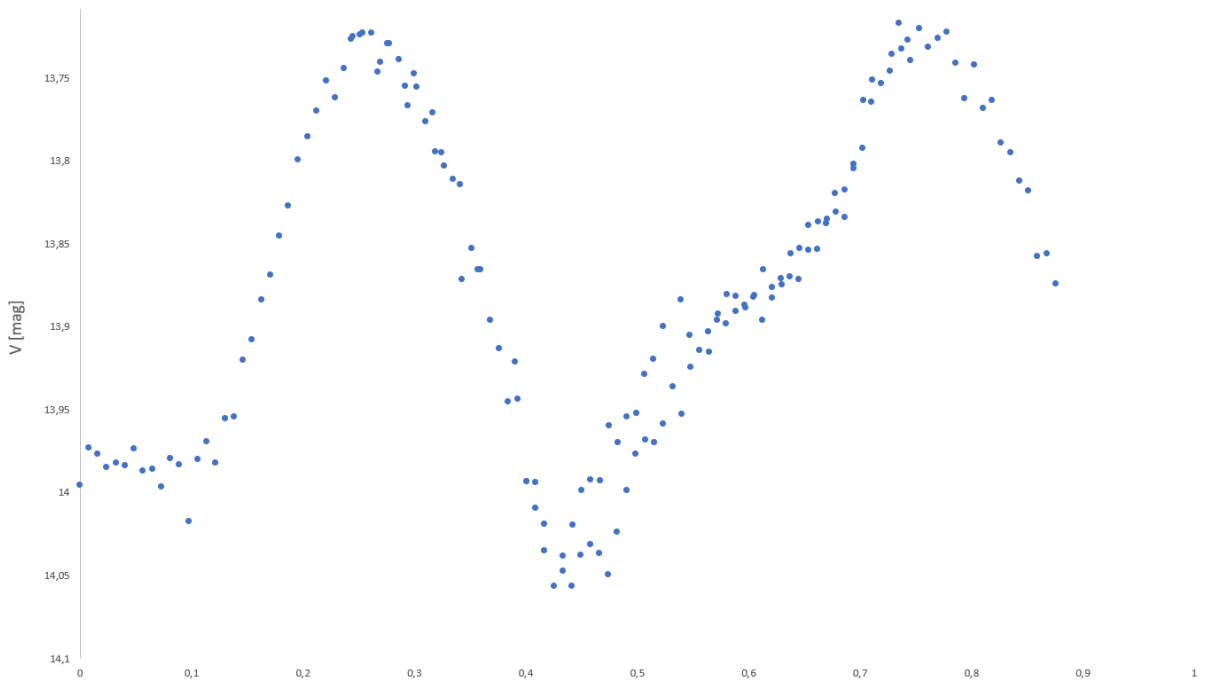
Untersuchung des Rotationslichtwechsels des Hauptgürtelasteroiden (800) Kressmannia



Projektarbeit im Rahmen des Projektkurses Astronomie 2020/21 am CFG Wuppertal

Isabel Rebecca Kock

Jahrgangsstufe Q1

E-Mail: isabel.kock@gy-cfg.de

Carl-Fuhlrott-Gymnasium

Kursleitung: Bernd Koch

Abgabedatum: 19.05.2021

Inhalt

1. Einleitung ... 2
2. Motivation ... 3
3. Kleinplaneten ... 4
3.1. Unterscheidung von Himmelsobjekten ... 4
3.1.1. Definition ... 4
3.1.2. Begriffsabgrenzung ... 4
3.2. Entstehung ... 5
3.3. Geschichte ... 5
3.3.1. Raumsonden zu Kometen und Asteroiden ... 6
3.4. Ordnung der Kleinplaneten ... 7
3.4.1. Nomenklatur ... 7
3.4.2. Klassifikation ... 9
3.5. Einführung ausgewählter Kleinplaneten ... 16
3.5.1. Zwergplanet (134340) Pluto ... 16
3.5.2. Kleinplanet (800) Kressmannia ... 17
4. Messmethoden ... 18
4.1. Astrometrie – Bestimmung von Positionen ... 18
4.2. Photometrie – Messung der Lichtintensität ... 20
5. Eigene Aufnahmen und Messungen ... 21
5.1. Equipment zur Astrofotografie ... 21
5.1.1. Teleskope ... 21
5.1.2. Filter ... 22
5.1.3. Kameras ... 22
5.2. Verwendete Software ... 23
5.2.1 Astrometrica ... 23
5.2.2. Maxim DL ... 23
5.2.3. MuniWin ... 23
5.2.4. PerSea ... 23
5.3. Astrometrie von Kressmannia ... 23
5.4. Photometrie von Kressmannia ... 29
6. Abschließendes Fazit ... 39
7. Glossar ... 40
8. Danksagung ... 42
9. Hinweise zu den verwendeten Quellen ... 43
10. Abschlusserklärung ... 46

1. Einleitung

Die Astronomie ist eine Wissenschaft, welche die Menschheit seit dem Anbeginn der Zeit begleitet. Begann sie als Astrologie, also der Deutung von Sternen und deren Konstellationen, liegt der heutige Fokus der Wissenschaft eher auf der Beobachtung, Auswertung und Erklärung astronomischer Ereignisse. Die Astronomie ist sehr vielfältig und enthält kombiniert mit der Mathematik und der Physik die Teilgebiete Astrometrie und Astrophysik oder aber in anderer Kombination die Astrobiologie, um nur drei Beispiele zu nennen.

Bereits zu Beginn des 17. Jahrhunderts gab es Teleskope, die für astronomische Zwecke gebaut wurden. Zu der Zeit beschäftigte man sich intensiv mit der Untersuchung des eigenen Sonnensystems und fand neben den klassischen Planeten ab dem 19. Jahrhundert auch erste Kleinplaneten. Mit der raschen technologischen Entwicklung hinsichtlich der Teleskope, aber auch der neuen Kameratechnik, konnten immer präzisere Beobachtungen gemacht werden. Der Schwerpunkt des öffentlichen Interesses verlagerte sich auf fremde Sternensysteme und die kleinen und großen Steinbrocken unseres Sonnensystems wanderten in den Hintergrund. Doch auch wenn alle ehemaligen „Geheimnisse“ unseres Planetensystems gelüftet zu sein scheinen, zeigt die Frage nach dem Ursprung, nach der Entstehung von Leben, Planeten und dem Universum an sich noch immer große Unklarheiten auf. Die unscheinbaren Kleinplaneten könnten dahingehend aufschlussreich sein, dass sie größtenteils unveränderte Relikte der Planetenentstehungsphase sind.

Aber selbst wenn sich das Interesse für den Ursprung unserer Heimat in Grenzen hält, sollte die Auseinandersetzung mit dem Thema „Kleine Körper unseres Sonnensystems“ nicht gescheut werden. Jeder scheint den Meteoriteneinschlag als hypothetische Ursache für das Aussterben der Dinosaurier sowie zahlreiche dystopische Katastrophenfilme über derartige Einschläge zu kennen, doch glauben die meisten nicht, Gefahr zu laufen, selbst Opfer eines solchen Ereignisses zu werden. Das Risiko besteht, denn es kreisen zahlreiche Körper in Erdnähe um die Sonne und immer wieder treten Objekte in die Erdatmosphäre ein, in der sie durch ihre kleine Größe meist vollständig verglühen.

Außerdem könnte es vielversprechend sein bei zukünftig noch verschärfterer Ressourcenknappheit auf der Erde beispielsweise metallische Kleinplaneten auszuschöpfen. Inwiefern dieses Vorhaben möglich und lohnend ist, wird sich in den kommenden Jahrzehnten zeigen.

2. Motivation

Vor mittlerweile über zwei Jahren besuchte ich zum ersten Mal am „Tag der offenen Tür“ die Sternwarte auf dem Dach des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums (CFG). Zu der Zeit ging ich noch auf eine andere Schule, die im Bereich der Naturwissenschaften viel weniger Möglichkeiten bot. An jenem Tag wurde mir angeboten mal in den Astro-Treff hineinzuschnuppern, obwohl ich nicht einmal Schülerin des CFGs war. Seitdem kam ich an jedem Montagnachmittag her und lernte viel über verschiedenste Themen. Ich sah zahlreiche Schülerinnen und Schüler vor mir an Projektarbeiten schreiben und war jedes Mal fasziniert von den vielfältigen Themen wie der Kolonialisierung des Mars, der Nachweis von Exoplaneten, der Spektroskopie von Planetarischen Nebeln und vielen mehr. Damit ging allerdings auch einher, dass die Wahl eines Themas für meine Projektarbeit immer schwieriger wurde. Zum einen wollte ich nicht unbedingt ein Thema wählen, das schon oftmals vor mir bearbeitet wurde und zum anderen fand ich mittlerweile einfach Vieles so spannend, dass ich daran weiter forschen wollen würde.

Im Dezember 2018 nahmen wir Fotos des Kometen 46P Wirtanen auf und bearbeiteten diese später in der Astro-AG. In der Phase der Themenfindung erinnerte ich mich an dieses Ereignis und überlegte, inwiefern man eine Arbeit über einen Kometen anfertigen könnte. Hierbei würde jedoch das Problem auftreten, dass man nicht allzu einfach Aufnahmen eines beliebigen Kometen anfertigen kann. Viele sind zu lichtschwach oder in dem Zeitraum des Projektkurses gar nicht in ausreichender Nähe zur Erde. Dementsprechend musste ich mich nach Absprache mit Herrn Koch etwas umorientieren und wählte das Thema Kleinplaneten.

Ich mag es sehr mit Hilfe naturwissenschaftlicher Theorien Prozesse, die in der direkten Umgebung ablaufen, ein Stück weit nachvollziehen zu können. Ziel dieser Projektarbeit ist daher, das Verhalten eines ausgewählten Kleinplaneten erfassen und dadurch seine Rotationsperiode bestimmen zu können. Mit meiner Arbeit möchte ich auch den Weg für weitere Schülerinnen und Schüler ebnen, die sich für das Thema interessieren, aber noch nicht so gut auskennen. Daher habe ich besonderen Wert auf die Klassifikation der Kleinplaneten gelegt (siehe Seite 9). Zudem gibt es ein Glossar mit einigen Begriffserklärungen (siehe Seite 40).

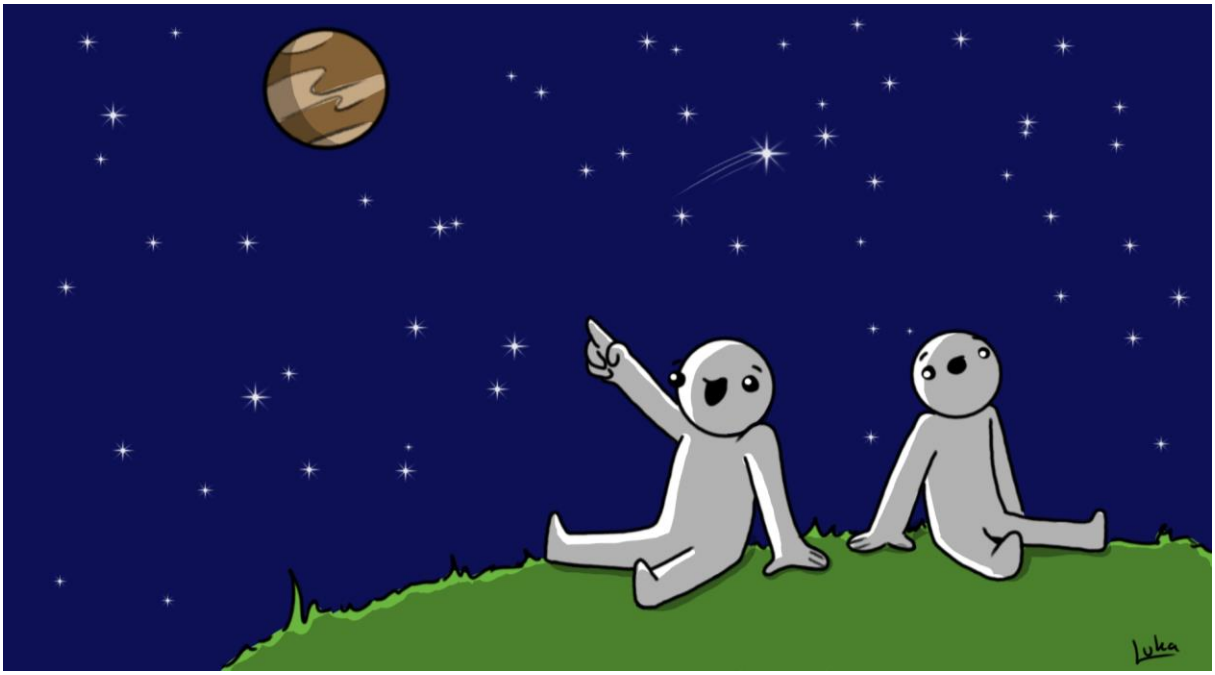


Abbildung 1: Cartoon von Luka J. „Zwergplaneten“

3. Kleinplaneten

3.1. Unterscheidung von Himmelsobjekten

3.1.1. Definition[1]

Der Begriff des Planeten wurde erstmals auf einer Versammlung der Internationalen Astronomischen Union (IAU) 2006 definiert. Es wurde ein System entwickelt, wodurch Himmelskörper bis auf Monde in folgende Kategorien eingeteilt werden können:

(1) Planeten sind selbst keine Sterne und kreisen auf einem Orbit um die Sonne, der durch sie selbst von anderen Körpern befreit wurde. Außerdem erlangen sie durch ihre hohe Masse eine nahezu kugelförmige Gestalt.
(2) Zwergplaneten sind keine Monde, befinden sich wie die Planeten auf einem Orbit um die Sonne und haben eine annähernd kugelförmige Gestalt. Im Gegensatz zu den Planeten haben Zwergplaneten ihre Umlaufbahn nicht frei geräumt.
(3) Kleine Körper im Sonnensystem sind, bis auf Monde, alle weiteren Objekte, die die Sonne umkreisen. Hierzu gehören auch Asteroiden, Objekte des Kuiper-Edgeworth-Gürtels und der Oort'schen Wolke.

3.1.2. Begriffsabgrenzung

Begriffe wie Meteoroid, Asteroid, Kleinplanet oder Komet werden im täglichen Sprachgebrauch teilweise synonym verwendet oder auch verwechselt. Dabei gibt es zwischen einigen der durch jene Begriffe bezeichneten Objekte gravierende Unterschiede. Ohne ins Detail zu gehen, sollen diese hier erläutert werden, um eine zukünftige Verwechslung zu vermeiden. Kleinplaneten und Planetoiden bezeichnen die gleichen um die Sonne kreisenden Himmelsobjekte jeder Größe.[2] Dazu gehören unter anderem Zwergplaneten, die genügend Masse besitzen, *„um durch Eigengravitation […] eine (nahezu runde) hydrostatische Gleichgewichtsform anzunehmen"* [3] und Asteroiden (griechisch für „sternähnlich" [4]), die nur Kleinkörper innerhalb der Neptunbahn umfassen und mindestens einige Meter groß, aber kleiner als Zwergplaneten sind.[5] Die Meteoroide sind kleine Körper auf einer Bahn um die Sonne, die mit einer Größe im Millimeter- bis Meterbereich kleiner sind als Asteroiden. Zu einem Meteor (griechisch für „Himmelserscheinung" [6]) werden sie, wenn sie auf die Erde stürzen und in der Hochatmosphäre als „Sternschnuppe" verglühen. Verglüht ein Meteoroid nicht vollständig, schlägt er als Meteorit in den Erdboden ein.[7] Kometen sind einige Kilometer große Körper aus dem äußeren und wesentlich kälteren Bereich des Sonnensystems, die sich entweder auf einer periodischen Bahn um die Sonne befinden oder nur einmalig an ihr vorbeiziehen und nicht wiederkehren. Während sie sich auf die Sonne zu bewegen, bilden sie um den Kometenkern erst eine Koma aus sublimierendem Eis und Staub und in schwindender Distanz zu der Sonne den charakteristischen Schweif aus.[8,9]

---

[1] DLR – Unser Sonnensystem (2010, aktualisierte Auflage) S.55
[2] https://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/planeten/kleinplaneten.html
[3] Dr. Erik Wischnewski – Astronomie in Theorie und Praxis (2018, 8. Auflage) S. 714, Definition
[4] https://www.duden.de/rechtschreibung/Asteroid
[5] https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroid
[6] https://www.duden.de/rechtschreibung/Meteor
[7] https://www.timeanddate.de/astronomie/sternschnuppe/meteor-unterschied
[8] https://www.planet-wissen.de/natur/weltall/kometen/index.html
[9] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kometen/8190

3.2. Entstehung

Abbildung 2: Künstlerische Darstellung der Planetenentstehungsphase

Nachdem vor über 4,6 Milliarden Jahren die Sonne entstanden war, konnten sich aus der verbleibenden Gas- und Staubscheibe zunächst primitive Kleinkörper bilden, die durch Kollisionen und die zusammenhaltende Gravitationskraft im Laufe der Zeit zu immer größeren Körpern und schließlich Planeten heranwuchsen. Heutige Kleinkörper sind vermutlich Relikte der Planetenentstehungsphase mit größtenteils unveränderter Beschaffenheit.[10] Vor allem durch die gravitativen Einflüsse der großen Planeten wurden sie auf ihre heutigen, periodischen Umlaufbahnen gezwungen. Verringert sich die Distanz zu einem der Planeten, kann es dazu kommen, dass die Körper kollidieren oder der kleinere als natürlicher Satellit eingefangen wird. Andererseits könnte er auch aus seiner Umlaufbahn geschleudert werden, sodass er sich auf einem anderen Orbit bewegt oder sogar vollständig das Sonnensystem verlässt.

3.3. Geschichte

Bereits der deutsche Mathematiker Johannes Kepler (1571-1630) untersuchte die Planetenbahnen auf geometrische Eigenschaften und vermutete zwischen Mars und Jupiter einen weiteren Planeten.[11] Der Verdacht verstärkte sich durch die 1766 von Johann D. Titius (1729-1796) entdeckte und Johann E. Bode (1747-1826) bekannt gemachte Titius-Bode-Reihe, die näherungsweise den mittleren Bahnradius der Planeten durch eine einfache mathematische Formel beschreibt und eine Planetenbahn zwischen Mars und Jupiter aufzeigt.[12,13] Infolgedessen entstand 1800 die „Himmelspolizey“, eine internationale Kooperation von Sternwarten in Europa, deren Ziel das Finden des unbekannten Himmelskörpers mittels systematischer Suche war.[14] Der erste Asteroid wurde schließlich in der Neujahrsnacht 1801 von Giuseppe Piazzi (1746-1826), der zu jener Zeit Direktor der Sternwarte Palermo war, bei der Anfertigung einer Himmelskarte zufällig entdeckt. Er benannte ihn nach der Schutzheiligen Siziliens und Göttin der Vegetation Ceres und hatte zugleich den mit einem Durchmesser von rund 1000 km noch heute größten Asteroiden in vorausgesagter Sonnenentfernung gefunden.[15] In den Folgejahren registrierte Heinrich W. M. Olbers (1758-1840) die Kleinplaneten Pallas und Vesta, beide in ähnlicher Sonnenentfernung wie Ceres im Hauptgürtel (siehe 3.4.2. Klassifikation).[16] Da sich die Funde immer weiter häuften, wurden die Planeten 1851 auf acht beschränkt und die restlichen Körper der neuen Objektklasse der Kleinplaneten zugeordnet. Durch die Astrofotographie beschleunigt waren Ende des 19. Jahrhunderts bereits 300 Asteroiden bekannt.[17] Die Entwicklung der CCD-Kameratechnik bot ein weiteres großes Potential für Astronomen ab dem

[10] DLR – Unser Sonnensystem (2010, aktualisierte Auflage), S. 59
[11] http://www.planetenkunde.de/p009/p00904/p0090403001.htm
[12] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/titius-bode-beziehung/14574
[13] https://www.welt.de/wissenschaft/weltraum/article130424690/Planetenformel-irrer-Zufall-oder-Naturgesetz.html
[14] https://www.deutschlandfunk.de/erste-internationale-astronomische-vereinigung-die.732.de.html?dram:article_id=484400
[15] DLR – Unser Sonnensystem (2010, aktualisierte Auflage), S. 33
[16] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/olbers/10637
[17] Rainer Kaltenböck-Karow – Weltraumarchäologie "Die Götter waren schon da", S. 33

20. Jahrhundert, da nun auch sehr lichtschwache Objekte ausfindig gemacht werden konnten. Heute sind mehr als eine Millionen Kleinplaneten in unserem Sonnensystem bekannt.[18] Ein erheblicher Anteil neu entdeckter Körper wird heute durch automatisierte Suchprogramme gefunden, die gezielt den Nachthimmel zum Beispiel hinsichtlich erdnaher Asteroiden durchmustern.[19] Mittels fotografischer Untersuchungen und Radarmessungen können dann sogar Eigenschaften wie die Umlaufbahn, Größe und Form des Körpers bestimmt werden. Durch Raumsonden können von Asteroiden Proben entnommen und Aufnahmen angefertigt werden, was die weitere Forschung vorantreibt.[20,21]

3.3.1. Raumsonden zu Kometen und Asteroiden[22]

Die erste Mission zu einem Kometen ISEE-3/ICE startete bereits im August 1978 und wurde von der NASA in den USA gesteuert. Mit Hilfe der Raumsonde konnten das Erdmagnetfeld und mehrere Kometen in geringer Distanz erforscht werden. Zwei Jahre später folgte die nächste Mission der NASA: NEAR Shoemaker. Die Sonde flog an einem Asteroiden vorbei und landete nach einer Umrundung des Asteroiden Eros als erste auf dessen Oberfläche. Im Mai 2003 startete die Raumsonde Hayabusa der japanischen Raumfahrtbehörde JAXA. Sie erreichte nach zwei Jahren den Asteroiden Itokawa und konnte nach einigen technischen Schwierigkeiten 2010 erstmals Bodenproben des Asteroiden für genauere Untersuchungen zu der Erde bringen. Die Mission New Horizons der NASA begann 2006 und führte nach fast neun Jahren als erste zu dem Zwergplaneten Pluto. Dabei konnten viele detailreiche Aufnahmen von Pluto und seinem Mond Charon angefertigt werden. Dawn, eine weitere, 2007 begonnene Mission der NASA, untersuchte aus dem Orbit des Asteroiden Vesta dessen inneren Aufbau. Es konnte ein planetenähnlicher Schichtenaufbau festgestellt werden. Danach bewegte sich die Sonde zur Kartografierung des Zwergplaneten Ceres in eine neue Umlaufbahn. Eine noch laufende Mission der NASA ist OSIRIS-Rex. Die Sonde befindet sich seit 2016 auf dem Weg zu dem Asteroiden Bennu und soll nach Ankunft eine Bodenprobe zu der Erde bringen. In den kommenden Jahren sind noch weitere Missionen geplant. Unter anderem soll die Sonde Lucy an Asteroiden des Hauptgürtels vorbeifliegen und daraufhin die Trojaner des Jupiters untersuchen. Außerdem gibt es Planungen mit Hilfe von Robotern zukünftig wertvolle Materialien von Asteroiden abzubauen.

