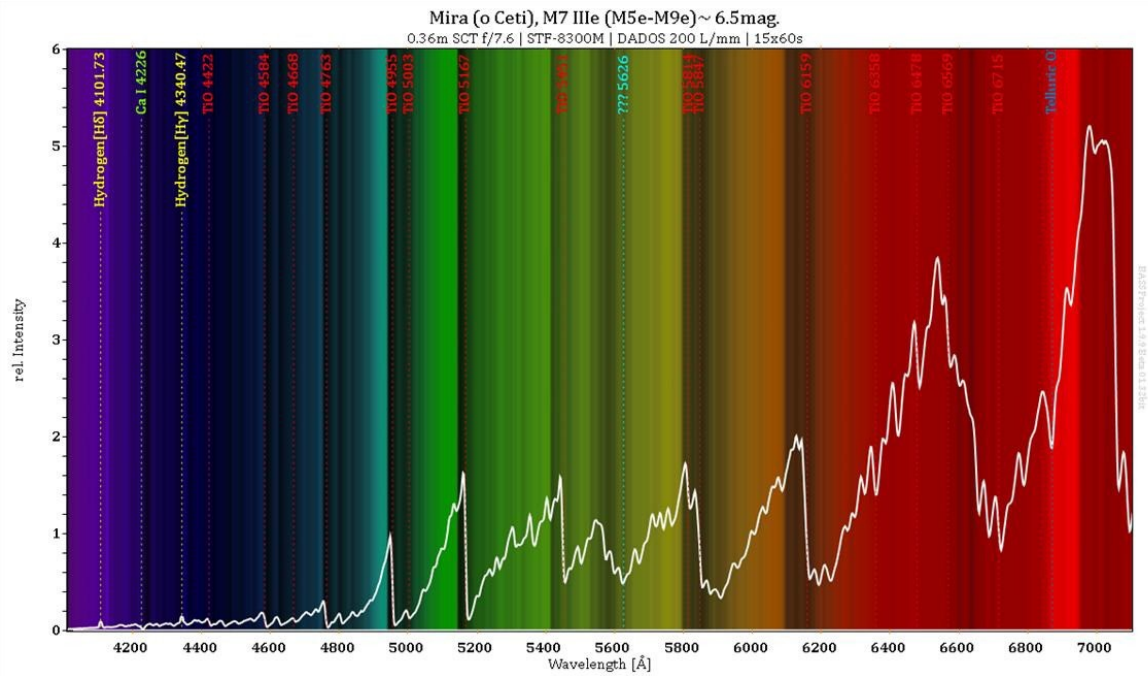


Abbildung 20: Vollständig bearbeitetes Spektrum von Mira

Aus der Untersuchung der Spektren lässt sich ableiten, dass Mira von einer dichten Hülle aus Titanoxid umschlossen ist. In den inneren Schichten des Sterns befindet sich in jedem Fall Wasserstoff. Dies lässt sich daran erkennen, dass die Wasserstofflinien der Balmer-Serie in Emission sind, also der Wasserstoff zum Leuchten angeregt wird. Die Titanoxid-Banden hingegen sind in Absorption, was bedeutet, dass Licht bei diesen Wellenlängen nicht durch die Titanoxid-Hülle nach außen dringen kann.