Abbildung 3: Künstlerische Darstellung der Sonde Hayabusa bei der Entnahme einer Probe des Asteroiden Itokawa (2003-2010)

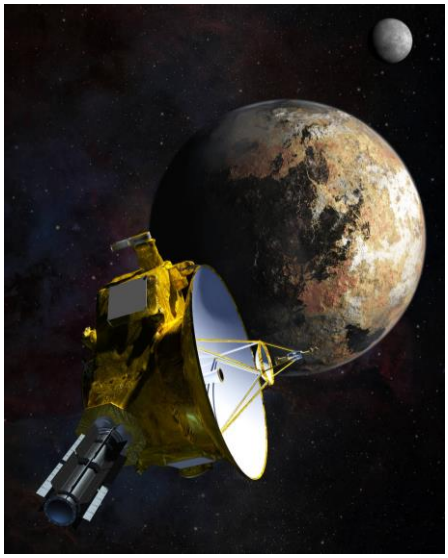


Abbildung 4: Künstlerische Darstellung der Sonde New Horizons nahe dem Pluto und seinem größten Mond Charon (2006-heute)

[18] https://ssd.jpl.nasa.gov/?body_count
[19] https://www.nasa.gov/planetarydefense/neoo
[20] https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-osiris-rex-mission-plans-for-may-asteroid-departure
[21] https://www.youtube.com/watch?v=j_hSNBmpuqY
[22] https://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Raumsonden_zu_Kometen_und_Asteroiden

3.4. Ordnung der Kleinplaneten

3.4.1. Nomenklatur[23]

Die zuerst entdeckten Kleinplaneten erhielten Namen aus der griechischen und römischen Mythologie. Als immer mehr Objekte entdeckt wurden, wich man auf allerlei Namen aus Film und Fernsehen, der Geschichte sowie der Literatur aus. Viele Entdecker benannten ihre Funde auch nach Angehörigen oder Orten. Dabei gab es zunächst eine inoffizielle Tradition ausschließlich weibliche oder verweiblichte Namen zu vergeben. So wurde der Asteroid (54) Alexandra nach Alexander von Humboldt benannt. Als die Namensgebung in der Mitte des 20. Jahrhunderts immer mehr Willkür aufzuweisen schien und unter anderem Haustiere wie die Katze (2309) Mr. Spock am Himmel verewigt wurden, stellte die Internationale Astronomische Union (IAU) einige Regeln zu der Benennung neuer Kleinplaneten auf, die auf der nächsten Seite zu finden sind.[24]

Wurde ein Kleinplanet in zwei Nächten beobachtet und das Messergebnis an das Minor Planet Center vermittelt, erhält er zunächst eine provisorische Bezeichnung, sofern er nicht mit einem bekannten Kleinplaneten identisch ist. Dieser provisorische Name besteht aus der Jahreszahl und jeweils einem Buchstaben für den Halbmonat der Entdeckung und die Anzahl der Entdeckungen in dem halben Monat. Gibt es mehr als 25 Entdeckungen in diesem Zeitraum, sodass die Buchstaben nicht mehr ausreichen, wird eine kleine Zahl an den Namen angehängt, die für die Wiederholungen der Buchstabenfolge und somit für die Entdeckungen in dem halben Monat mal 25 steht. Durch die folgende Tabelle soll die Namensgebung klarer werden:

Zusammensetzung des provisorischen Namens[25]										
Jahr	Halbmonat der Entdeckung				Anzahl Entdeckungen				Ggf. Wiederholungen	
…	A	1. – 15. Januar	B	16. – 31. Januar	A	1.	O	14.	/	< 26 Entdeckungen (E)
1999	C	1. – 15. Februar	D	16. – 28./29. Februar	B	2.	P	15.		
2000	E	1. – 15. März	F	16. – 31. März	C	3.	Q	16.	1	26 – 50 E
2001	G	1. – 15. April	H	16. – 30. April	D	4.	R	17.	2	51 – 75 E
2002	J	1. – 15. Mai	K	16. – 31. Mai	E	5.	S	18.	3	76 – 100 E
2003	L	1. – 15. Juni	M	16. – 30. Juni	F	6.	T	19.	4	101 – 125 E
2004	N	1. – 15. Juli	O	16. – 31. Juli	G	7.	U	20.	5	126 – 150 E
2005	P	1. – 15. August	Q	16. – 31. August	H	8.	V	21.	6	151 – 175 E
2006	R	1. – 15. September	S	16. – 30. September	J	9.	W	22.	7	176 – 200 E
2007	T	1. – 15. Oktober	U	16. – 31. Oktober	K	10.	X	23.	8	201 – 225 E
2008	V	1. – 15. November	W	16. – 30. November	L	11.	Y	24.	9	226 – 250 E
2009	X	1. – 15. Dezember	Y	16. – 31. Dezember	M	12.	Z	25.	10	251 – 275 E
2010	Z ist überschüssig				N	13.			11	276 – 300 E
…	I wird ausgelassen								…	…

Somit kann aus dem Namen des Asteroiden 2008 TC_3 abgeleitet werden, dass dieser zwischen dem 1. und 15. Oktober 2008 entdeckt wurde. Außerdem war dies die 78. Entdeckung in diesem halben Monat. Ein Abgleich mit den Daten des Small-Body Database Browsers der NASA zeigt, dass das genaue Entdeckungsdatum der 6. Oktober 2008 ist.[26]

[23] https://minorplanetcenter.net//iau/info/HowNamed.html
[24] https://de.wikipedia.org/wiki/Kleinplanet#Benennung
[25] https://minorplanetcenter.net/iau/info/DesDoc.html
[26] https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2008TC3

Nachdem ein provisorischer Name des Kleinplaneten festgelegt wurde, wird nach Möglichkeiten der Identifizierung mit provisorisch bezeichneten, einfach beobachteten Kleinplaneten gesucht. Gelingt dies, wird einer der provisorischen Namen als Hauptbezeichnung gewählt, was wiederum keinerlei Einfluss auf die Benennung der Entdeckerinnen und Entdecker oder die spätere Bezeichnung des Kleinplaneten hat. Gibt es keine Übereinstimmung, muss das neue Objekt möglichst lange weiter beobachtet werden, um Bahnelemente bestimmen zu können. Die genauen Bedingungen sind zwar recht unübersichtlich und komplex, aber dennoch lässt sich sagen, dass wenn es Messungen von mindestens vier Positionen des neuen Kleinplaneten gibt, dieser eine permanente Bezeichnung erhält. Diese besteht dann aus einer fortlaufenden Nummer in Klammern, die die Anzahl der zu diesem Zeitpunkt benannten Objekte anzeigt, sowie einem Namen, den sich normalerweise die ersten Beobachterinnen und Beobachter des neuen Kleinplaneten aussuchen dürfen. Bei dem Vorschlag des Namens müssen Gründe für die Wahl angegeben und folgende Regeln beachtet werden:

Regeln der Benennung eines Kleinplaneten durch Entdeckerinnen und Entdecker[23,24]	
Allgemein	
• Höchstens 16 Zeichen lang (inklusive Buchstaben, Lücken und Satzzeichen) • Möglichst ein einziges, zusammenhängendes Wort • In irgendeiner Sprache aussprechbar • Kein Angriff gegenüber bestimmten Personen oder Personengruppen • Ungleich bestehender Namen von Kleinplaneten oder Satelliten • Namen von militärisch oder politisch engagierten Personen erst 100 Jahre nach dem Tod • Möglichst keine Namen von Haustieren • Ohne kommerziellen Nutzen • Keine Namen der Entdeckerinnen und Entdecker selbst	
Bestimmte Klassen der Kleinplaneten	
Klassische transneptunische Objekte	• Schöpfungsgötter oder Schöpfer
Objekte in 3:2 Resonanz zu Neptun	• Götter der Unterwelt
Objekte in 1:1 Resonanz Neptun (Trojaner)	• Amazonen der griechischen Mythologie
Objekte zwischen Jupiter und Neptun, nicht in 1:1 Resonanz zu einem der Planeten	• Zentauren der griechischen Mythologie
Objekte in 1:1 Resonanz zu Jupiter im Punkt L_4	• Griechen des trojanischen Krieges
Objekte in 1:1 Resonanz zu Jupiter im Punkt L_5	• Trojaner des trojanischen Krieges
Erdnahe Objekte (NEO)	• Mythologische Gestalten außer Schöpfungsgötter und Götter der Unterwelt

Wurde ein Name von der IAU akzeptiert, wird er vom Minor Planet Center veröffentlicht. Wie man sich bereits denken kann, ist der Prozess der Namensgebung eines Kleinplaneten sehr aufwendig und kann daher mehrere Jahrzehnte andauern. Entgegen einzelnen Behauptungen in den Medien kann man keine Namen von Kleinplaneten kaufen. Die IAU rät diesbezüglich: *„Go out and discover one!“* [27]

[27] https://www.iau.org/public/themes/naming/

3.4.2. Klassifikation

Die Objekte unseres Sonnensystems lassen sich hinsichtlich bestimmter, beobachtbarer Eigenschaften verschieden kategorisieren. In den Jahren von 1984 bis 1989 erschienen von Tholen, Barucci und Tedesco bereits drei Klassifikationsmodelle, die sich jeweils auf die Spektraleigenschaften des Kleinkörpers beziehen.[28] Im Folgenden werden Tholens und ein bahnbezogenes Klassifikationsmodell vorgestellt:

Klassifikationsschema nach Tholen (1984) (Wenn nicht anders angegeben: [29,30,31])		
Typ	**Eigenschaften**	**Vorkommen**
A	• Albedo: Moderat • Spektrum: Olivinbanden (Gewisse Inselsilikate), Absorptionslinie bei 0,75 µm • Differenzierter Mantel (heterogene Schichten)	• Innen im Hauptgürtel
B	• Albedo: Gering (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: Typ-C-Spektrum mit Abweichungen im UV-Bereich • Kohlenstoffhaltiger Mantel	• Keine Angaben
C (Kohlenstoff)	• Albedo: < 0,065 (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: neutral, schwache Strukturen • Bestehend aus Kohlenstoff und Silikaten	• 75% aller Asteroiden • Außen im Hauptgürtel
D	• Albedo: < 0,065 (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: rot oder rötlich, strukturlos • Bestehend aus Silikaten und Kohlenstoff	• Keine Angaben
E (Enstatit)	• Albedo: > 0,23 (Helle Oberfläche) • Spektrum: neutral bis rötlich, strukturlos • Bestehend aus dem Mineral Enstatit	• Keine Angaben
F	• Albedo: < 0,065 (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: Typ-C-Spektrum mit fehlenden Absorptionslinien im Wellenlängenbereich des Wasserstoffs • Bestehend aus Silikaten und Kohlenstoff	• Keine Angaben
G	• Albedo: Gering (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: Typ-C-Spektrum mit Abweichungen im UV-Bereich	• Keine Angaben
M (Metall)	• Albedo: 0,065 – 0,25 • Spektrum: rötlich, strukturlos • Bestehend aus Metallen (vor allem Nickel und Eisen) und zum Teil aus Silikaten	• Keine Angaben
P	• Albedo: < 0,065 (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: rötlich, strukturlos • Bestehend aus Silikaten und Kohlenstoff	• Außen im Hauptgürtel

[28] Springer-Verlag: Encyclopaedia of Planetary Science, S. 33-35
[29] https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroid#Klassifikationsschema_nach_Tholen
[30] http://www.kleinplanetenseite.de/Aufsatz/eintlg.htm
[31] Cellino, Bus, Doressoundiram, Lazzaro: Spectroscopic Properties of Asteroid Families

Q	• Albedo: Moderat • Spektrum: rötlich, Absorptionslinie bei 0,75 µm	• Keine Angaben
R	• Albedo: > 0,16 • Spektrum: rot, Olivin- und Pyroxenbanden, Fe^{2+}-Absorption, Absorptionslinie bei 0,75 µm • Bestehend aus Silikaten	• Keine Angaben
S (Silikat)	• Albedo: 0,09 – 0,25 • Spektrum: rötlich, Fe^{2+}-Absorption, Absorptionslinie bei 0,75 µm, Reflexion bei 0,73 µm • Bestehend aus Silikaten und Metallen	• 17% aller Asteroiden • Innen im Hauptgürtel
T	• Albedo: Gering (Dunkle Oberfläche) • Spektrum: dunkel, rötlich, strukturlos	• Im Hauptgürtel und als Jupiter-Trojaner
V (Vesta)	• Albedo: Moderat • Spektrum: Absorptionslinie bei 0,75 µm • Bestehend aus Silikaten • Womöglich durch eine Kollision abgetrenntes ursprüngliches Material des Asteroiden Vesta	• Keine Angaben
X	• Abweichend von Typ E, M und P • Spektrum: rötlich	• Keine Angaben

Betrachtet man die Position der Asteroiden im Sonnensystem, so lassen sich anhand bahnbezogener Eigenschaften ebenfalls Gruppierungen bilden. Die mittlere Sonnenentfernung und das Verhältnis zu umliegenden Planeten sind dabei ausschlaggebend. Abhängig von dem mittleren Sonnenabstand sind Bereiche wie der Asteroidenhauptgürtel, der Kuipergürtel und die Oort'sche Wolke definiert. Bei Betrachtung der Verhältnisse zu nahen Körpern lassen sich Resonanzgruppen und die Gruppe der erdnahen Asteroiden feststellen. Besondere Aufmerksamkeit gebührt Kleinplaneten in 1:1 Resonanz zu einem Planeten, da es hier ausschließlich fünf stabile Umlaufbahnen gibt, die in Abb. 5 schematisch dargestellt sind. Diese werden auch Lagrange- oder Librationspunkte (lateinisch für „wägen“ [32]) genannt. Der erste und der zweite Lagrange-Punkt (L_1 und L_2) befinden sich auf der gedachten Verbindungsgeraden von Sonne und Planet, wobei sich L_1 innerhalb und L_2 außerhalb der Planetenbahn

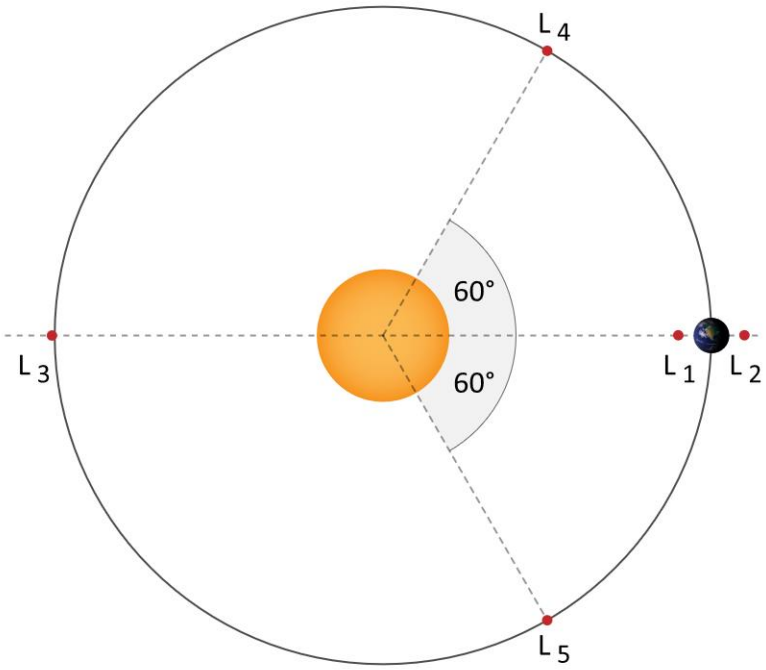


Abbildung 5: Lage der Lagrange-Punkte in 1:1 Resonanz

[32] https://www.duden.de/rechtschreibung/Libration

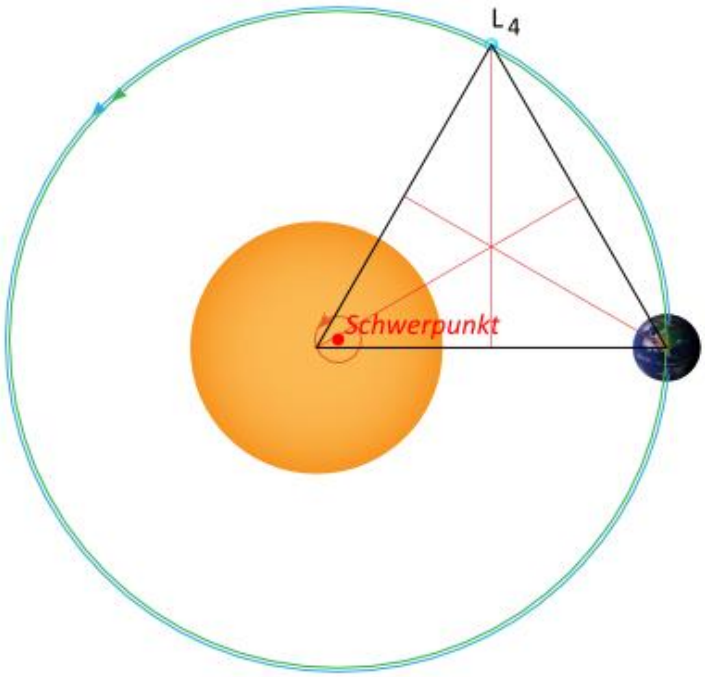


Abbildung 6: Zur Lage des Lagrange-Punktes vierter Art: drei verschiedene Massen

befindet. Durch die, im Vergleich zu dem jeweiligen Planeten, geringere beziehungsweise größere Sonnenentfernung und der damit verbundenen Differenz der Gravitationskraft als Ursache der Bewegung auf einer kreisähnlichen Bahn, müssten sich Kleinplaneten bei L_1 eigentlich schneller und solche bei L_2 langsamer als der jeweilige Planet bewegen. Da die Gravitationskraft des Planeten der der Sonne in L_1 entgegenwirkt, werden dort befindliche Körper sozusagen abgebremst, wodurch sie sich synchron zu dem Planeten bewegen. In L_2, wo die Bahngeschwindigkeit des Kleinkörpers geringer sein müsste als die des Planeten, wirkt die Gravitationskraft des Planeten hingegen verstärkend zu der der Sonne und der Kleinkörper wird beschleunigt. Auch L_3 befindet sich auf der gedachten Verbindungsgeraden von Sonne und Planet, liegt dem Planeten allerdings immer genau gegenüber. Weil die Gravitationskräfte von Planet und Sonne in dieselbe Richtung wirken, müssen sich die Kleinplaneten auf einer größeren Umlaufbahn als der jeweilige Planet um die Sonne bewegen, damit es wieder zu einer 1:1 Resonanz zu dem Planeten kommt. Kleinplaneten in L_4 und L_5 laufen dem Planeten in einem Winkel von nahezu 60° von der Sonne aus betrachtet voraus oder hinterher (siehe Abb. 5-6). Dabei liegt L_4 immer vor und L_5 hinter dem Planeten. Das ist so, da in einem System mit drei Körpern, wenn sich jeder in der Ecke eines gedachten gleichseitigen Dreiecks befindet, alle um den gemeinsamen Schwerpunkt kreisen. Weil die Sonne allerdings ein Vielfaches der Masse der anderen beiden Körper besitzt, liegt der Schwerpunkt in der Nähe des Sonnenmittelpunktes, wodurch sich L_4 und L_5 auf der Umlaufbahn des Planeten um die Sonne in einem Winkel von annähernd 60° vor oder hinter dem Planeten befinden.[33] Die zuerst entdeckten Kleinplaneten in L_4 und L_5 waren Begleiter Jupiters. Dabei sind die Asteroiden in L_4, wie auf der folgenden Seite in Abb. 7 gezeigt, nach den griechischen Kämpfern im trojanischen Krieg (englisch „Greeks“) und solche in L_5 nach den Trojanern (englisch „Trojans“) benannt worden. Als man auch bei anderen Planeten Begleiter in den Lagrange-Punkten 4 und 5 feststellte, weitete man den Begriff aus, wodurch heute allgemein von Planeten-Trojanern gesprochen wird.[34] Neben diesen sogenannten stabilisierenden Resonanzen gibt es auch solche, die durch ihre dünne Besetzung an Asteroiden auffallen. Wie bereits erwähnt, sind immer nur ganz bestimmte Umlaufbahnen dauerhaft stabil, da die Gravitationskraft eines nahen Planeten in kleiner ganzzahliger Resonanz meist störend wirkt. Die regelmäßig einwirkenden gravitativen Einflüsse eines Planeten in einer solchen Resonanz verzerren die Bahnen der Asteroiden immer weiter, sodass diese ihre ursprüngliche Umlaufbahn verlassen. Daraus

[33] https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6940
[34] https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/weltall-saturns-trojaner-sind-anders-1208341-p2.html

hervorgehende asteroidenleere Regionen werden Kommensurabilitätslücken genannt. Kirkwood-Lücken sind solche Bereiche innerhalb des Hauptgürtels.[35] In Abb. 7 wird die Verteilung der Asteroiden im inneren Sonnensystem bis zur Jupiterbahn behandelt. Die Eigenschaften der gezeigten Gruppen von Kleinplaneten werden auf den nächsten Seiten näher erläutert.