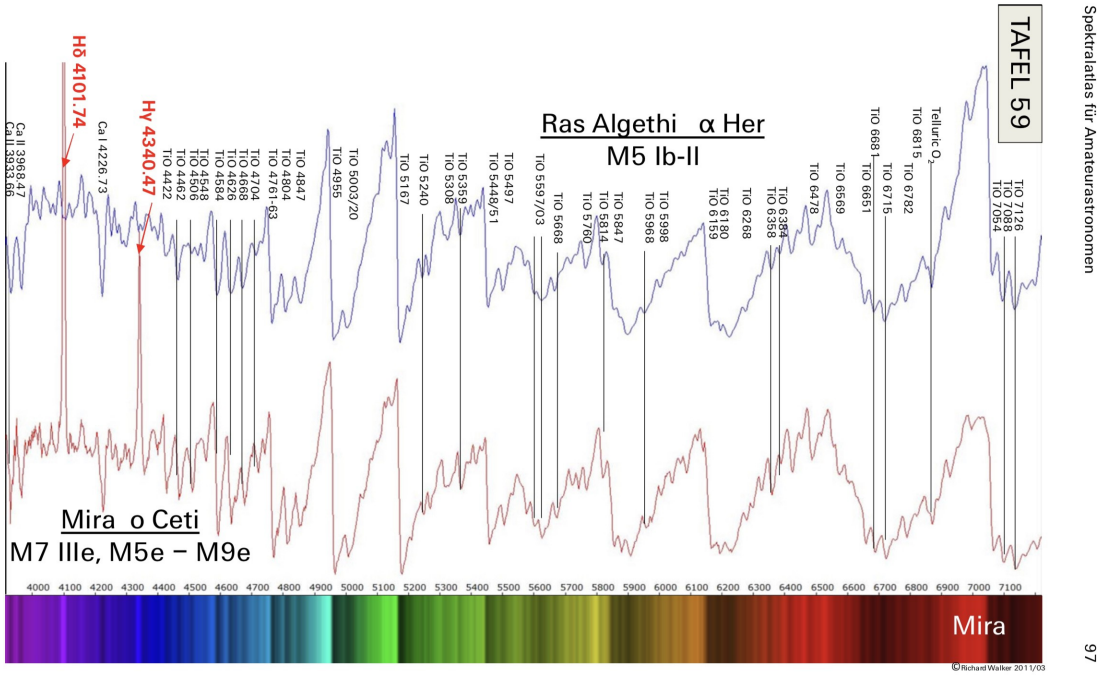


Abbildung 21: Vergleich von Mira mit einem Stern eines ähnlichen Spektraltyps von Richard Walker

Mira bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von 110 km/s durch den interstellaren Raum. Bei dieser hohen Geschwindigkeit löst sich ein Teil der Materie der äußeren Titanoxid-Hülle vom Stern und wird stattdessen in einer Art Schweif zurückgelassen [2].

In Bild 22 kann man sehr gut den Schweif erkennen, den Mira hinter sich herzieht. Das Material der Photosphäre von Mira interagiert mit dem Gas im interstellaren Raum, eines Tages wird sich daraus ein Planetarischer Nebel bilden.

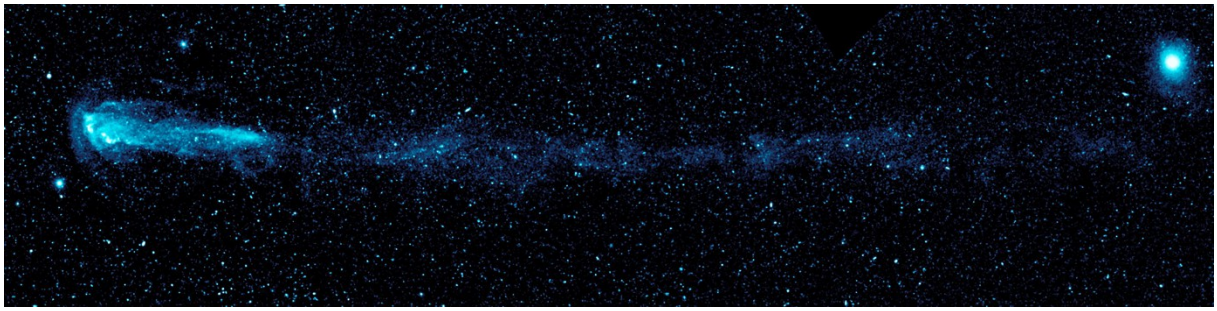


Abbildung 22: Im Infrarotbereich aufgenommenes Bild von Mira, Quelle: NASA

Bei der Untersuchung der astrofotografischen Aufnahme von Mira wirkt der Stern nicht mehr ganz so rötlich wie auf den Rohaufnahmen. Außerdem haben wir es nicht geschafft den Schweif von Mira mit aufzunehmen.

Abbildung 23: Vollständig bearbeitete und vergrößerte Aufnahme von Mira (Bildmitte)

Ergebnisdiskussion

Bei unseren Spektren ist es uns gelungen die Veränderlichkeit des Spektraltyps insofern einzufangen, als dass wir es geschafft haben, die Hγ- und die Hδ-Wasserstofflinien der Balmer-Serie in Emission darzustellen. Wir haben Mira mit einer Helligkeit von 6,45 mag aufgenommen, wäre die Magnitude größer als 7 mag gewesen, hätten wir diese Linien nicht mit aufnehmen können. Wir konnten ferner eine neutrale Calcium-Linie im nahen Ultraviolettbereich sowie eine tellurische Sauerstoff-Linie in Absorption aufnehmen.

Eine genaue Zuordnung der Bande bei einer Wellenlänge von 5626 Å ist uns nicht möglich, da wir bei unseren Recherchen in verschiedenen Datenbanken nur Vanadium als mögliches oder wahrscheinliches Element ermitteln konnten (s. Bild 24).