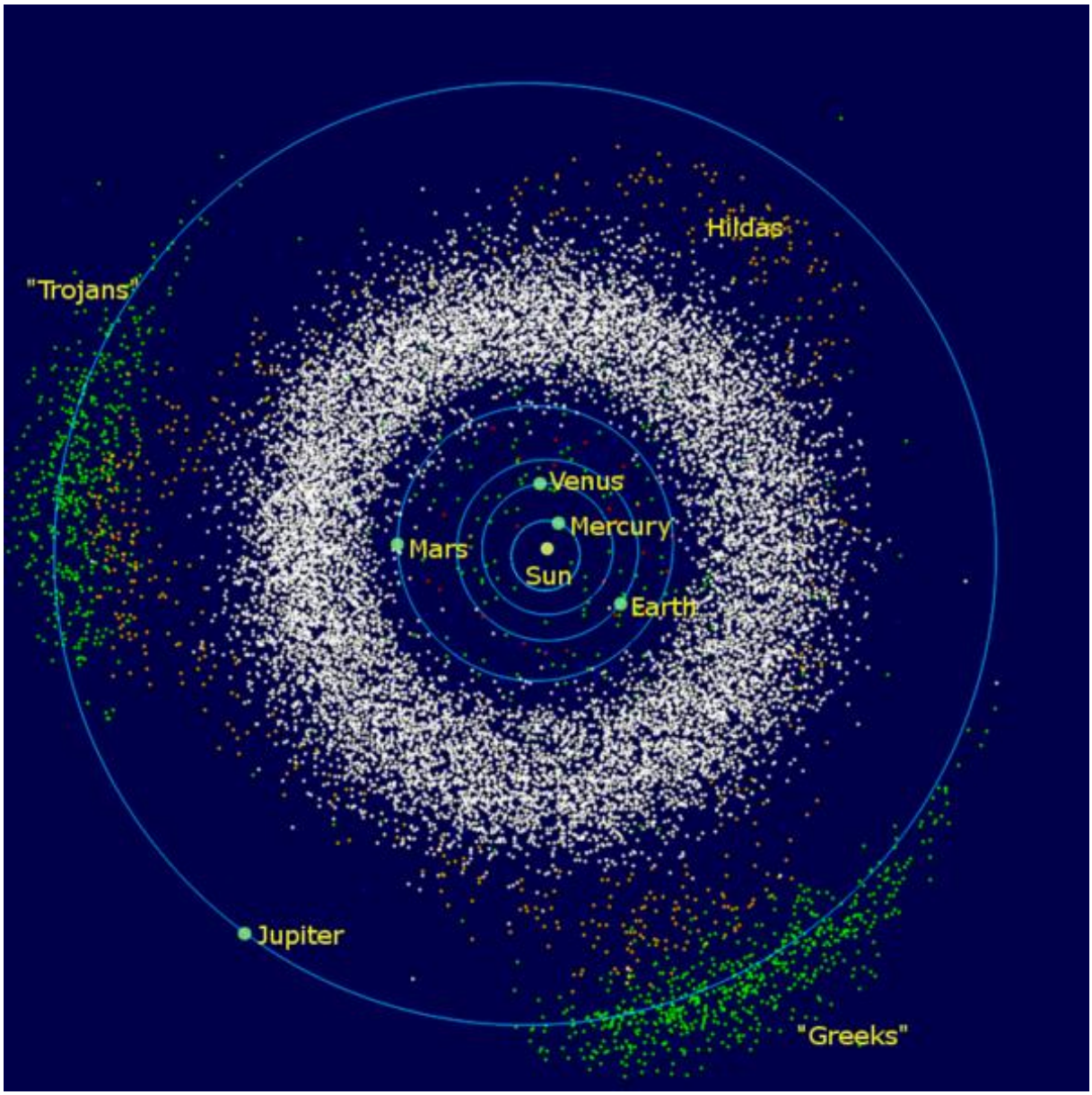


Abbildung 7: Verteilung der kleinen Körper im inneren Sonnensystem

Im Folgenden sollen die genannten Gruppen der Kleinplaneten genauer klassifiziert werden. Dabei muss beachtet werden, dass bestimmte Daten in der Literatur voneinander abweichen können, da einige Themengebiete noch recht jung sind und auch die zugehörigen Bezeichnungen einem gewissen Wandel unterliegen.

[35] https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kommensurabilitaetsluecken/8199

Klassifikation nach der Position des Asteroiden (Wenn nicht anders angegeben: [36,37])	
Zonen nach Sonnenentfernung	
Asteroiden-/ Haupt-gürtel[38]	• Sonnenentfernung: etwa 2 – 3,4 AE (Dichter Bereich) ➢ Zwischen Mars und Jupiter • Bekannte Objekte: > 650.000 (2017)
Hestia-Lücke[39]	• Sonnenentfernung: 2,5 AE ➢ Grenze zwischen innerem und äußeren Hauptgürtel • Bahnstörung der Asteroiden durch Jupiter; Zunahme der Exzentrizität
Hecuba-Lücke	• Sonnenentfernung: 3,3 AE ➢ Außengrenze des (dichten Bereichs des) Hauptgürtels
Region der Zentauren[40]	• Bezeichnung der Körper: Zentaur • Sonnenentfernung: etwa 5 – 30 AE (Zwischen Jupiter und Neptun)
Kuiper-(Edgeworth-) Gürtel[41,42]	• Bezeichnung der Körper: Kuipergürtel-Objekt (KBO) • Sonnenentfernung: etwa 30 – 50 AE (Dichter Bereich) • Bekannte Objekte: > 2.000
Scattered Disc[43]	• Bezeichnung der Körper: Scattered Disk Object (SDO), Gestreute KBO • Sonnenentfernung: Außenbereich des Kuipergürtels • Stark elliptische Bahnen
Oort'sche Wolke[44,45] (hypothetisch)	• Sonnenentfernung: etwa 300 – 100.000 AE (Außen im Sonnensystem) (Stark abweichende Definitionen) • Sphärenartige Ausdehnung: Objekte teils mit großer Bahnneigung

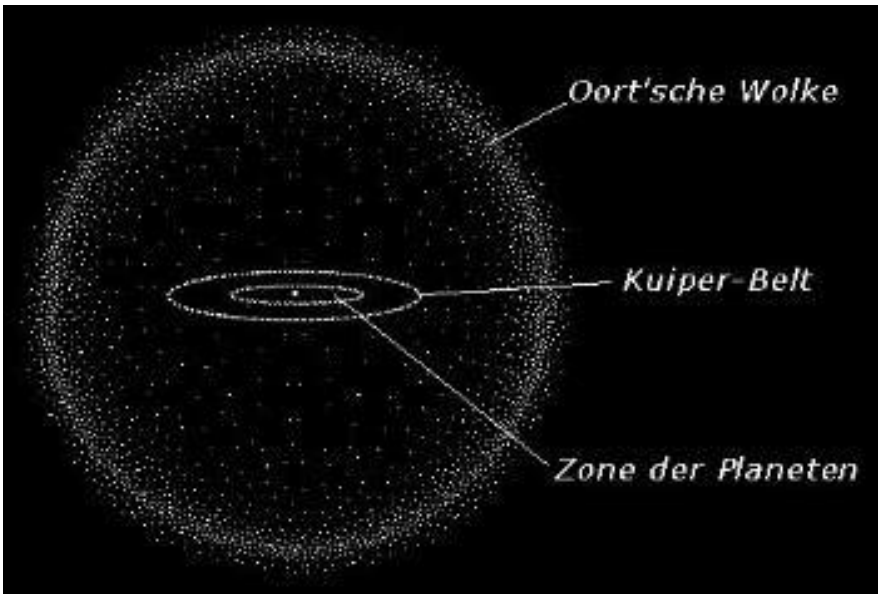


Abbildung 8: Nicht maßstabsgetreue Abbildung der Zonen unseres Sonnensystems

[36] Dr. Erik Wischnewski – Astronomie in Theorie und Praxis (2018, 8. Auflage) S. 713f.
[37] http://www.kleinplanetenseite.de/Aufsatz/eintlg.htm
[38] https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroideng%C3%BCrtel
[39] https://de.wikipedia.org/wiki/Kirkwoodl%C3%BCcke#Auff%C3%A4llige_L%C3%BCcken
[40] https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2017/03/10/sternengeschichten-folge-224-die-zentauren/
[41] https://solarsystem.nasa.gov/resources/399/kuiper-belt-in-depth/
[42] https://solarsystem.nasa.gov/news/792/10-things-to-know-about-the-kuiper-belt/
[43] https://de.wikipedia.org/wiki/Scattered_Disk_Object
[44] https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/oort-cloud/overview/
[45] https://jumk.de/astronomie/sonnensystem/oortsche-wolke.shtml

Typ	Eigenschaften	Vorkommen	
Erdnahe Objekte (NEO): Erdnahe Kometen (NEC) und erdnahe Asteroiden (NEA)			
Arjuna	• Oberbegriff für alle erdnahen Objekte, unter anderem folgende Typen:		
Atira	• Große Halbachse: < 1 AE • Apheldistanz: < 0,983 AE ➢ Auch als „Apohele“ bezeichnet	• Bekannt: 17 Objekte • Immer innerhalb der Erdbahn	
Aten	• Große Halbachse: < 1 AE • Apheldistanz: > 0,9833 AE	• Kreuzt die Erdbahn tatsächlich	
Apollo	• Große Halbachse: > 1 AE • Periheldistanz: < 1,017 AE	• Kreuzt die Erdbahn tatsächlich	
Amor	• Große Halbachse: > 1 AE • Periheldistanz: 1,017 – 1,3 AE	• Immer außerhalb der Erdbahn	
Potentially Hazardous Asteroid (PHA)	• Erdabstand: < 0,05 AE • Absolute Helligkeit: < 22 mag ➢ Somit bei einer Albedo von 13%: 150 m Durchmesser	• Kreuzt die Erdbahn tatsächlich	
Resonanzgruppen des Hauptgürtels			
Hungaria	2:9 Resonanz zu Jupiter		
	• Große Halbachse: 1,7 – 2,0 AE • Exzentrizität: ca. 0,08 • Bahnneigung: ca. 17° – 27°	• Innen im Hauptgürtel	
Phocaea	• Große Halbachse: 2,25 – 2,5 AE • Exzentrizität: > 0,1 • Bahnneigung: 18° – 32°	• Innen im Hauptgürtel	
Alinda	1:3 Resonanz zu Jupiter; 4:1 Resonanz zu der Erde		
	• Große Halbachse: 2,5 AE • Durch Jupiter: Störung der Bahn, zunehmende Exzentrizität	• Mitten im Hauptgürtel ➢ Siehe Hestia-Lücke	
Cybele	4:7 Resonanz zu Jupiter		
	• Große Halbachse: 3,3 – 3,7 AE • Exzentrizität: < 0,3 • Bahnneigung: < 25°	• Außen im Hauptgürtel ➢ Siehe Hecuba-Lücke	
Hilda	2:3 Resonanz zu Jupiter		
	• Große Halbachse: 3,7 – 4,2 AE • Exzentrizität: < 0,03 • Bahnneigung: < 20°	• Außen im Hauptgürtel • Bekannt: 700 Objekte	
Pallas	Durch Kollisionen von dem Asteroiden Pallas abgetrenntes Material		
	• Große Halbachse: 2,7 – 2,8 AE • Bahnneigung: > 30°	• Außen im Hauptgürtel	
Resonanzgruppen des Kuipergürtels			
Plutinos	3:2 Resonanz zu Neptun		
	• Große Halbachse: 39 – 40 AE	• Im Kuipergürtel • Bekannt: u.a. Pluto, Charon, Ixion	
Twotinos	1:2 Resonanz zu Neptun		
	• Große Halbachse: etwa 48 AE	• Außengrenze des Kuipergürtels	

Planeten-Trojaner um die Lagrange-Punkte[46]			
Venus-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu der Venus • Große Halbachse ähnlich der Venus: 0,7 AE	
Erd-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu der Erde • Große Halbachse ähnlich der Erde: 1 AE	
Mars-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu Mars • Große Halbachse ähnlich dem Mars: 1,5 AE	
Jupiter-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu Jupiter • Große Halbachse ähnlich dem Jupiter: 5,2 AE	
		• L4: Griechen (Achilles-Gruppe)	• L5: Trojaner (Patrochus-Gruppe)
Uranus-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu Uranus • Große Halbachse ähnlich der Uranus: 19,2 AE	
Neptun-Trojaner		• 1:1 Resonanz zu Neptun • Große Halbachse ähnlich dem Neptun: 30 AE	
Sonstige Gruppen			
Transneptunische Objekte (TNO)		• Umlaufbahn jenseits des äußersten Gasplaneten Neptun ➢ Alle KBOs inklusive Resonanzgruppen im Kuipergürtel ➢ Scattered Disk Objects ➢ Detached Object, Sednoiden ➢ Objekte der Oort`schen Wolke	
Detached Object[47]	Unklare Trennlinie	• Synonym: Extended Scattered Disk Object (E-SDO), Distant Detached Object (DDO) • Periheldistanz: > 40 AE	• Detached = losgelöst ➢ Nur geringer Einfluss der klassischen Planeten durch die große Sonnenentfernung
Sednoiden[48,49]		• Große Halbachse: > 150 AE • Periheldistanz: > 50 bzw. > 75 AE (abweichende Definitionen) ➢ „Kuiper-Klippe“ bei etwa 47 AE	• Ungeklärter Ursprung • Innen in der Ort'schen Wolke (je nach Definition)

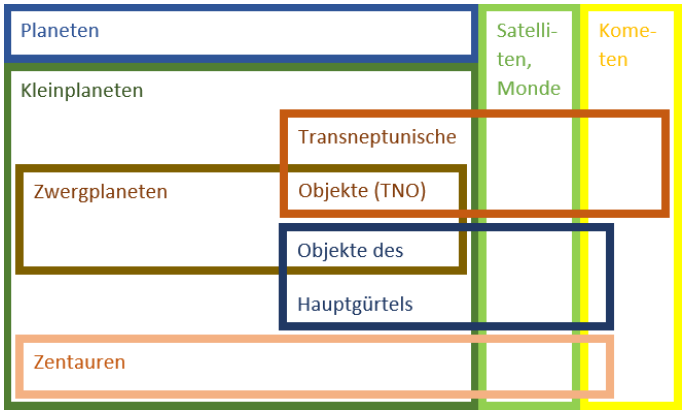


Abbildung 9: Eulerdiagramm zur groben Einordnung der Objekte unseres Sonnensystems

Die Abb. 9 soll schematisch das Verhältnis verschiedener Objektklassen unseres Sonnensystems zeigen. Ein Rechteck steht immer für eine Gruppe von Objekten. Überschneiden sich zwei Rechtecke, so gibt es Objekte, die beiden Gruppen zugeordnet werden können. Die Schnittmenge deutet bei den Kometen grob den Anteil an Objekten an, die zu mehreren Gruppen gehört, ist aber aufgrund der vereinfachten Darstellungsweise insgesamt nicht als genaue Einordnung zu verstehen.

[46] https://de.wikipedia.org/wiki/Trojaner_(Astronomie)
[47] https://en.wikipedia.org/wiki/Detached_object
[48] https://de.wikipedia.org/wiki/Sednoid
[49] https://planetpailly.com/2016/02/05/sciency-words-detached-object/

3.5. Einführung ausgewählter Kleinplaneten

3.5.1. Zwergplanet (134340) Pluto

Pluto wurde 1930 von dem amerikanischen Astronom Clyde W. Tombaugh (1906-1997) in dem US-Bundesstaat Arizona entdeckt, nachdem dieser auf der Grundlage der Vorhersage des Astronomen Percival Lowell (1855-1916) jahrelang Fotoplatten auf sich bewegende Objekte vor einem fixen Sternenhintergrund abgesucht hatte. Die Suche wurde durch die Annahme entfacht, dass es jenseits der Umlaufbahn des Neptuns einen weiteren Planeten geben muss, der für Bahnabweichungen von Uranus und Neptun verantwortlich ist. Da diese mathematisch ermittelten Abweichungen jedoch auf inkorrekt erfassten Massen beruhten und der Zwergplanet Pluto in Wahrheit viel zu klein ist, um die Umlaufbahnen der anderen Planeten derart zu beeinflussen, kommt die Entdeckung eher einem Zufall gleich. Benannt wurde Pluto nach dem römischen Gott der Unterwelt, womit zugleich die Initialen des 1916 verstorbenen Percival Lowell verewigt werden sollten.[51] Klassifiziert wurde Pluto zunächst als einer der damals neun Planeten, da man ihn auf die Größe der Erde schätzte. Er ist das zuerst entdeckte und bis heute größte Objekt des Kuiper-Edgeworth-Gürtels. Weil mit der Entwicklung der CCD-Kameratechnik im 20. Jahrhundert immer mehr lichtschwache Objekte und somit auch vermehrt Kuipergürtel-Objekte in ähnlicher Sonnenentfernung und Größe wie Pluto entdeckt wurden, verlor Pluto im Jahr 2006 durch die IAU nach zahlreichen Debatten unter Astronomen seinen Planetenstatus. Seither gibt es die Objektklasse der Zwergplaneten, zu der neben Pluto unter anderem auch Eris mit einem nur 48 km kleineren Äquatorialdurchmesser gehört.[52] Trotzdem gibt es auch heute noch Personen, welche die Herabstufung Plutos nicht hinnehmen wollen. Dazu gehört beispielsweise der nicht unumstrittene ehemalige NASA-Administrator Jim Bridenstine.[53] Aber auch der Senat von Tombaughs Heimat

Abbildung 10: Pluto und sein Mond Charon; NASAs Sonde New Horizons am 14. Juli 2015

Eigenschaften des Zwergplaneten Pluto[50]

Große Halbachse	39,482 AE
Perihel – Aphel	29,658 – 49,304 AE
Exzentrizität	0,2488
Neigung der Bahnebene	17,1418°
Siderische Umlaufzeit	247 Jahre 343 Tage
Äquatorialdurchmesser	2374 km
Masse	$1{,}303 \cdot 10^{22}$ kg
Mittlere Dichte	1,854 g/cm³
Rotationsperiode	6 d 9 h 43 min 12 s
Albedo	0,52
Maximale scheinbare Helligkeit	13,65 mag
Bekannte Monde	5

[50] https://de.wikipedia.org/wiki/Pluto
[51] https://www.br.de/pluto/pluto-zwergplanet-entdeckung-100.html
[52] https://de.wikipedia.org/wiki/Zwergplanet#Klassifizierte_Zwergplaneten
[53] https://www.zeit.de/wissen/2019-10/jim-bridenstine-pluto-planet-nasa

Illinois verkündete 2009 Pluto trotz der *„unfaire[n] Degradierung“* seitens der IAU weiterhin als Planet betrachten zu wollen, schließlich gibt es nur einen amerikanischen Planeten-Entdecker, was Illinois eine besondere Ehre zukommen lässt.[54] Die Debatte um Plutos Planetenstatus respektive dessen Aberkennung zieht sich demnach bis in die heutige Zeit.

3.5.2. Kleinplanet (800) Kressmannia

Kressmannia wurde 1915 von dem deutschen Astronom Maximilian F. J. C. Wolf (1863-1932) in Heidelberg entdeckt, welcher zwischen 1892 und 1932 mit 231 Funden einer der erfolgreichsten Kleinplaneten-Entdecker seiner Zeit war. Der Asteroid wurde nach dem Stifter der Sternwarte Heidelberg-Königstuhl benannt. Weitere Bezeichnungen lauten 1915 WP und A915 FG. Seither wird der Hauptgürtel-Asteroid von Automatisierten Programmen sowie zahlreichen privaten Astronomen beobachtet. Die Bahnelemente Kressmannias sind daher gut belegt. Da es aufgrund der großen Anzahl an Asteroiden an Interesse speziell an Kressmannia mangelt und es somit bisher keine Raumfahrtmissionen dahingehend gab, sind Eigenschaften wie die Masse und Dichte noch nicht genauer untersucht worden.

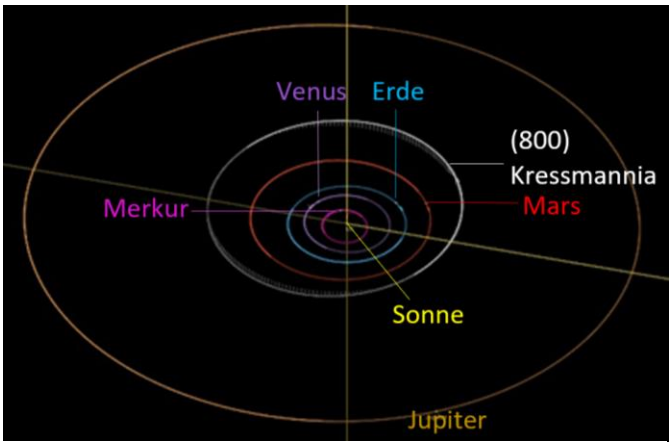


Abbildung 11: Der Orbit Kressmannias

Eigenschaften des Kleinplaneten Kressmannia[55]

Große Halbachse	2,193 AE
Perihel – Aphel	1,751 – 2,635 AE
Exzentrizität	0,2016
Neigung der Bahnebene	4,263°
Siderische Umlaufzeit	3 Jahre 90 Tage
Äquatorialdurchmesser	15,429 km
Masse	Keine Angaben
Mittlere Dichte	Keine Angaben
Rotationsperiode	4 h 27 min 50,4 s
Albedo	0,243
Absolute Helligkeit	11,42 mag
Tholens Spektralklasse	S
Bekannte Monde	0

Für meine Projektarbeit habe ich (800) Kressmannia ausgewählt, da ich ein Objekt mit den mir zur Verfügung stehenden Teleskopen (siehe Seite 21) hinsichtlich der Astrometrie und der Photometrie untersuchen wollte. Dafür musste der Kleinplanet heller als 14 mag am Himmel erscheinen. Außerdem sollte die Rotationsperiode des Körpers möglichst kurz sein, da es mein Ziel war eine gesamte Periode aufzunehmen und ich keineswegs vorhatte, sechs Tage lang Aufnahmen zu machen, wie es beispielsweise für Pluto nötig wäre. Des Weiteren musste der Kleinplanet hoch am Himmel stehen, damit man ihn von der Station sieben der schulischen Sternwarte aus trotz der Wände beobachten kann. Um einen geeigneten Kleinplaneten zu finden, habe ich die NASA-Website „What’s observable“ verwendet. Nach Eingabe des Datums, des Standortes und gegebenenfalls einiger Einschränkungen zeigt die Seite eine ganze Reihe beobachtbarer Kleinplaneten an. Der erste Beobachtungsabend am 09.11.2020 fand an der Station sieben der Sternwarte des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums in Wuppertal statt. Die folgenden und für die Ermittlung der Rotationsperiode relevanten Beobachtungen am 12.11. und 14.11.2020 erfolgten an der privaten Sternwarte von Herrn Koch in Soerth. Mit den eben

[54] Thomas Trösch: „Warum gilt Pluto in Illinois noch als Planet?“ Handelsblatt vom 05.06.2013
[55] https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=800

genannten Einschränkungen ergeben sich auf der Internetseite, welche in Abb. 12 in gekürzter Form dargestellt ist, folgende Werte für Kressmannia:

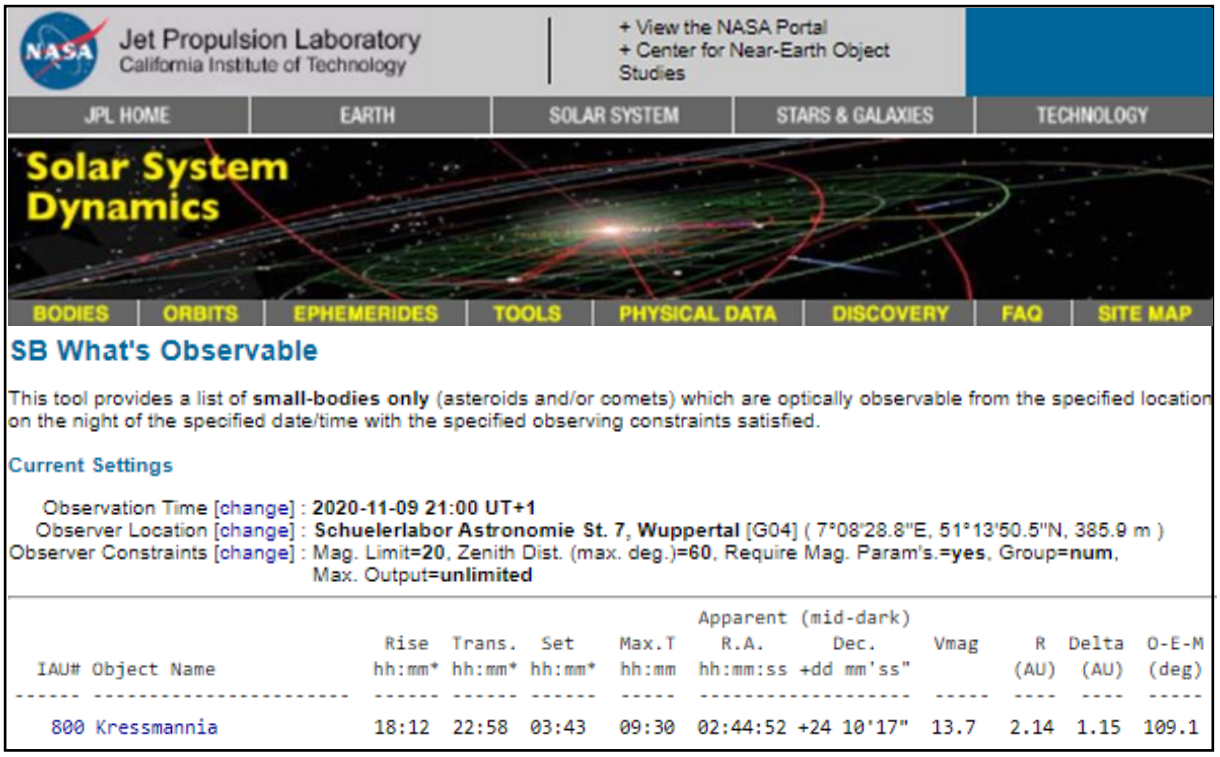


Abbildung 12: Suche nach einem geeigneten Kleinplaneten auf der Website „What's observable"

4. Messmethoden

Ziel meiner Projektarbeit ist die Aufnahme einer Rotationslichtkurve eines Kleinplaneten. Ich habe zunächst dessen Position bestimmt und unabhängig davon im nächsten Schritt dessen Helligkeit ermittelt. Der Fokus soll hier aber auf der Photometrie liegen.

4.1. Astrometrie – Bestimmung von Positionen[56]

In der Astrometrie (griechisch für „Stern" und „messen" [57]) geht es um die Ermittlung der Position eines Himmelskörpers, aus der sich später dessen Umlaufbahn ergibt. Ursprünglich bezog sich der Begriff nur auf Sterne, mittlerweile wurde er allerdings auf sämtliche messbare Objekte ausgeweitet. Bei der Aufnahme der Bilder ist es besonders wichtig, dass die Abweichungen des Aufnahmezeitpunktes und der Belichtungszeit kleiner als eine Sekunde sind. Wie man in Abb. 13 erkennen kann, weicht die fotografisch erfasste Position des beobachteten Objektes mit zunehmender Entfernung von der Plattenmitte immer mehr von der realen Position ab. Daher müssen die

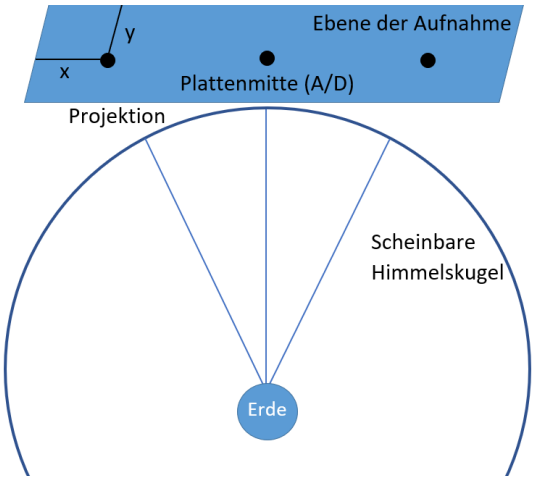


Abbildung 13: Positionsverschiebung bei einer Fotoaufnahme

[56] T. Fries: Positions- und Bahnbestimmung von Ceres und Vesta mit anschließender Ephemeridenrechnung
[57] https://www.duden.de/rechtschreibung/_metrie

Plattenkoordinaten zunächst „von der Aufnahme gelöst“ und auf die scheinbare Himmelskugel übertragen werden. Die Koordinaten der Plattenmitte, welche als einziger Punkt in der Aufnahme mit der Realität übereinstimmt, werden als Referenz genutzt. Dessen Himmelskoordinaten werden mit der Rektaszension A und der Deklination D angegeben. Für die restlichen Punkte der Fotoaufnahme abseits der Plattenmitte werden die Himmelskoordinaten mit der Rektaszension α und Deklination δ und die Koordinaten in der Aufnahme mit ξ und η angegeben. Letztere werden auch Standardkoordinaten genannt. Um nun die Position des Kleinplaneten bestimmen zu können, werden zunächst die Standardkoordinaten von mindestens drei bekannten Referenzsternen bestimmt. Für die Übertragung der tatsächlichen Koordinaten α und δ, welche beispielsweise in dem Programm „Stellarium“ eingesehen werden können, auf die Ebene der Aufnahme werden zwei trigonometrische Gleichungen verwendet. Die Koordinaten A und D der Plattenmitte entsprechen dabei dem während der Beobachtung angesteuertem Bereich. Die Rektaszension α wird normalerweise im Stundenmaß von 0 bis 24 Stunden und die Deklination δ im Gradmaß von -90° bis +90° angegeben. Bevor diese Werte in die obige Formel übertragen werden, müssen sie jedoch umgeformt werden. Zunächst müssen die Werte vollständig in die Form Grad/Stunden gebracht werden. Daraufhin multipliziert man mit $\frac{360°}{24h}$ und erhält die Stundenwerte, welche in die Formel eingesetzt werden können.

$$\xi = \frac{\sin(\alpha - A)}{\sin D \cdot \tan\delta + \cos D \cdot \cos(\alpha - A)} \qquad \eta = \frac{\tan\delta - \tan D \cdot \cos(\alpha - A)}{\tan\delta \cdot \tan D + \cos(\alpha - A)}$$

Im nächsten Schritt werden die sogenannten Plattenkonstanten anhand der zuvor berechneten Standardkoordinaten der einzelnen Referenzsterne ermittelt. Die x- und y-Werte ergeben sich aus den Koordinaten in der Aufnahme und können wie in Abb. 13 gezeigt einfach abgemessen werden. Als Maßeinheit bieten sich dabei Pixel an. Die Plattenkonstanten a, b, c, d, e und f können mit dem folgenden Gleichungssystem berechnet werden:

$$\xi - x = ax + by + c \qquad \eta - y = dx + ey + f$$

Nachdem die Abweichung des auf der Fotoaufnahme abgebildeten Punktes von dem realen Standpunkt hinreichend untersucht wurde und die Plattenkonstanten bekannt sind, können nun die realen Koordinaten des Kleinplaneten bestimmt werden. Dafür wird die gleiche Schrittfolge in abgewandelter Form rückwärts ausgeführt. Die x- und y-Werte können wie auch zuvor abgemessen und in Pixeln angegeben werden.

$$\xi = ax + by + c + x \qquad \eta = dx + ey + f + y$$

$$\tan(\alpha - A) = \frac{\xi}{\cos D - \eta \cdot \sin D} \qquad \tan\delta = \frac{(\eta \cdot \cos D + \sin D) \cdot \sin(\alpha - A)}{\xi}$$

Somit wurden die Himmelskoordinaten des Kleinplaneten, Rektaszension α und Deklination δ, vollständig bestimmt. Aber auch die Position jedes anderen Objektes, welches in der Aufnahme zu sehen ist, kann mit diesem Verfahren ermittelt werden. Ein Problem dieses Ablaufs stellen die hohe Ungenauigkeit durch die Verwendung von nur drei Referenzsternen und potentielle Rechenfehler dar. Außerdem gibt es einen hohen Zeitaufwand. Daher verwendet man heute bestimmte Programme, die die Astrometrie präzise und schnell ausführen können.

4.2. Photometrie – Messung der Lichtintensität

In der Photometrie (griechisch für „Licht“ und „messen“ [58]) geht es im weitesten Sinne um die Messung und Auswertung von Licht, insbesondere im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes zwischen etwa 400 und 700 nm. In der Astronomie unterscheidet man zwischen der Schmalbanden- und der Breitbandenphotometrie. Bei der Schmalbandenphotometrie wird lediglich ein spezifischer Spektralbereich gemessen. Voraussetzung für dieses Verfahren sind stark ausgeprägte Spektrallinien, die jedoch bei Kleinplaneten eher selten anzutreffen sind, da die meisten derartigen Objekte eher lichtschwach sind. Somit bietet sich für die Photometrie von Kleinplaneten die Breitbandenphotometrie an, bei der die Lichtintensität über einen weiten Wellenlängenbereich gemessen wird. In Folge der Bedingungen des Seeings, unterschiedlichen Entfernungen und der Rotation bei unregelmäßiger Gestalt des Kleinplaneten kann die aufgenommene Helligkeit durchaus verschieden sein. In kurzen Zeitabschnitten mit nahezu gleichem Seeing wirkt sich die Rotation am stärksten auf die erfasste Lichtintensität aus. Bei der Photometrie eines Kleinplaneten wird dessen aufgenommene Helligkeit in jeder Fotoaufnahme mit mehreren Referenzsternen verglichen. Da der Himmel entgegen der verbreiteten Annahme nicht vollkommen schwarz ist, sondern in Fotoaufnahmen immer grau erscheint und somit eine gewisse Lichtintensität von der Kamera erfasst wird, übersteigt die gemessene Lichtintensität von Himmelskörpern ihre eigentliche Helligkeit. Um dieser Abweichung entgegenzuwirken, wird die mittlere Helligkeit des Himmels I_H wie in Abb. 14 gezeigt ermittelt. Dazu wird die Helligkeit im möglichst sternenfreien Umkreis der jeweiligen Himmelskörper erfasst und gemittelt. Diese mittlere Helligkeit des Himmels wird im nächsten Schritt von der insgesamt erfassten Helligkeit des jeweiligen Objektes abgezogen, um die eigentliche Helligkeit des Objektes ohne störende Einflüsse des „lichtverschmutzten“ Himmels zu erhalten. In der Astronomie gibt es verschiedene Möglichkeiten, um Helligkeiten anzugeben. Zum einen gibt es die Intensität, die proportional zu der Strahlungsleistung wächst (siehe Abb. 15). Nach diesem Prinzip funktionieren alle heutigen CCD-Kameras. Zum anderen gibt es die scheinbare Helligkeit mit der Magnituden-Skala aus dem alten Griechenland, die sich an der Helligkeitswahrnehmung der menschlichen Augen orientiert. Das Auge ist im Gegensatz zu einer Kamera in der Lage verschiedene Helligkeiten zu stauchen, sodass sein Dynamikumfang höher ist.

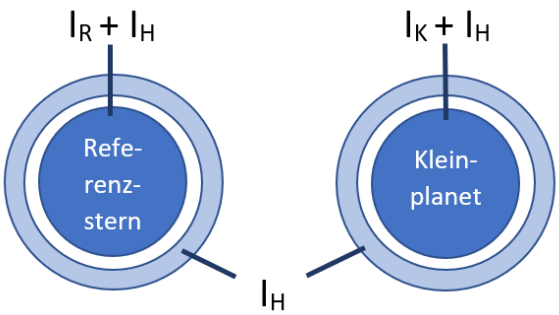


Abbildung 14: Fotografische Erfassung der Lichtintensität I von Himmelskörpern (K= Kleinplanet, H=Himmel, R=Referenzstern)

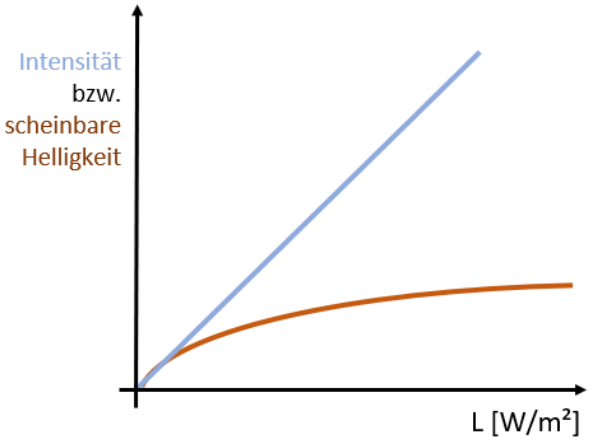


Abbildung 15: Vergleich der Wahrnehmung der Strahlungsleistung L durch Kameras (blau) und das menschliche Auge (rot)

[58] https://www.duden.de/rechtschreibung/foto_

Das bedeutet, dass verschieden helle Objekte in einem Blickfeld trotz ihres Helligkeitsunterschieds detailreich wahrgenommen werden können und es nicht wie bei einer Kamera zu einer Über- oder Unterbelichtung kommt. In Fotoaufnahmen sind die Helligkeitswerte durch die Intensität gespeichert. In der Astronomie wird die Helligkeit allerdings üblicherweise in Magnituden angegeben. Da die scheinbare Helligkeit des Referenzsterns sowie die erfassten Intensitäten des Sterns und des Kleinplaneten bekannt sind, kann für die Ermittlung der scheinbaren Helligkeit des Kleinplaneten folgende Formel verwendet werden:

$$m_K - m_R = -2{,}5 \cdot \log_{10}\left(\frac{\mathrm{I_K}}{\mathrm{I_R}}\right)$$

Über mehrere Stunden ergibt sich dann eine Lichtkurve, meist mit zwei Maxima und zwei Minima. Auch in der Photometrie wird mit verschiedenen Computerprogrammen gearbeitet, die im Kapitel 5.2. vorgestellt werden. Die obenstehende Rechnung wird dabei automatisch durchgeführt.

5. Eigene Aufnahmen und Messungen

Da der Schwerpunkt meiner Arbeit auf der Photometrie, also der Ermittlung der Rotationslichtkurve des Kleinplaneten (800) Kressmannia, liegen soll, werde ich auf die Astrometrie nur in verkürzter Form eingehen. Insgesamt habe ich Kressmannia an drei Abenden im November 2020 beobachtet. Am 09. November fand die Beobachtung an Station sieben der schulischen Sternwarte am Carl-Fuhlrott-Gymnasium in Wuppertal statt. Die Aufnahmen des Abends wurden hinsichtlich der Astrometrie ausgewertet. Die folgenden Aufnahmen am 12. und 14. November wurden an der privaten Sternwarte von Herrn Koch per Fernsteuerung aufgenommen und für die photometrische Analyse verwendet.

5.1. Equipment zur Astrofotografie

5.1.1. Teleskope

In der Schule habe ich das CDK20-Teleskop (Corrected Dall-Kirkham) der Firma PlaneWave Instruments genutzt.

Eigenschaften des PlaneWave CDK20 Astrograph f/6,8[59]	
Optische Bauart	Corrected Dall-Kirkham
Öffnung	508 mm
Brennweite	3.454 mm
Öffnungsverhältnis	f/6,8

Abbildung 16: CDK20-Teleskop des Schülerlabors

[59] https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarzglas-optik

Herrn Kochs private Sternwarte umfasst das Celestron C14 EdgeHD-Teleskop.

Eigenschaften des Celestron C14 EdgeHD-Teleskops[60]	
Optische Bauart	Edge HD Schmidt-Cassegrain
Öffnung	360 mm
Brennweite	3810 mm
Öffnungsverhältnis	f/10,6

Abbildung 17: C14 EdgeHD-Teleskop

5.1.2. Filter[61]

Bei allen Beobachtungen habe ich den Baader Luminanz-Filter mit einem Transmissionsoptimum im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm verwendet. Dieser bietet sich für die lichtschwachen Kleinplaneten besonders an, da er für bis zu 98% des sichtbaren Lichtes durchlässig ist.

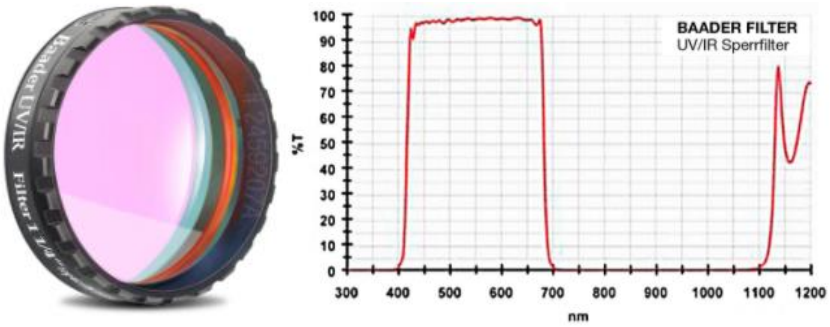


Abbildung 18: Baader Luminanz-Filter im Bereich von 400 bis 700nm

5.1.3. Kameras

In der Schule habe ich die SBIG-Kamera STX-16803 benutzt.

Eigenschaften der SBIG-Kamera STX-16803[62]	
Sensortyp	CCD-Chip (Kodak KAF-16803)
Megapixel	16,8
Abbildung von Farben	Schwarz-Weiß-Kamera
Auflösung der Fotos	4096 · 4096 Pixel
Pixelgröße	9 µm
Sonstige	Antiblooming, Aktive Kühlung

Abbildung 19: SBIG-Kamera STX-16803

An der privaten Sternwarte von Herrn Koch habe ich die SBIG-Kamera STL-11000M verwendet.

Eigenschaften der SBIG-Kamera STL-11000M[63]	
Sensortyp	CCD-Chip (Kodak KAI-11000M)
Megapixel	11
Abbildung von Farben	Schwarz-Weiß-Kamera
Auflösung der Fotos	4008 · 2672 Pixel
Pixelgröße	9 µm
Sonstige	Antiblooming, Aktive Kühlung

Abbildung 20: SBIG-Kamera STL-11000M

[60] Angaben nach: Bernd Koch
[61] https://www.baader-planetarium.com/de/uvir-sperr--l-filter.html
[62] https://www.astroshop.de/astro-kameras/sbig-kamera-stx-16803-fw7-stx-set/p,49372
[63] http://www.sbig.de/htm-sbig/produkte.htm

5.2. Verwendete Software

5.2.1 Astrometrica[64]

Astrometrica ist eine interaktive Software von Herbert Raab, die zeitlich und inhaltlich begrenzt kostenlos genutzt werden kann (Shareware). Sie dient der Kalibrierung und Verarbeitung von Aufnahmen von Kleinplaneten und Kometen sowie der Identifizierung des sich vor dem fixen Sternenhintergrund bewegenden Objektes. Dafür werden die aus den Aufnahmen entnommenen Informationen mit einer Online-Datenbank wie der des Minor Planet Centers abgeglichen. Somit kann die Software als Hilfsmittel für die Astrometrie verwendet werden.

5.2.2. Maxim DL[65]

Maxim DL ist eine interaktive Software des Unternehmens Cyanogen Imaging. Sie wird ebenso als Shareware mit kostenloser Demo-Version angeboten, allerdings habe ich in meiner Projektarbeit die Vollversion genutzt. Die Software dient der Kalibrierung, Verarbeitung und insbesondere der Fehlerbehebung in den Aufnahmen. Ich habe Maxim DL 5 für die Vorbereitung der Aufnahmen auf die Auswertung mit MuniWin verwendet.

5.2.3. MuniWin[66]

MuniWin ist eine interaktive Software von David Motl, die kostenlos genutzt werden kann. Sie dient der Verarbeitung und photometrischen Auswertung von Aufnahmen. Außerdem können mithilfe von individuell ausgewählten Referenzsternen Lichtkurven erstellt werden.

5.2.4. PerSea[67]

PerSea ist eine interaktive Software von Gracjan Maciejewski, die kostenlos genutzt werden kann. Sie dient der Analyse variabler Objekte und kann die Periodendauer ermitteln. Ich habe PerSea zur Überprüfung der zuvor eigenständig ermittelten Periodendauer verwendet.

5.3. Astrometrie von Kressmannia

Die für die Astrometrie genutzten Aufnahmen entstanden am 09. November an Station sieben der schulischen Sternwarte. Das astronomische Seeing, also das Wetter und die daran gebundenen Beobachtungsbedingen, war ausgesprochen gut, wie dem Wetterbericht in Abb. 21 zu entnehmen ist. Es gab lediglich einen leichten Wolkendurchzug. Die Daten dieses Abends habe ich gemeinsam mit Herrn Koch und Phillip von Scheven aus dem parallelen Projektkurs aufgenommen. Insgesamt sind am 09. November zwischen

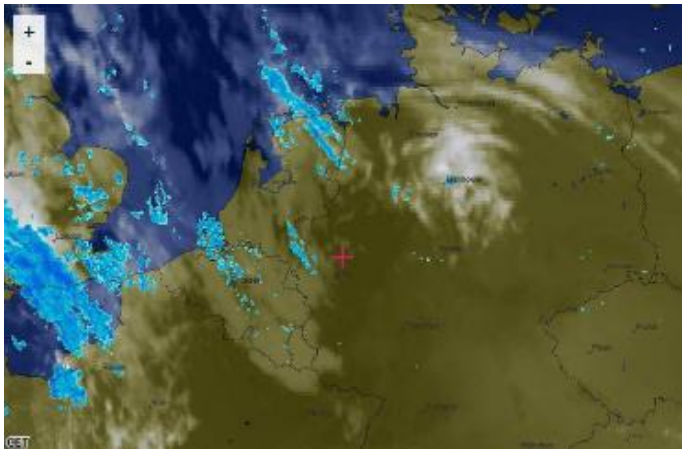


Abbildung 21: Wetterbericht von meteoblue am 09. November um 17:15 MEZ

[64] http://www.astrometrica.at/
[65] https://diffractionlimited.com/product/maxim-dl/
[66] http://c-munipack.sourceforge.net/
[67] http://www.home.umk.pl/~gmac/SAVS/soft.html

21:27 und 21:47 MEZ zehn Aufnahmen von Kressmannia mit einer Belichtungszeit von je 120 Sekunden entstanden, die später von mir in Hinsicht auf die Astrometrie analysiert wurden. Während der Beobachtung haben wir uns im Kontrollraum neben dem Teleskop aufgehalten. Wie in Abb. 22 zu sehen ist, kann das Teleskop von dort aus ferngesteuert werden. Mit dem Live-Überwachungsvideo kann das Teleskop auch aus dem Nebenraum beobachtet werden. Auf der linken Seite der Abbildung ist ein Ausschnitt aus der Software Stellarium zu sehen, die sich hervorragend für die Planung eines Beobachtungsabends eignet und zudem Informationen wie beispielsweise die Umlaufdauer eines Himmelsobjektes bereitstellt.