In der Literatur haben wir keine Hinweise auf die Existenz von Vanadium in Mira erhalten können. Die rosafarbene Zeile zeigt das Vanadium und die rotmarkierte Zahl die relative Intensität, also wie gut

sich dieses Element finden lässt. Vergleicht man diese Intensität mit der Intensität der anderen Elemente, die man möglicherweise finden könnte, lässt sich schließen, dass Vanadium mit Abstand das wahrscheinlichste Element ist.

Ac II	5 625.919	0.009	5 625.917	0.005	40			19 202.966	-	36 972.914	$6d^2$	a ^3P	2	$6d7p$	$^3F°$	3			L7344
Sm I	5 626.01	0.10			70														L3475
V I	5 626.017	0.003	5 626.0181	0.0006	330000	5.8e+06	C+	8 413.009	-	26 182.637	$3d^4(^5D)4s$	a ^6D	$^1/_2$	$3d^4(^5D)4p$	y $^6D°$	$^1/_2$		T9399	L15916
Th II	5 626.0599	0.0006	5 626.06015	0.00008	110			11 576.40136	-	29 345.89667	$5f6d(^1D°)7s$	$^2D°$	$^3/_2$	$5f^2(^3F)7s$		$^5/_2$			L5951
Th II	5 626.085	0.004	5 626.0791	0.0022	23			39 895.4244	-	57 664.860	$5f6d(^3G°)7p$		$^9/_2$		°	$^7/_2$			L2372
Th I	5 626.169	0.003	5 626.16694	0.00016	9			19 039.153374	-	36 808.3114	$6d7s^27p$	$^3P°$	2			3			L3552
Co III			5 626.26	0.06		1.5e-02	C	0.00	-	17 768.87	$3d^7$	a ^4F	$^9/_2$	$3d^7$	a ^2G	$^7/_2$	M1	u37	
Mg III	5 626.406	0.010	5 626.407	0.010	4			546 531.6	-	564 300.0	$2s^22p^5(^2P°_{3/2})4s$	$^2[^3/_2]°$	1	$2s^22p^5(^2P°_{3/2})4p$	$^2[^1/_2]$	0			L1434
Er II	5 626.53	0.10			80														L3475
Th II	5 626.7369	0.0007	5 626.73748	0.00019	91			19 912.3404	-	37 679.6967	$5f(^2F°)6d^2(^3F)$	$^4H°$	$^{13}/_2$	$5f7s(^3F°)7p$		$^{11}/_2$			L5951
Sr IV	5 626.927	0.020	5 626.936	0.022	18			342 636.27	-	360 403.00	$4s^24p^4(^3P_0)6s$	$^2[0]$	$^1/_2$	$4s^24p^4(^3P_1)6p$	$^2[1]°$	$^3/_2$			L4311
F I	5 626.93	0.03	5 626.91+	0.04	12			116 143.58	-	133 910.39	$2s^22p^4(^3P)3p$	$^4P°$	$^1/_2$	$2s^22p^4(^3P)4d$	^2P	$^1/_2$			L7481

Abbildung 24: Recherche in der NIST Database, rosafarben markierter Eintrag zeigt das Element Vanadium

Bei Nachforschungen über das Element Vanadium haben wir herausgefunden, dass es sich häufig in Spuren in anderen Mineralien, beispielsweise Titan-Magnetit-Erzen, findet. Außerdem kann Calcium als Reduktionsmittel verwendet werden, um Vanadium aus einer Verbindung zu lösen. Zusätzlich ähnelt Vanadium in den meisten Eigenschaften Titan [3].

Durch die spektroskopischen Aufnahmen und der Interpretation der Spektren ist es uns gelungen nachzuweisen, dass die Photosphäre von Mira Titanoxid enthält. Ferner findet sich in der Hülle das Element Calcium. In den inneren Schichten wurde Wasserstoff nachgewiesen. Unklar ist, ob sich auch Spuren von Vanadium in der äußeren Schicht befinden.

Der Nachweis der Existenz von Vanadium im Stern Mira wäre ein äußerst interessantes Thema für zukünftige Projekte.

Zusammenfassung

Warum ist der Mensch so fasziniert vom Sternenhimmel? Schon die Babylonier untersuchten diesen und brachten ihn als Teil des alltäglichen Lebens in Form ihrer Götter ein.