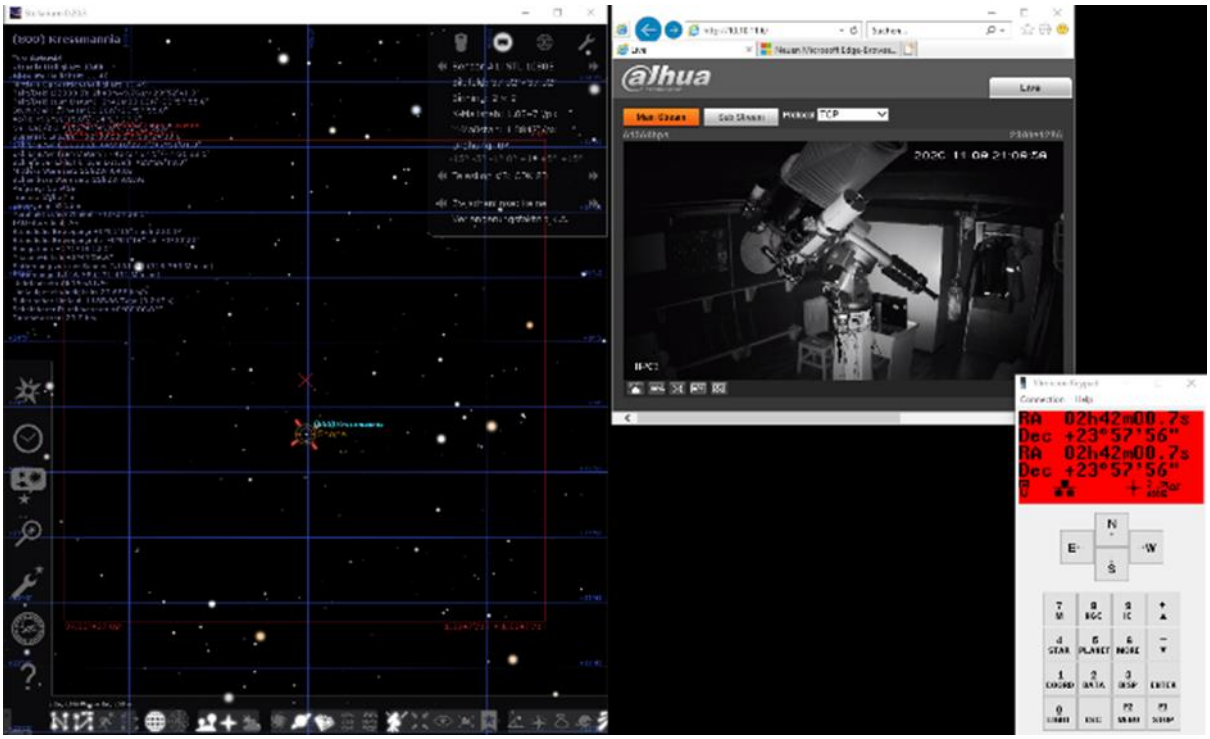


Abbildung 22: Steuerung des Teleskops aus dem Kontrollraum der schulischen Sternwarte

Sind alle Bilder des Kleinplaneten aufgenommen, kann mit der astrometrischen Analyse mittels Astrometrica begonnen werden. Eine vorige Bearbeitung der Aufnahmen wie bei der Photometrie (siehe Seite 29) ist nicht erforderlich, da bei der Astrometrie nur die Position des Körpers erfasst werden soll. Lediglich ein Autodark wird von jedem Lightframe subtrahiert. In den Einstellungen von Astrometrica muss unter anderem die exakte Position des Teleskops auf der Erde angegeben werden. Handelt es sich um einen nicht bei dem Minor Planet Center (MPC) registrierten Standort, so trägt man „XXX“ in die oberste Zeile ein. Auch das Schülerlabor Astronomie war zu Beginn dieses Schuljahres noch nicht registriert. Nach dem Einreichen der im November erfassten

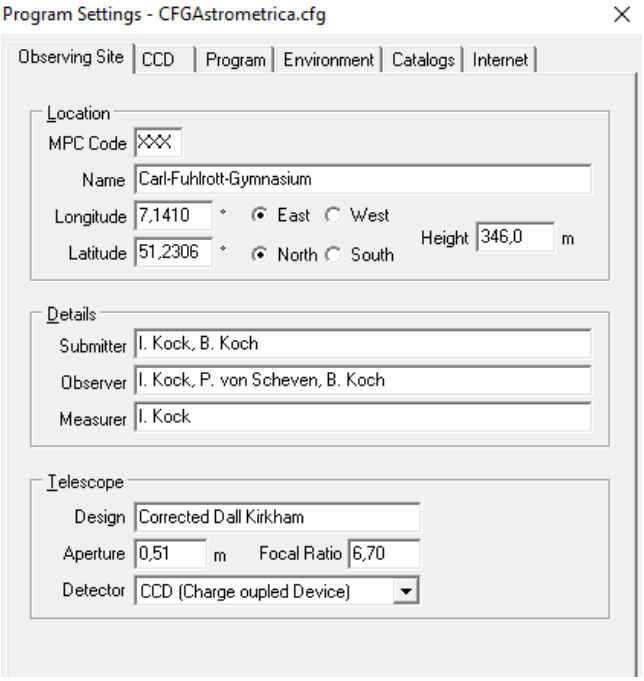


Abbildung 23: Einstellungen in Astrometrica

Positionen verschiedener Kleinplaneten durch Herrn Koch bei dem MPC wurde der Sternwarte jedoch der Code „G04“ zugeteilt und kann von nun an genutzt werden.[68] Nachdem die Aufnahmen in Astrometrica geöffnet und die Aufnahmezeitpunkte bestätigt wurden, kann die Aktion „Astrometric Data Reduction“ ausgeführt werden. Dafür müssen das beobachtete Objekt und gegebenenfalls dessen Himmelskoordinaten angegeben werden. Die Software zeigt dann alle erkannten Sterne an. In der Tabelle der Abb. 24 wird eine Messungenauigkeit von nur 0,04” bis 0,06” angegeben. Darüber befindet sich eine Legende der Farbbedeutungen.

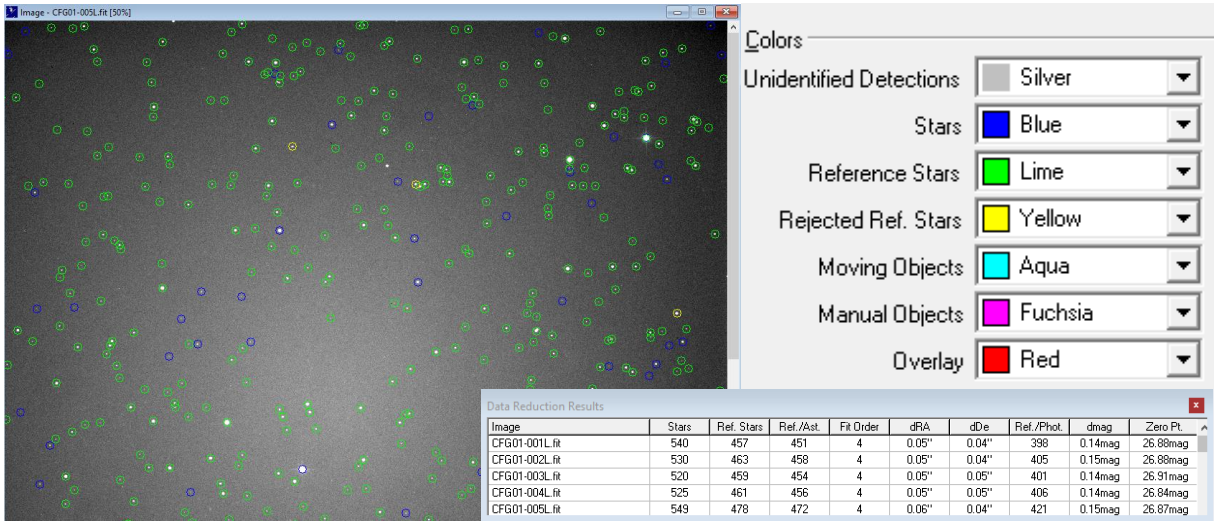


Image	Stars	Ref. Stars	Ref./Ast.	Fit Order	dRA	dDe	Ref./Phot.	dmag	Zero Pt.
CFG01-001L.fit	540	457	451	4	0.05"	0.04"	398	0.14mag	26.88mag
CFG01-002L.fit	530	463	458	4	0.05"	0.04"	405	0.15mag	26.88mag
CFG01-003L.fit	520	459	454	4	0.05"	0.05"	401	0.14mag	26.91mag
CFG01-004L.fit	525	461	456	4	0.05"	0.05"	406	0.14mag	26.84mag
CFG01-005L.fit	549	478	472	4	0.06"	0.04"	421	0.15mag	26.87mag

Abbildung 24: Zusammenstellung verschiedener Elemente in Astrometrica nach Datenreduktion

Nach Auswahl der Option „Blink Current Images“ erscheint ein Video, in dem die einzelnen Aufnahmen nacheinander angezeigt werden. Dadurch lässt sich die Bewegung des Kleinplaneten gut nachvollziehen. Um die Kleinplaneten in den Aufnahmen zu identifizieren, wird die Aktion „Known Object Overlay“ ausgeführt. Die vorläufig identifizierten Objekte sind nun farblich und mit der Bezeichnung des Kleinplaneten, mit dem das abgebildete Objekt am wahrscheinlichsten übereinstimmt, gekennzeichnet. Mit einem Klick auf eines dieser Objekte öffnet sich ein kleines Analyse-

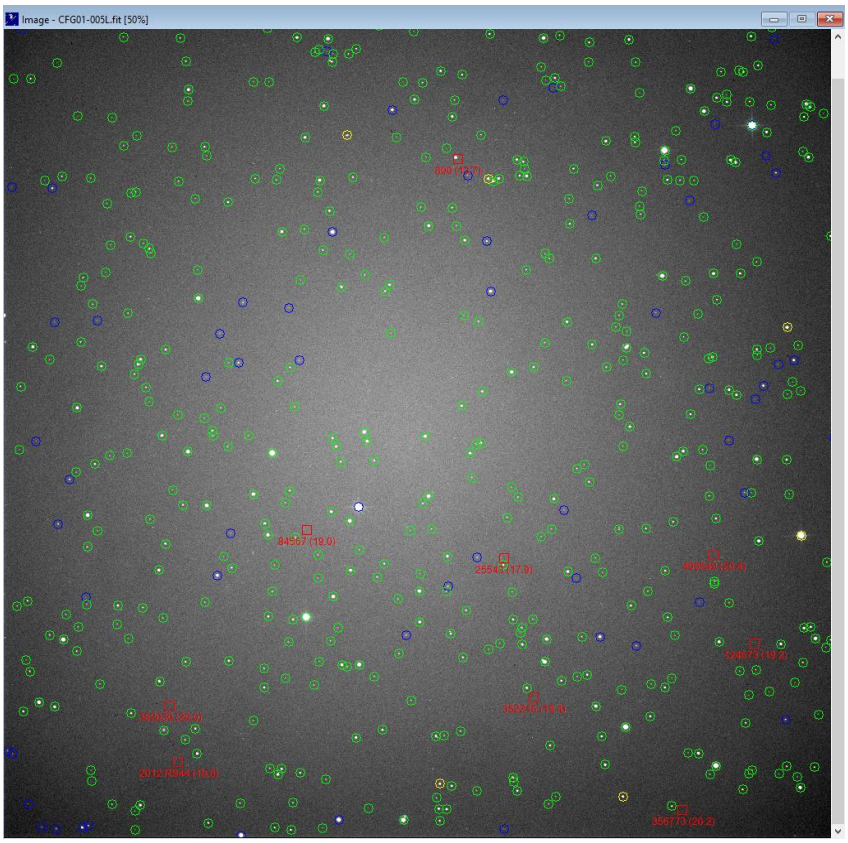


Abbildung 25: Vorläufige Identifizierung abgebildeter Kleinplaneten

[68] https://minorplanetcenter.net/iau/lists/ObsCodesF.html

Fenster. Innerhalb dessen kann über „Object Designation“ ein weiteres Fenster geöffnet werden, welches alle Identifizierungsmöglichkeiten des abgebildeten Objektes mit einem bekannten Kleinplaneten anzeigt. Außerdem werden hier die jeweiligen Abweichungen von rechnerisch ermittelten Positionen angegeben, die auf der Grundlage von Bahndaten des MPC basieren und wiederum indirekt für die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Möglichkeiten stehen, denn je höher die Abweichung von bestätigten Werten ist, desto unwahrscheinlicher ist jene Möglichkeit. Im Falle des vorläufig als (800) Kressmannia gekennzeichneten Kleinplaneten, kommt nach den in Abb. 26 aufgelisteten Objekten der Datenbank auch wirklich nur (800) Kressmannia in Frage. Die Abweichung der Position Kressmannias wird mit je 0,1” Rektaszension und Deklination angegeben. Aufgrund der geringen Abweichung und der eindeutigen Zuordnung des abgebildeten Objektes kann es tatsächlich als Kressmannia identifiziert werden.

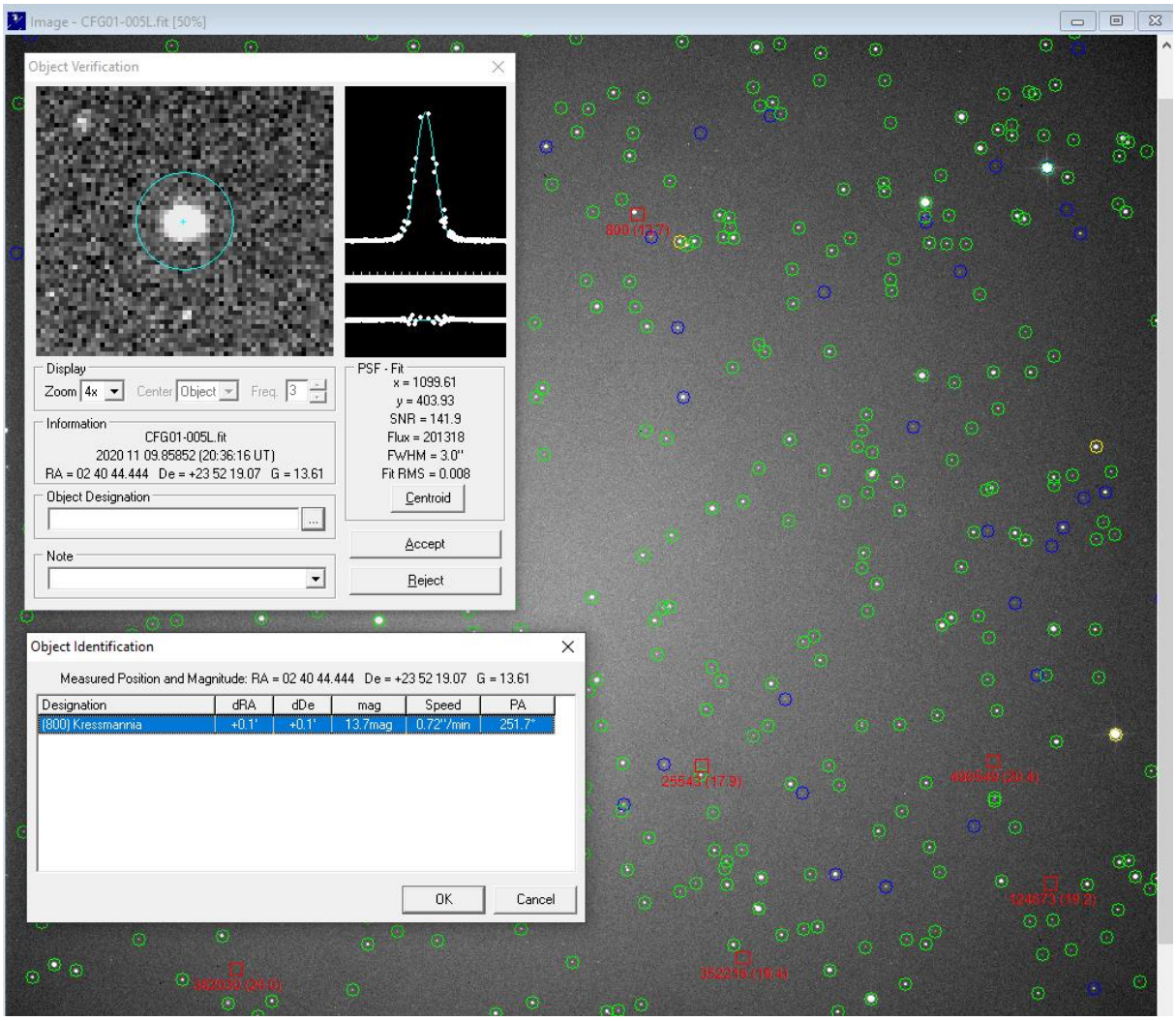
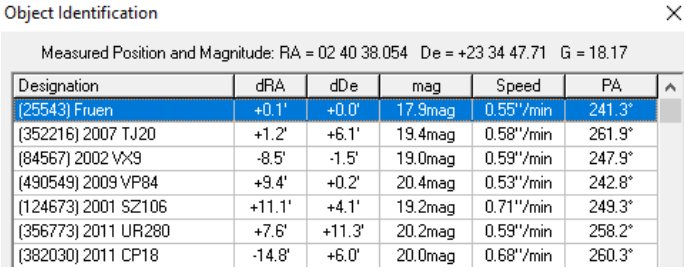


Abbildung 26: Manuelle Bestätigung des Kleinplaneten (800) Kressmannia in der Aufnahme

Analog kann mit anderen Kleinplaneten wie beispielsweise (25543) Fruen in Abb. 27 verfahren werden, der in der obenstehenden Abb. 26 unten in der Mitte zu sehen ist. In dem Falle gibt es viele Identifizierungsmöglichkeiten, wobei jede andere größere Abweichungen von den Messwerten aufzeigt.



Designation	dRA	dDe	mag	Speed	PA
(25543) Fruen	+0.1'	+0.0'	17.9mag	0.55"/min	241.3°
(352216) 2007 TJ20	+1.2'	+6.1'	19.4mag	0.58"/min	261.9°
(84567) 2002 VX9	-8.5'	-1.5'	19.0mag	0.59"/min	247.9°
(490549) 2009 VP84	+9.4'	+0.2'	20.4mag	0.53"/min	242.8°
(124673) 2001 SZ106	+11.1'	+4.1'	19.2mag	0.71"/min	249.3°
(356773) 2011 UR280	+7.6'	+11.3'	20.2mag	0.59"/min	258.2°
(382030) 2011 CP18	-14.8'	+6.0'	20.0mag	0.68"/min	260.3°

Abbildung 27: Identifizierung von (25543) Fruen

Da für die zu Beginn erwähnte Registrierung des Schülerlabors Astronomie bei dem MPC gemessene Positionen von mehreren Kleinplaneten erforderlich sind, wurden neben (800) Kressmannia auch (25543) Fruen, (84567), C4673, Z2216 und (99942) Apophis astrometriert und von Herrn Koch in Form eines Beobachtungsreports an das Minor Planet Center gesendet. In Abb. 28 ist der Beobachtungsreport bereits mit MPC-Code des Schülerlabors zu sehen.

```
COD G04
CON B. Koch
CON [info@schuelerlabor-astronomie.de]
COM Long. 007 08 28 E, Lat. 51 13 50 N, Alt. 344m, Google Earth
CON Bernd Koch, Carl-Fuhlrott-Gymnasium, D-42349 Wuppertal [Bernd.Koch@gy-cfg.de]
OBS P. von Scheven, I. Kock, B. Koch
MEA B. Koch
TEL 0.51-m CDK f/6.7 Corrected Dall-Kirkham + CCD
ACK NEW SITE G04 MPCReport file updated 2021.04.16 15:45:28
AC2 Bernd.Koch@gy-cfg.de
NET Gaia DR2
     | K12R44S KC2020 11 09.85925 02 41 41.15 +23 26 18.9          19.3 G      G04
     | K12R44S KC2020 11 09.87395 02 41 40.09 +23 26 19.1          19.2 G      G04
     | K12R44S KC2020 11 09.88792 02 41 39.08 +23 26 18.8          20.4 G      G04
00800          C2020 11 09.85264 02 40 44.86 +23 52 21.0          14.2 G      G04
00800          C2020 11 09.85999 02 40 44.34 +23 52 18.6          14.1 G      G04
00800          C2020 11 09.86734 02 40 43.82 +23 52 16.2          14.1 G      G04
00800          C2020 11 09.87469 02 40 43.30 +23 52 13.9          14.0 G      G04
00800          C2020 11 09.88204 02 40 42.77 +23 52 11.5          13.9 G      G04
00800          C2020 11 09.89380 02 40 41.93 +23 52 07.7          13.8 G      G04
25543          C2020 11 09.85264 02 40 38.37 +23 34 50.0          17.3 G      G04
25543          C2020 11 09.85999 02 40 38.00 +23 34 47.3          17.3 G      G04
25543          C2020 11 09.86734 02 40 37.61 +23 34 44.4          17.4 G      G04
25543          C2020 11 09.87469 02 40 37.25 +23 34 41.7          18.1 G      G04
25543          C2020 11 09.88204 02 40 36.88 +23 34 38.8          17.4 G      G04
25543          C2020 11 09.89380 02 40 36.30 +23 34 34.4          17.4 G      G04
84567         KC2020 11 09.85558 02 41 15.98 +23 36 19.0          18.4 G      G04
84567         KC2020 11 09.86293 02 41 15.56 +23 36 16.1          18.4 G      G04
84567         KC2020 11 09.87028 02 41 15.14 +23 36 14.0          18.6 G      G04
84567         KC2020 11 09.87763 02 41 14.73 +23 36 11.9          18.6 G      G04
84567         KC2020 11 09.88865 02 41 14.10 +23 36 08.2          18.6 G      G04
C4673         KC2020 11 09.85778 02 39 50.48 +23 30 46.5          18.8 G      G04
C4673         KC2020 11 09.87028 02 39 49.61 +23 30 41.9          18.9 G      G04
C4673         KC2020 11 09.88645 02 39 48.50 +23 30 36.1          19.0 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.85558 02 40 32.82 +23 28 39.5          18.6 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.86293 02 40 32.40 +23 28 39.0          18.7 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.86440 02 40 32.30 +23 28 38.7          18.9 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.87248 02 40 31.79 +23 28 37.6          18.6 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.88130 02 40 31.29 +23 28 36.5          18.8 G      G04
Z2216         KC2020 11 09.88645 02 40 30.97 +23 28 35.9          18.9 G      G04
99942          C2021 02 24.89770 10 08 44.64 -14 02 14.0          14.9 G      G04
99942          C2021 02 24.89918 10 08 44.15 -14 02 10.5          14.9 G      G04
99942          C2021 02 24.90065 10 08 43.72 -14 02 07.9          15.0 G      G04
99942          C2021 02 24.90213 10 08 43.31 -14 02 04.7          15.0 G      G04
99942          C2021 02 24.90360 10 08 42.90 -14 02 02.0          15.0 G      G04
99942          C2021 02 24.90508 10 08 42.44 -14 01 58.8          14.9 G      G04
99942          C2021 02 24.90655 10 08 42.01 -14 01 55.7          15.0 G      G04
```

Abbildung 28: Beobachtungsreport an das Minor Planet Center zur Registrierung der Sternwarte

Nach einiger Zeit erfolgte eine Bestätigungsmail, in welcher den eingereichten Messwerten ein Code zugeteilt wurde. Dies geschieht, da die Messergebnisse aufgrund eines gewissen Fehlerpotentials erst überprüft werden müssen und nicht sofort publiziert werden. Mithilfe dieses Codes kann man den Status und bei erfolgreicher Überprüfung durch das MPC den

Veröffentlichungsort einsehen. Dafür gibt man den Code auf der Website „Where Are My Observations“ ein. In Abb. 29 ist der Code der Kressmannia-Messreihe sowie ihr Status zu sehen.

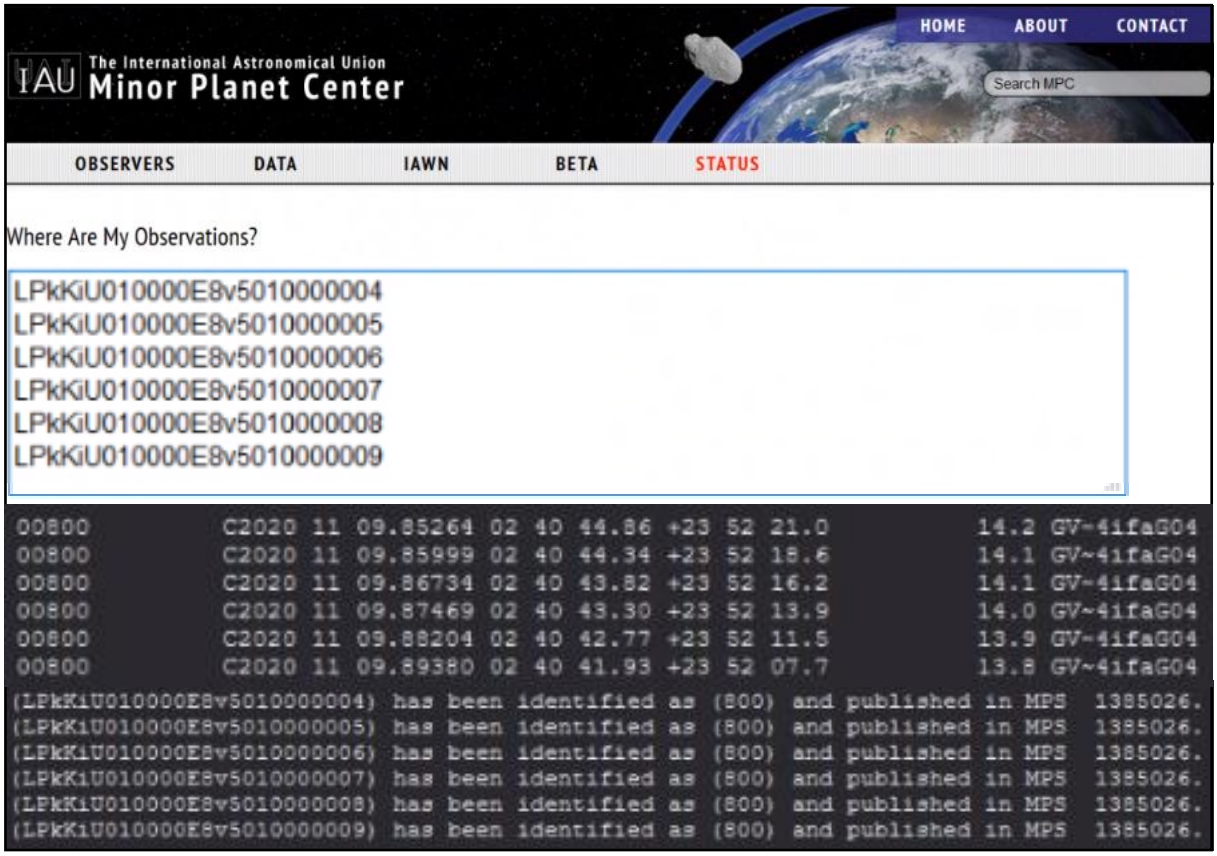
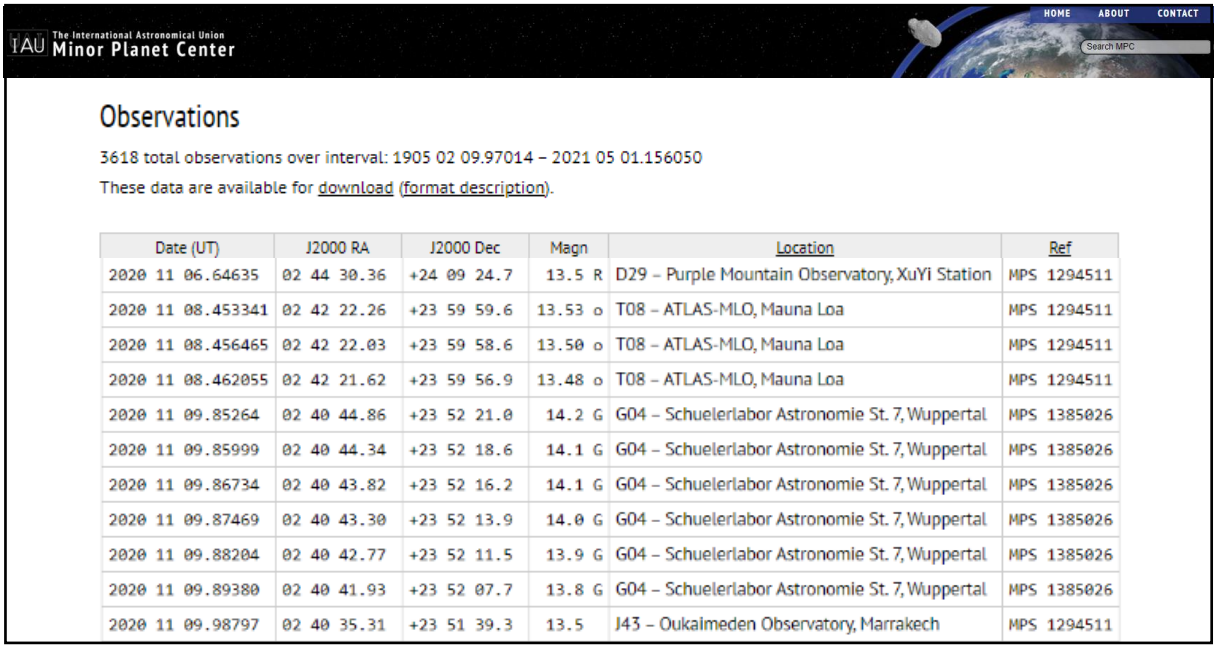


Abbildung 29: Code zur Überprüfung der eingereichten Positionen (Hinweis: aus Gründen der Lesbarkeit ist die dunkle Tabelle in der Mitte geteilt und untereinander geordnet worden)

Dem Status der Website nach wurden die ermittelten Positionen Kressmannias in der Minor Planet Circulars Supplement Ausgabe 1385026 publiziert. Außerdem wurde die Messreihe in die in Abb. 30 abgebildete Datenbank der Observierungen Kressmannias aufgenommen.



Date (UT)	J2000 RA	J2000 Dec	Magn	Location	Ref
2020 11 06.64635	02 44 30.36	+24 09 24.7	13.5 R	D29 – Purple Mountain Observatory, XuYi Station	MPS 1294511
2020 11 08.453341	02 42 22.26	+23 59 59.6	13.53 o	T08 – ATLAS-MLO, Mauna Loa	MPS 1294511
2020 11 08.456465	02 42 22.03	+23 59 58.6	13.50 o	T08 – ATLAS-MLO, Mauna Loa	MPS 1294511
2020 11 08.462055	02 42 21.62	+23 59 56.9	13.48 o	T08 – ATLAS-MLO, Mauna Loa	MPS 1294511
2020 11 09.85264	02 40 44.86	+23 52 21.0	14.2 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.85999	02 40 44.34	+23 52 18.6	14.1 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.86734	02 40 43.82	+23 52 16.2	14.1 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.87469	02 40 43.30	+23 52 13.9	14.0 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.88204	02 40 42.77	+23 52 11.5	13.9 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.89380	02 40 41.93	+23 52 07.7	13.8 G	G04 – Schuelerlabor Astronomie St. 7, Wuppertal	MPS 1385026
2020 11 09.98797	02 40 35.31	+23 51 39.3	13.5	J43 – Oukaimeden Observatory, Marrakech	MPS 1294511

Abbildung 30: Eintrag in der Datenbank der Beobachtungen von (800) Kressmannia

5.4. Photometrie von Kressmannia

Die für die Photometrie genutzten Aufnahmen entstanden am 12. und 14. November an Herrn Kochs privatem und von mir ferngesteuertem Teleskop. Das Seeing an beiden Tagen war verhältnismäßig gut, wie in Abb. 31 zu sehen ist. Am 12. November gab es leichten Hochnebel im Südwesten, es blieb jedoch bis 20:41 MEZ weitestgehend klar. Am 14. November gab es einen leichten Wolkendurchzug und eine hohe Luftfeuchtigkeit bei einer Außentemperatur von etwa 10° C. Ab 20:50 MEZ zogen allerdings vermehrt Wolken aus dem Südwesten auf.

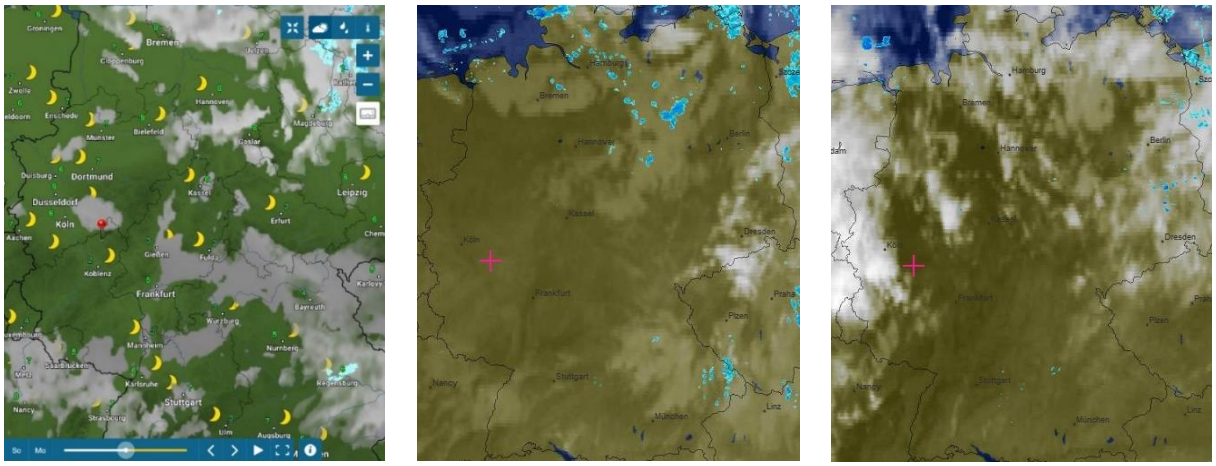


Abbildung 31: Wetterbericht von wetteronline (links) und meteoblue (Mitte) am 13. November um 00:15 MEZ und meteoblue am 14. November um 20:30 MEZ (rechts)

An den Beobachtungsabenden konnte ich die Steuerung des Bildschirms per Microsoft Teams übernehmen. In Abb. 32 ist meine Ansicht am 14. November abgebildet. Links oben wird jeweils die neueste Aufnahme angezeigt. Rechts daneben gibt es eine vergrößerte Ansicht der Software „SpecTrack“, die dem Guiding und somit dem Nachführen des Teleskops dient, damit das beobachtete Objekt zu jedem Zeitpunkt im Bildfeld bleibt. Darunter sind ein Live-Überwachungsvideo des Teleskops und eine Steuereinheit eingeblendet, mit der das Teleskop von mir ferngesteuert werden kann. Unten in der Mitte gibt es eine Übersicht über die Eigenschaften der Kamera und der Aufnahmen wie die Sensortemperatur oder Belichtungszeit.

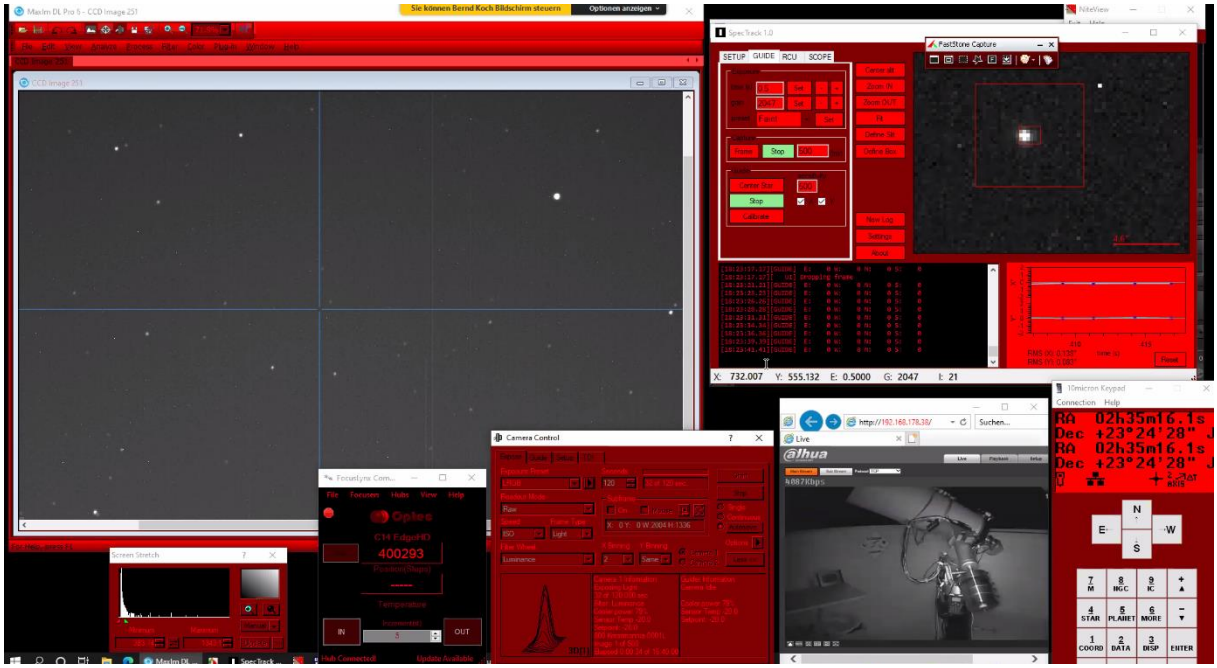


Abbildung 32: Fernsteuerung des Teleskops bei der Beobachtung von (800) Kressmannia

Am 12. November habe ich 92 Aufnahmen von Kressmannia mit einer Belichtungszeit von je 120 Sekunden angefertigt. Am 14. November entstanden 77 Aufnahmen mit gleicher Belichtungszeit. Dazu kommen je etwa zehn Dark- und 20 Flatframes, deren Bedeutung später erläutert wird. Hier eine kleine Übersicht über die Aufnahmen am 12. und 14. November:

Art der Aufnahme	Datum und ggf. Uhrzeit (MEZ)	Belichtungszeit	Anzahl	Anmerkung des Zweckes der Aufnahmen
Light	12.11.2020 19:41:28 – 23:00:34	120s	92	Aufnahmen von Kressmannia als Rohbilder (Raw Image)
Dark	12.11.2020	120s	12	Herausfiltern von Hot-Pixeln (Fehlerhafte Pixel, die immer hell sind)
Flat	12.11.2020	4s	20	Ausgleich der ungleichmäßigen Belichtung (Staub, dunkler Rand)
Light	14.11.2020 17:24:09 – 20:13:31	120s	77	Aufnahmen von Kressmannia als Rohbilder (Raw Image)
Dark	14.11.2020	120s	10	Herausfiltern von Hot-Pixeln (Fehlerhafte Pixel, die immer hell sind)
Flat	14.11.2020	4s	21	Ausgleich der ungleichmäßigen Belichtung (Staub, dunkler Rand)

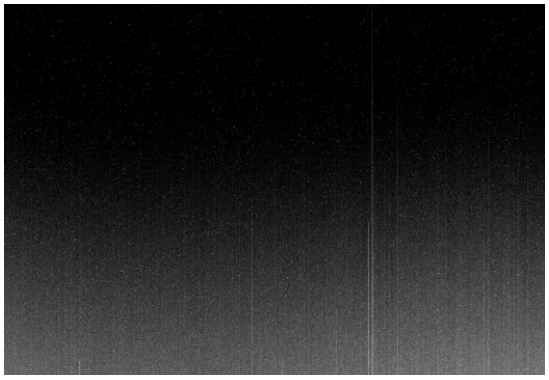


Abbildung 33: Beispielhaftes Darkframe mit Hot-Pixeln und Rauschen

Bei der Aufnahme der Darkframes ist es besonders wichtig, dass alle Bedingungen genau gleich denen der Lightframes sind. Somit muss die Belichtungszeit in beiden Fällen 120 Sekunden betragen und die Kamera auf dieselbe Temperatur heruntergekühlt sowie gleich eingestellt werden. Um die Bedingungen der Aufnahmen möglichst ähnlich zu halten, sollten die Darkframes zeitnah nach den Lightframes angefertigt werden. Bei einem „Dark“ deckt man das Teleskop während der Aufnahme vollständig ab. Dadurch werden nur ein Rauschen und sogenannte „Hot-Pixel“, also Pixeldefekte, die fertigungsbedingt in jeder Aufnahme hell erscheinen, aufgenommen. Es gibt auch „Dark-Pixel“, die sinngemäß in jeder Aufnahme dunkel sind. Diese fallen bei der Astrofotografie mit einer großen schwarz-grauen Fläche aber kaum auf. Da es bei Darks auch immer zu Abweichungen und einem Rauschen kommen kann, werden mindestens zehn Aufnahmen angefertigt, die später zu einem nahezu rauschlosen „Master-Dark“ gemittelt werden.

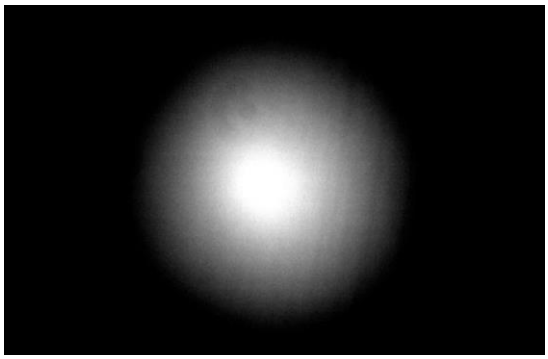


Abbildung 34: Beispielhaftes Flatframe mit Staubflecken und einem Helligkeitsverlauf

Bei der Aufnahme von Flatframes ist eine deutlich geringere Belichtungszeit nötig, da die aufzunehmende Fläche sehr hell und meist weiß ist. Ziel der „Flats“ ist die Aufnahme des Helligkeitsgradienten, welcher im Bild in Gestalt eines Helligkeitsabfalls zum Bildrand hin erkennbar ist und durch die Optik der verwendeten Geräte zustande kommt. Außerdem werden bei den Flats dunkle Flecken aufgenommen, die von Staub und anderen Partikeln innerhalb der verschiedenen Bauteile verursacht werden und somit auch in den zuvor

aufgenommenen Lights zu sehen sind. Liegen Partikel im Strahlengang und behindern den Lichteinfall auf den Kamerasensor, werden diese im Foto als dunkle Flecken abgebildet. Je näher die Partikel an dem Sensor liegen, desto schärfer sind sie später zu sehen. Sind sie weiter entfernt, kann es zu dunklen Ringen (umgangssprachlich auch „Donuts“) kommen. Ein solcher Ring ist beispielsweise oberhalb des Bildmittelpunktes in Abb. 34 zu erkennen. Da es bei den Flats ebenso zu einem Rauschen kommt und die Belichtungszeit kürzer ist, habe ich immer etwa 20 Aufnahmen gemacht, die im nächsten Schritt mithilfe der Software Maxim DL zu einem „Master-Flat“ gemittelt werden.

Nachdem alle Aufnahmen angefertigt wurden, können mit Maxim DL die bereits erwähnten Masterframes erstellt werden. Dafür werden jeweils alle Darks respektive Flats eines Abends gemittelt. Mit dem dadurch entstandenen Masterdark und dem Masterflat wird im Anschluss jedes einzelne Lightframe bearbeitet. Zunächst subtrahiert man dafür das Masterdark separat von dem Masterflat und den Lightframes. Im nächsten Schritt dividiert man die Lights durch das korrigierte Masterflat. Die nun kalibrierten Lights kann man gegebenenfalls mit der Funktion „Auto Flatten Background“ weiterbearbeiten. Da sich die Teleskopausrichtung im Laufe des Beobachtungsabends gegenüber den aufgenommenen Objekten aber auch gegenüber der rotierenden Erde durchaus ändert und eine Verschiebung der abgebildeten Objekte in verschiedenen Aufnahmen grundsätzlich nicht auszuschließen ist, werden die kalibrierten Lightframes als nächstes registriert, um dieser Verschiebung entgegenzuwirken. In Abb. 36 soll der Einfluss der Kalibrierung der Lightframes mit Dark- und Flatframes aufgezeigt werden.