Wir wollten verstehen, was Generationen vor uns gesehen haben und welche Mythen und Legenden sich um die Sternbilder ranken. Fokussiert haben wir uns auf die Sternbilder am Herbst- und Winterhimmel der nördlichen Hemisphäre, genauer gesagt auf die Sternbilder der Perseus-Sage. Insbesondere haben wir die Sterne Algol und Navi/Tsih mit Hilfe astrofotografischer und spektroskopischer Aufnahmen untersucht.

Bei unseren Nachforschungen sind wir auf den Stern Mira im Sternbild Walfisch aufmerksam geworden, den wir im Rahmen von Jugend forscht genauer untersucht haben. Den, auf unseren Fotos sichtbaren, markant rötlichen pulsationsveränderlichen Stern Mira haben wir mit dem DADOS Spalt-Spektrographen untersucht und die chemische Zusammensetzung seiner Photosphäre bestimmt.

Dabei fanden wir heraus, dass die äußere Hülle von Mira Titanoxid enthält und in inneren Schichten Wasserstoff in Form der Balmer-Serie zu finden ist. Außerdem besteht eine geringe Möglichkeit, dass auch Vanadium ein Teil der Photosphäre ist.

Quellen

Literaturverzeichnis

[1] Lynn Ascheuer, Gloria Gabriel: „Sternbilder im Vergleich – wissenschaftliche und kulturelle Hintergründe“, Wuppertal, 19.05.2021, S. 48
https://www.schuelerlabor-astronomie.de/wp-content/uploads/2021/06/Lynn-Ascheuer-Gloria-Gabriel-Sternbilder-2.pdf
(zuletzt abgerufen am 13.01.22)

[2] https://de.m.wikipedia.org/wiki/Mira_(Stern)
(zuletzt abgerufen am 09.01.22)

[3] https://de.wikipedia.org/wiki/Vanadium
(zuletzt abgerufen am 09.01.22)

[4] https://www.cambridge.org/de/academic/subjects/physics/amateur-and-popular-astronomy/spectral-atlas-amateur-astronomers-guide-spectra-astronomical-objects-and-terrestrial-light-sources?format=HB&isbn=9781107165908
(zuletzt abgerufen am 13.01.22)

[5] https://www.nist.gov/pml/atomic-spectra-database
(zuletzt abgerufen am 13.01.22)

Benutzte Software

[6] https://groups.io/g/BassSpectro

[7] https://www.baader-planetarium.com/de/software/spectrack-autoguiding-software-für-sternspektroskopie.html

[8] https://diffractionlimited.com/product/maxim-dl/

[9] https://stellarium.org/de/

[10] http://deepskystacker.free.fr/german/

[11] https://www.adobe.com/de/products/photoshop.html

[12] https://anydesk.com/de

Bildquellen

Titelbilder: oberes Bild: https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/20070815/a.html
(zuletzt abgerufen am 13.01.22)
unteres Bild: eigene Aufnahme

Bild 1: https://en.wikipedia.org/wiki/Cetus#/media/File:Sidney_Hall_-_Urania's_Mirror_-_Psalterium_Georgii,_Fluvius_Eridanus,_Cetus,_Officina_Sculptoris,_Fornax_Chemica,_and_Machina_Electrica.jpg
(zuletzt abgerufen am 13.01.22)

Bild 2-20, 23: eigene Aufnahmen

Bild 21: Richard Walker: „Spektralatlas für Amateurastronomen“, S. 97

Bild 22: https://www.nasa.gov/mission_pages/galex/20070815/a.html
(zuletzt abgerufen am 09.01.22)

Bild 24: https://physics.nist.gov/cgi-bin/ASD/lines1.pl?spectra=&limits_type=0&low_w=5620&upp_w=5630&unit=0&submit=Retrieve+Data&de=0&format=0&line_out=0&en_unit=0&output=0&bibrefs=1&page_size=15&show_obs_wl=1&show_calc_wl=1&unc_out=1&order_out=0&max_low_enrg=&show_av=2&max_upp_enrg=&tsb_value=0&min_str=&A_out=0&intens_out=on&max_str=&allowed_out=1&forbid_out=1&min_accur=&min_intens=&conf_out=on&term_out=on&enrg_out=on&J_out=on
(zuletzt abgerufen am 09.01.22)

Unterstützungsleistungen

Herr Bernd Koch, Physiker, Carl-Fuhlrott-Gymnasium Wuppertal, hat uns bei der Erstellung der Arbeit unterstützt. Er ermöglichte uns die Nutzung seiner technischen Ausstattung und half uns bei den erforderlichen Vorarbeiten.