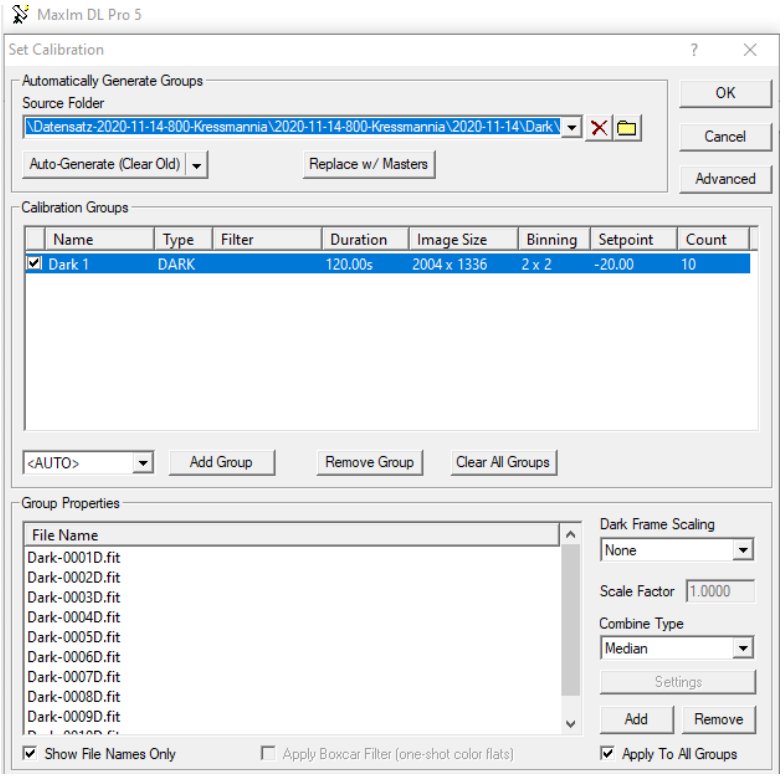


Abbildung 35: Ermittlung eines Masterdarks mit Maxim DL 5; Analoges Verfahren bei dem Masterflat

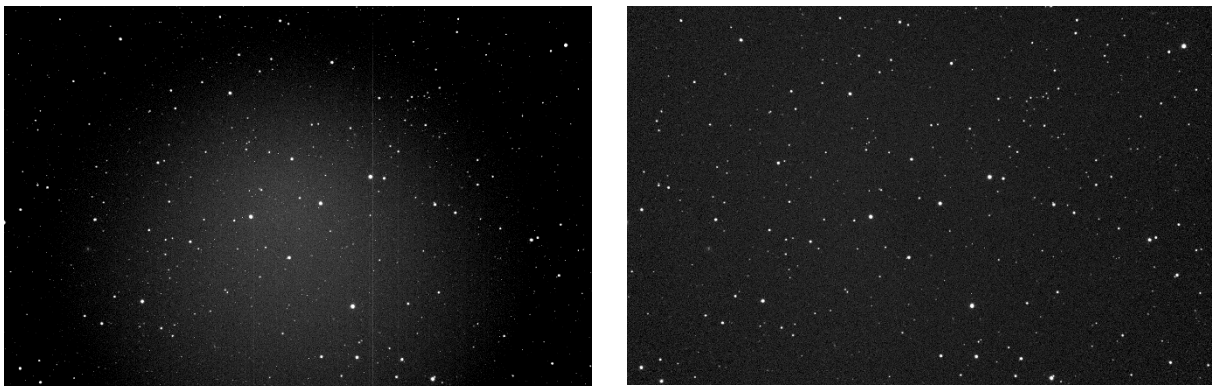


Abbildung 36: Vergleich eines kalibrierten Bildes (rechts) mit einem Rohbild (links) mit deutlichem Helligkeitsabfall zum Rand; beidseitig um 56% erhöhte Helligkeit zur Verstärkung des Effekts

Nach der Kalibrierung und Registrierung der Lightframes, kann mit der Software MuniWin eine Lichtkurve ermittelt werden. Dabei habe ich, bis auf die Kameraeinstellungen und die auf 3.000 herabgesetzte maximale Sternenanzahl, die Standardeinstellungen übernommen. Durch die niedrigere Sternenanzahl wird die Verarbeitungsdauer des Programms verkürzt, zumal es nicht unbedingt mehr Sterne gibt, die erfolgreich in mehreren Aufnahmen übereinstimmend identifiziert werden können. Außerdem habe ich bei den Aufnahmen des 14. Novembers die Halbwertsbreite (FWHM) auf 5 erhöht und die Erkennungsgrenze der Helligkeit auf 3 gesetzt, nachdem in einigen Bildern keine Übereinstimmung gefunden wurde.
Als erstes müssen die Aufnahmen, wie in Abb. 37 gezeigt, in ein Arbeitsformat konvertiert werden. Als nächstes wird die in Abb. 38 dargestellte, vollautomatische Photometrie auf die Aufnahmen angewendet. Daraufhin werden Übereinstimmungen der Sterne gesucht, wodurch das Bildfeld und vor allem auch der Kleinplanet identifiziert werden. Dafür muss das sich bewegende Objekt zunächst per Hand in einigen „Key frames“ ausgewählt werden, um eine Referenz zu schaffen (siehe Abb. 39).

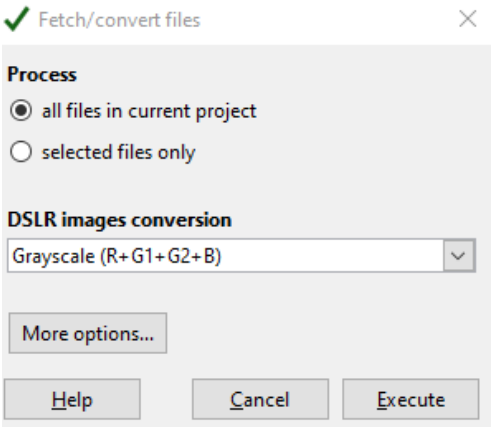


Abbildung 37: Formatkonvertierung

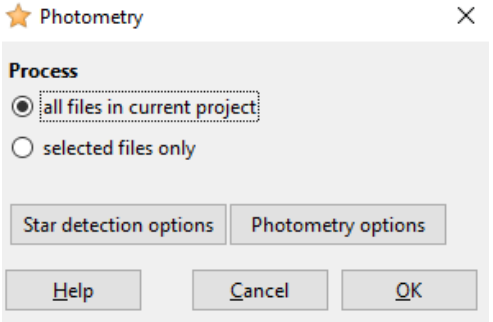


Abbildung 38: Photometrie

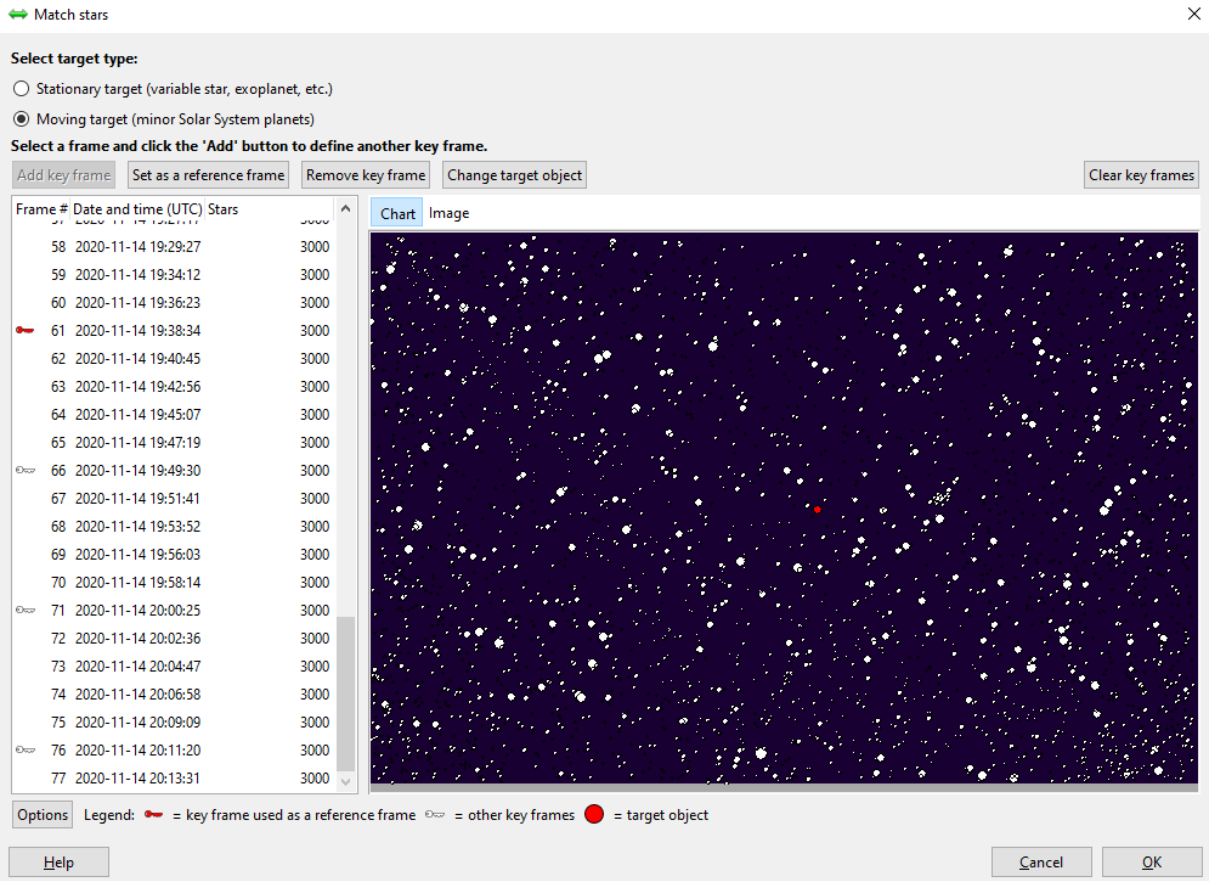


Abbildung 39: Identifizierung des Kleinplaneten und der Sterne anhand von Referenzbildern

Nachdem die Aufnahmen konvertiert, photometrisch analysiert und identifiziert wurden, kann nun eine Lichtkurve erstellt werden. In Abb. 40 sind die Einstellungen für die Lichtkurve Kressmannias am 12. November dargestellt. Im nächsten Schritt werden mindestens drei Referenzsterne ausgewählt, von denen später ein oder zwei der Referenz für die Lichtkurve des Kleinplaneten dienen. Das variable Objekt, also der Kleinplanet Kressmannia, mindestens ein „Comparison“-Stern und weitere „Check“-Sterne können manuell ausgewählt werden. Bei der Auswertung der Aufnahmen des 12. Novembers habe ich versehentlich einen Referenzstern ausgewählt, der selbst eine variable Helligkeit aufzuweisen schien. Daher habe ich verschiedene Möglichkeiten für Referenzsterne ausprobiert, bis sich eine realistische Lichtkurve abzeichnete. In der untenstehenden Abb. 41 ist eine Auswahlmöglichkeit der „Comparison“- und „Check“-Sterne abgebildet. Der Kleinplanet Kressmannia ist mit dem roten Schriftzug „var“ für variabel gekennzeichnet.

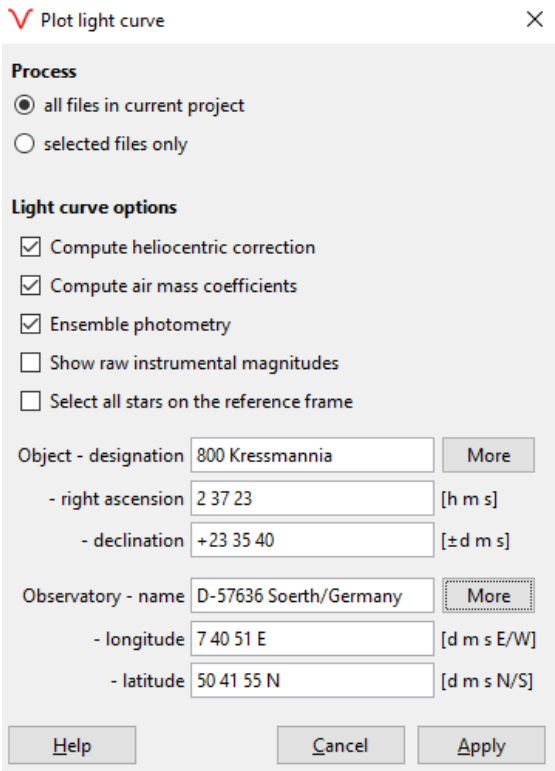


Abbildung 40: Erstellung einer Lichtkurve

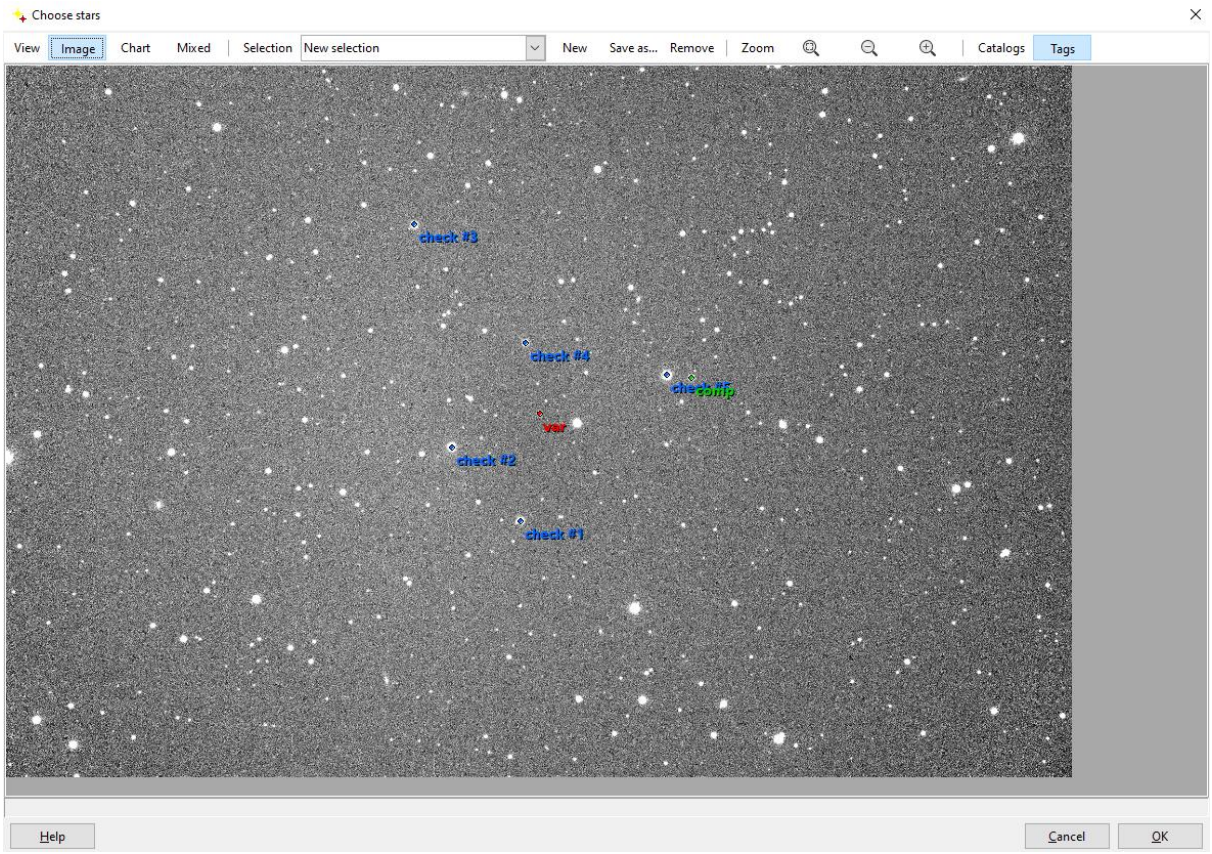


Abbildung 41: Auswahl der Referenzsterne zur Erstellung einer Lichtkurve von Kressmannia

Sind die Referenzsterne ausgewählt, zeigt MuniWin ein Diagramm der Standardabweichung in Abhängigkeit von der jeweiligen Apertur pro Referenzsternpaar im Vergleich an, welches so ähnlich aussehen sollte wie in Abb. 42 gezeigt. Sinngemäß sollte hier eine Apertur mit möglichst kleiner Standardabweichung gewählt werden, um nach Möglichkeit eine gleichmäßige Lichtkurve zu erhalten. Bei den Aufnahmen vom 12. November habe ich daher eine Apertur von 2,73 und bei denen vom 14. November eine Apertur von 3,82 angewandt.

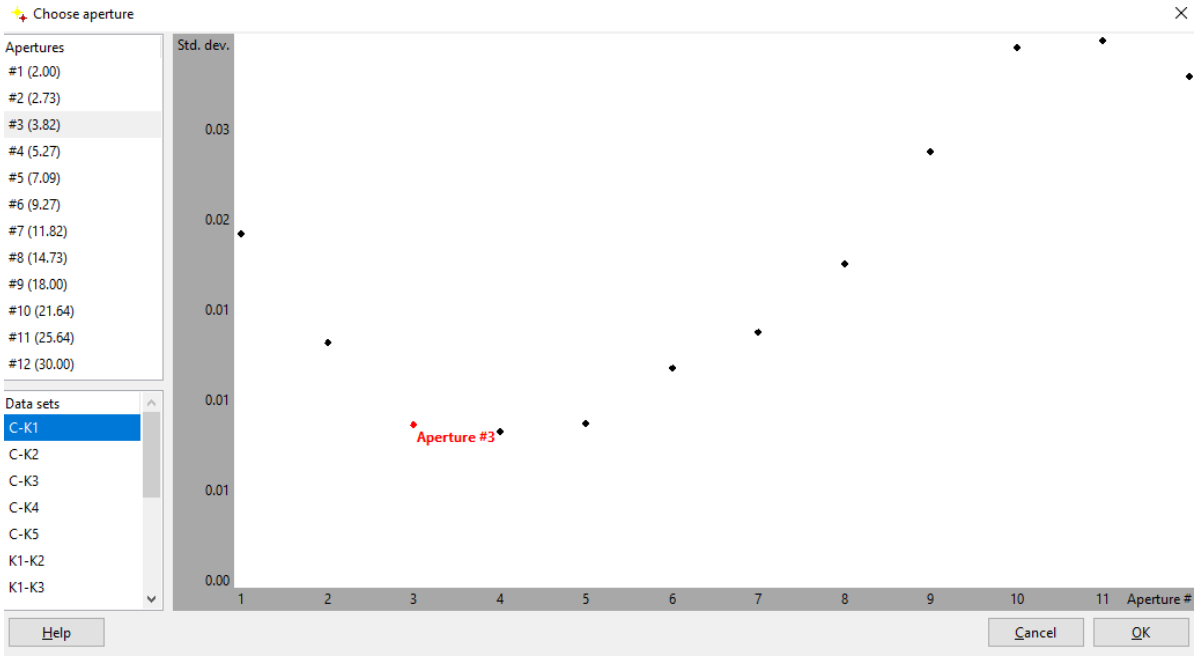


Abbildung 42: Standardabweichung der Referenzsterne in Abhängigkeit von der gewählten Apertur

Nach dem beschriebenen Verfahren habe ich für die Aufnahmen des 12. und 14. Novembers Lichtkurven des Kleinplaneten (800) Kressmannia angefertigt. In Abb. 43 ist das mit MuniWin erreichte Ergebnis dargestellt.

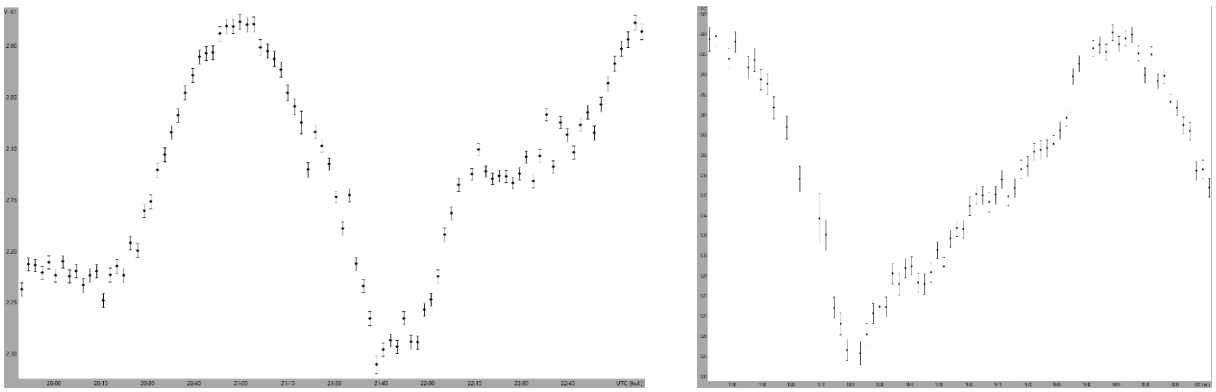


Abbildung 43: Von MuniWin erzeugte Lichtkurven des Kleinplaneten (800) Kressmannia vom 12. November (links) und 14. November (rechts)

Die „Lücken“ in den Lichtkurven entspringen der manuellen Entfernung einzelner abweichender Werte, die das Ergebnis verfälschen würden. Dennoch habe ich versucht die Anzahl der ausgesonderten Aufnahmen gering zu halten, um eine möglichst vollständige Lichtkurve zu erhalten. Bei Betrachtung beider Lichtkurven fällt außerdem auf, dass sich zwischen dem rechten Minimum und dem rechten Maximum der Lichtkurve des 12. Novembers ein „Buckel“ befindet, der in der Lichtkurve des 14. Novembers jedoch nicht vertreten ist, obwohl dieser

Bereich bei beiden eigentlich übereinstimmend sein müsste. Wie in Abb. 44 zu sehen ist, bewegt sich Kressmannia ungefähr ab der 55. bis hin zur 75. Aufnahme des 12. Novembers vor einem hellen Stern entlang. Da MuniWin jedoch lediglich die Helligkeit des ausgewählten Objektes misst und keine Überlagerung erkennen kann, wird die Helligkeit des Sternes zu der Kressmannias in der Lichtkurve addiert. Es wird also eine größere Helligkeit für den Kleinplaneten Kressmannia erfasst, was sich deutlich in Form eines „Buckels“ in der Lichtkurve zeigt.

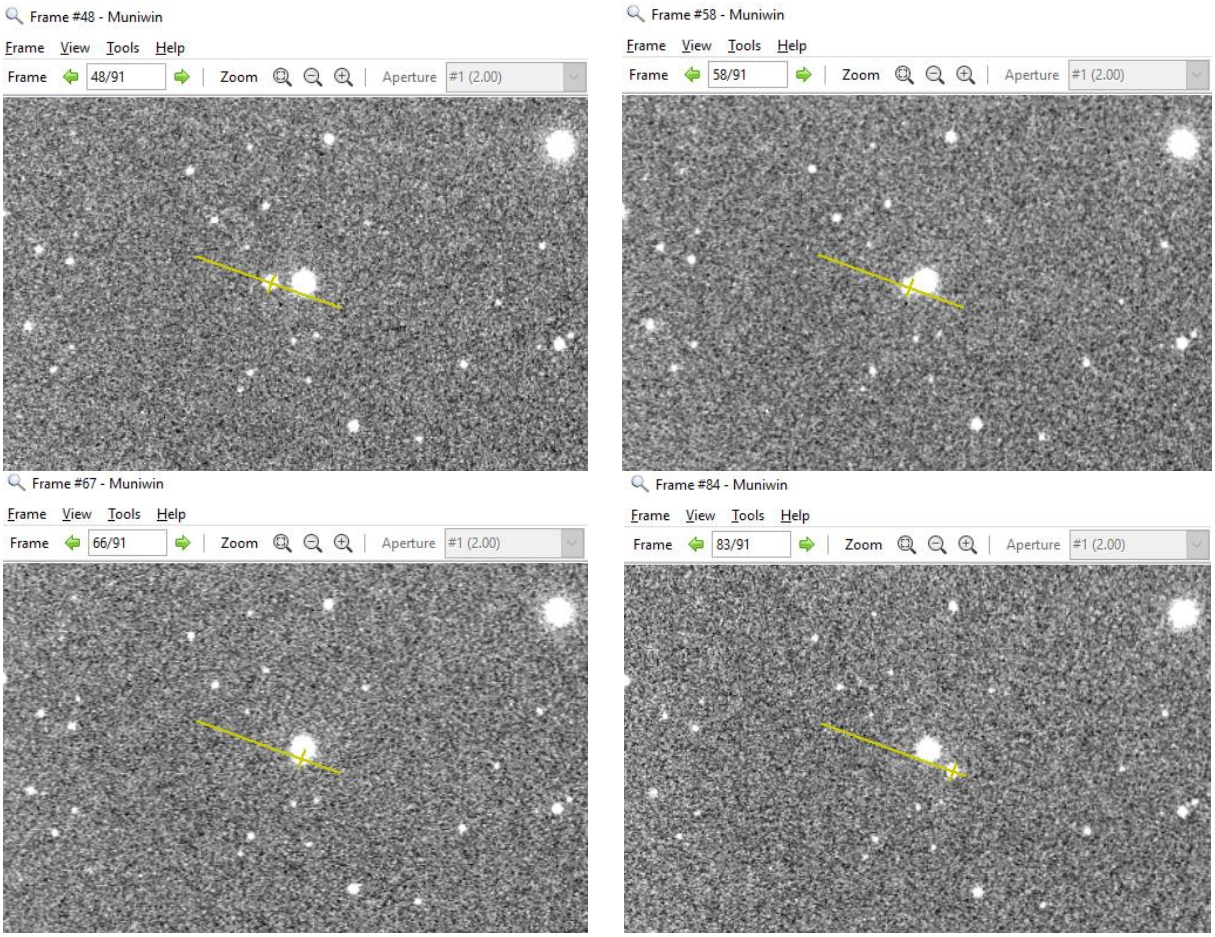


Abbildung 44: Kressmannia zieht etwa zwischen Aufnahme 55 und 75 vor einem hellen Stern her

Die Datei der Lichtkurve wird unter anderem mit dem heliozentrischen, also auf die Sonne bezogenen, julianischen Datum als Text-Datei abgespeichert. Dadurch kommt es zu geringeren Abweichungen durch die erdeigene Bewegung und die Daten können in Microsoft Excel eingefügt werden. In eine neue Tabelle werden nun das normierte julianische Datum und die Helligkeit Kressmannias eingetragen. Da die Lichtkurve die Differenz zwischen der Helligkeit des Kleinplaneten und des Referenzsterns darstellt, muss dafür die Helligkeit des Sterns addiert werden. Die Helligkeitswerte der Sterne können beispielsweise MuniWin entnommen werden. Im Zuge einer detaillierteren Auswertung habe ich zudem eine Tabelle mit zugehörigem „Punkt-Diagramm“ und einer ausgleichenden Exponentialfunktion zweiten Grades erstellt, um die Maxima der beiden Lichtkurven ermitteln zu können. Ich habe die Maxima für den Vergleich ausgewählt, da diese klar definiert sind. Nach der Rechnung lagen beide Maxima einen Tag, 22 Stunden und 52 Minuten auseinander. Insgesamt sind das 46,867 Stunden, was nach einem Abgleich mit den Angaben des Small-Body Database Browsers der NASA etwa 10,5 vollen Rotationsperioden entsprechen würde. Nimmt man also 21 halbe Perioden zwischen beiden Maxima am 12. und 14. November an, so ergibt sich für jede dieser halben Perioden

eine Dauer von zwei Stunden und 13,9 Minuten. Eine volle Periode dauert demnach 4 Stunden und 27,8 Minuten lang (0,185982 d). Der Versuch einer Überprüfung mit PerSea gestaltete sich schwierig, doch konnte die von mir ermittelte Periode weitestgehend bestätigt werden. In Abb. 45 ist zu sehen, dass PerSea eine Periode von 0,187204 d ermittelt hat. Außerdem dient die Software der Veranschaulichung der Datensätze beider Beobachtungsabende.

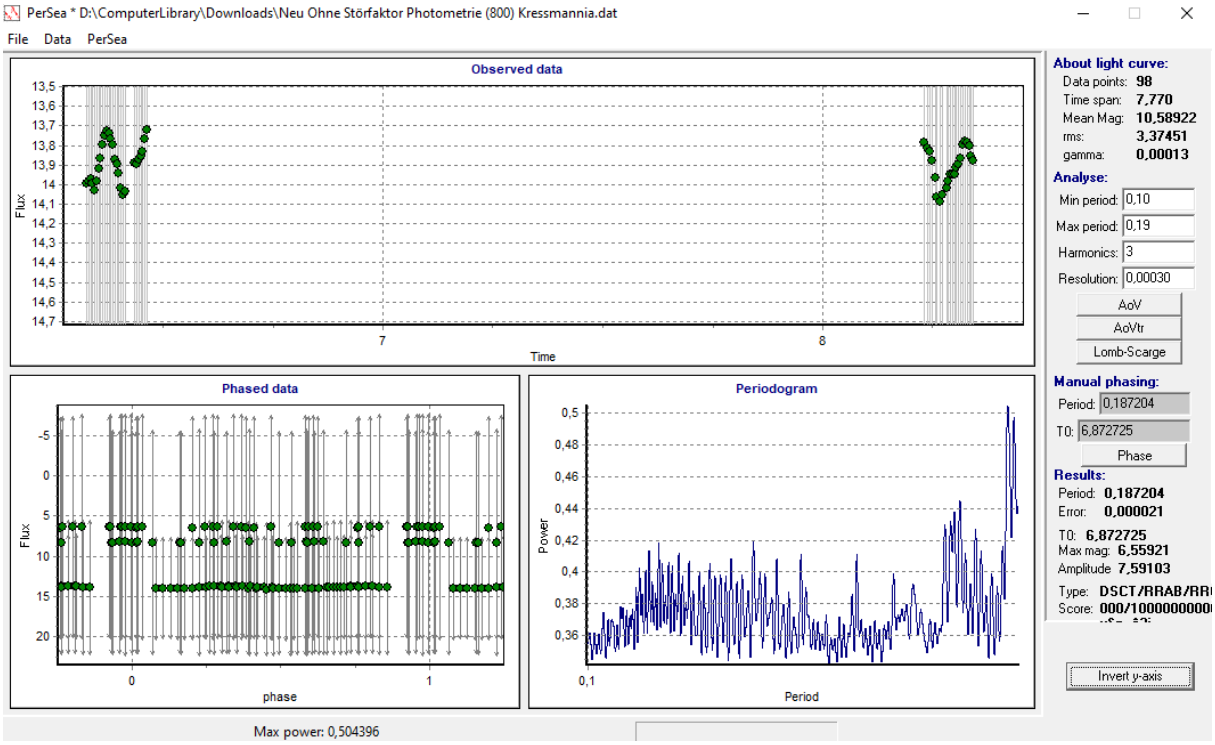


Abbildung 45: Überprüfung der zuvor ermittelten Periodendauer mit der Software PerSea

Als letztes habe ich die beiden Datensätze auf Phasen der Rotationsperiode mit der ersten Aufnahme am 12. November als Phasenbeginn normiert und in einer gemeinsamen Tabelle zusammengeführt. Mit dieser Tabelle kann nun die endgültige Lichtkurve dargestellt werden.

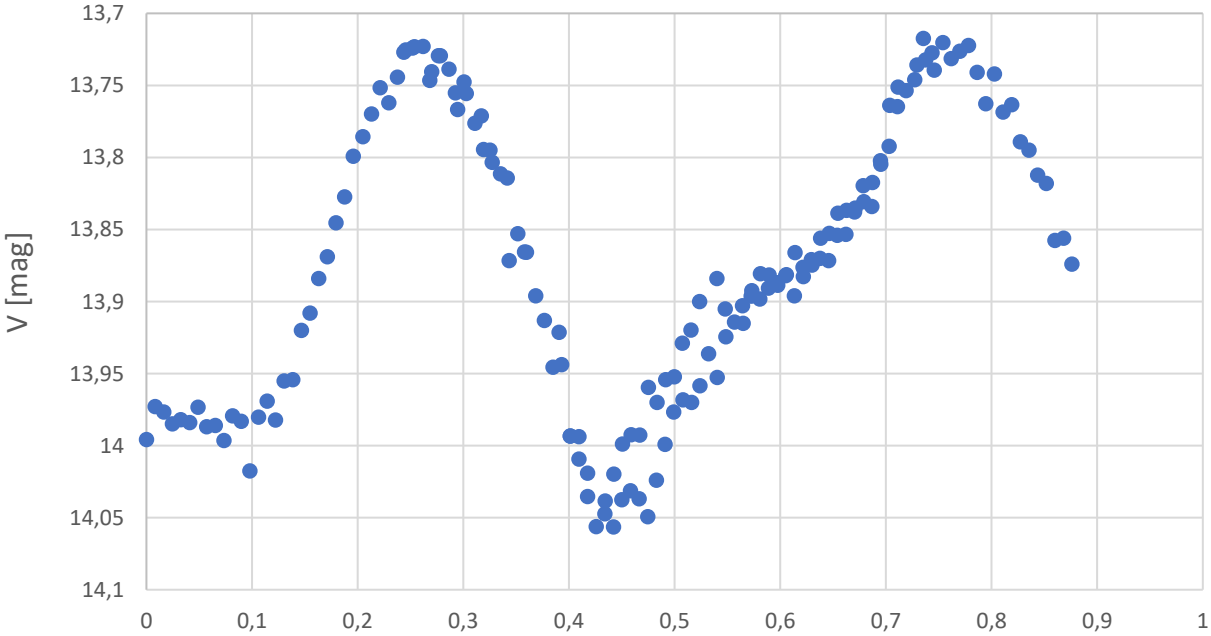


Abbildung 46: Rotationslichtkurve des Kleinplaneten (800) Kressmannia in Phasen; Messwerte des 12. und 14.11.2020 zusammengeführt („Buckel“ des 12. Novembers ebenfalls abgebildet)

Vergleicht man die berechnete Rotationsperiode mit Werten aus der Literatur, zeigt sich eine große Übereinstimmung, die in der folgenden Tabelle veranschaulicht werden soll:

Autoren/ Organisation bzw. Verfahren	Dauer einer Periode [d]	Dauer einer Periode [h:min]	Abweichung von der eigenen Berechnung
Eigene Berechnung	0,185982	4:27,81408	/
Analyse mit PerSea	0,187204	4:29,57376	105,5808 sec
JPL SBDB, ALCDEF	0,186	4:27,84	1,5552 sec
AMU Poznań	0,1858735	4:27,65784	9,3744 sec
Cantu et al.	0,1860417	4:27,9	5,1552 sec
Montaigut et al.	0,1482435	3:33,47064	54,34344 min

In der Übersicht zeigt sich zunächst eine große Übereinstimmung meiner eigenen Messergebnisse mit den Datenbanken der NASA (JPL SBDB und ALCDEF in der Tabelle), der Datenbank des Astronomischen Instituts der Adam-Mickiewicz-Universität in Poznań (AMU in der Tabelle) und der Publikation von Cantu et al. mit Messungen aus dem Jahre 2015, deren Abweichung von meiner ermittelten Rotationsperiode weniger als zehn Sekunden beträgt und im Falle der NASA sogar nur rund eineinhalb Sekunden groß ist. Mit der Periodenanalysesoftware PerSea ist das Ergebnis mit einer Abweichung von über 100 Sekunden gegenüber jedem anderen Wert sehr viel schlechter ausgefallen. Eine große Ausnahme in diesem Vergleich stellt jedoch die Rotationsperiode von Montaigut et al. dar, die beinahe eine Stunde kürzer ist.
Die Astronomen Romain Montaigut, Pierre Barroy, Rémi Anquetin und Bruno Mallecot haben Kressmannia im Jahre 2010 beobachtet und eine Lichtkurve bestimmt. Diese weicht jedoch mit einer Periodendauer von 0,1482435 d vergleichsweise stark von den Angaben anderer Organisationen ab. Das könnte zum einen daran liegen, dass die mit „Provisoire“ gekennzeichnete Lichtkurve unerwartet große Fehler aufweist, was durch die Fehlerangabe von ±0,0000007 aber eher unwahrscheinlich zu sein scheint, oder aber die Rotation von Kressmannia hat sich im vergangenen Jahrzehnt tatsächlich derart verändert. Die genaue Ursache dieser Abweichung lässt sich allein aufgrund der vorliegenden Daten leider nicht erkennen.

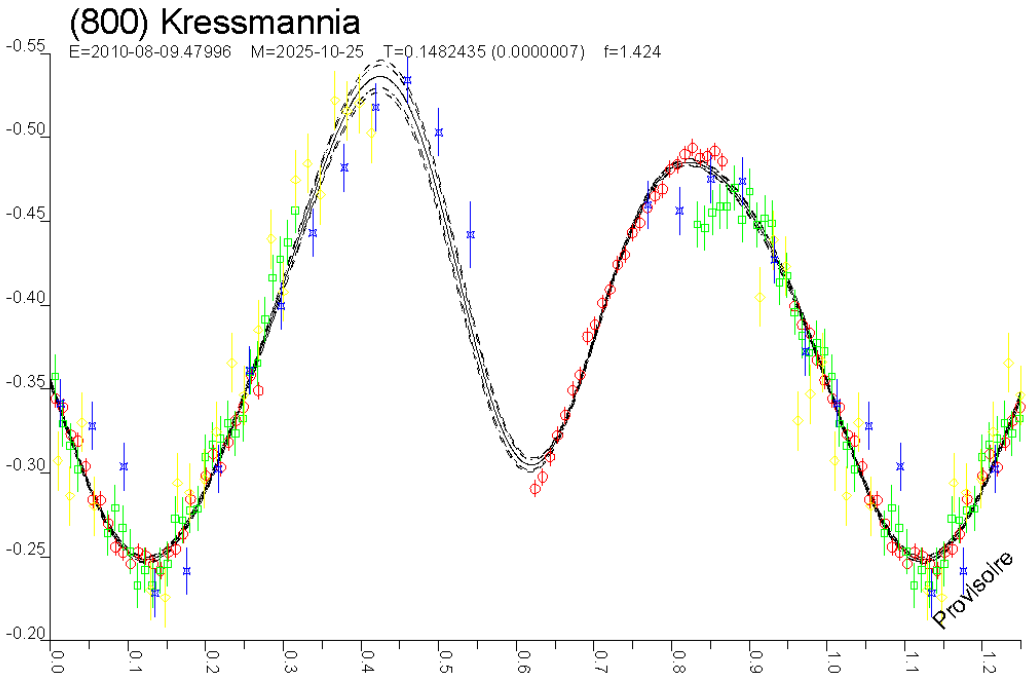


Abbildung 47: Abweichende Lichtkurve von Montaigut, Barroy, Anquetin und Mallecot

Die Adam-Mickiewicz-Universität (AMU) in Poznań (Polen) bietet neben der Übersicht über Bahnparameter zahlreicher Kleinplaneten auch einen Service an, mit dem Lichtkurven interaktiv simuliert werden können und bei dem es rotierende 3D-Modelle gibt (siehe Abb. 48).

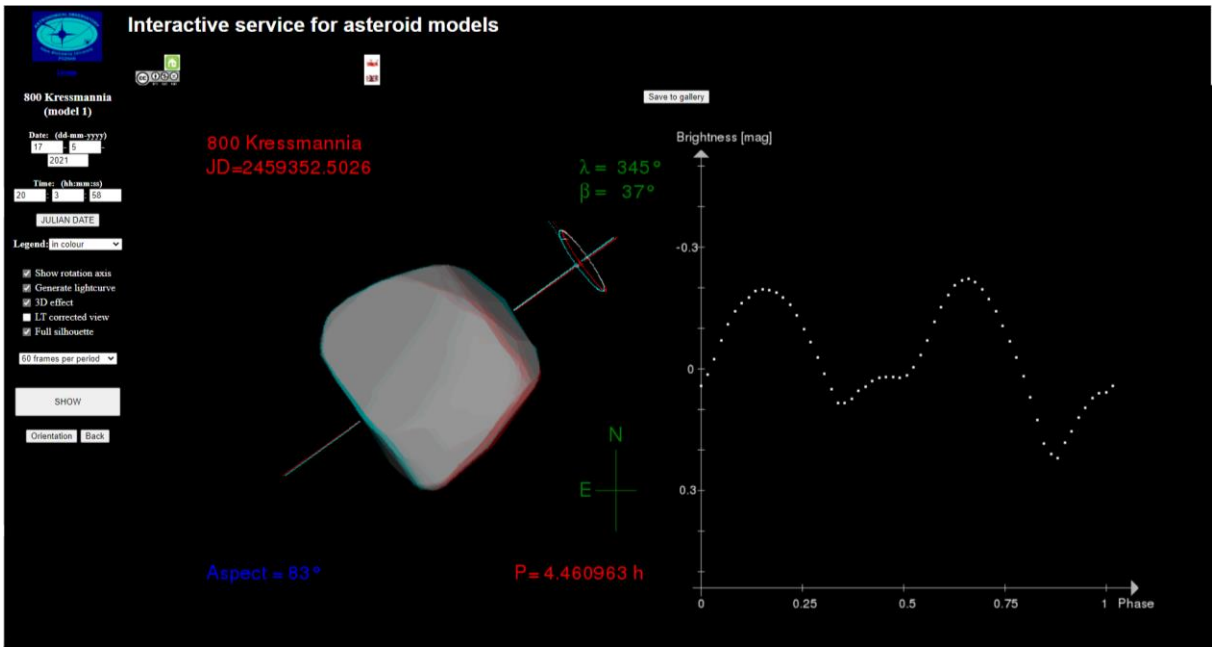


Abbildung 48: Interaktives Modell des Astronomischen Instituts der Adam-Mickiewicz-Universität

Die von der NASA finanzierte Asteroid Lightcurve Data Exchange Format Database (ALCDEF) veröffentlicht ebenso Lichtkurven verschiedener Kleinplaneten. In der untenstehenden Abb. 49 sieht man eine Lichtkurve des Kleinplaneten (800) Kressmannia der ALCDEF Database.

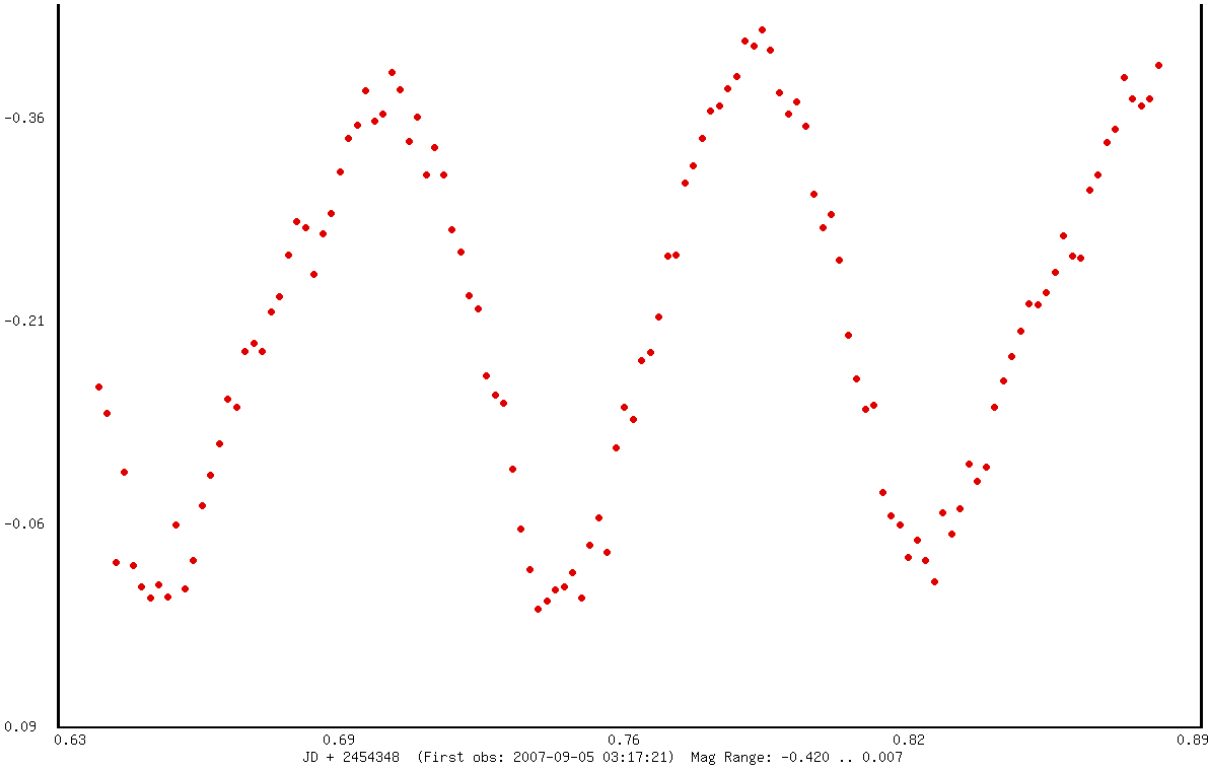


Abbildung 49: Lichtkurve von Kressmannia der Asteroid Lightcurve Data Exchange Format Database

6. Abschließendes Fazit

Natürlich kam es in meiner Projektarbeit zu Herausforderungen und auch Fehlern. Aber bekanntlich gilt ja: Fehler machen die Arbeit um Klassen besser! So gab es Aufnahmen mit Satelliten, die das Bild in Form eines hellen Streifens durchziehen, oder aber solche, bei denen Kressmannia nah an einem Stern vorbeizuziehen schien. Letzteres war eine wirkliche Herausforderung, da einige Aufnahmen des 12. Novembers für die photometrische Auswertung quasi unbrauchbar wurden. Außerdem hatte ich Pech mit den aufgenommen Phasenabschnitten, da sich beide Datensätze größtenteils überschneiden und zusammengeführt keine vollständige Periode ergeben, weshalb keine vollkommen unabhängige Rotationsperiode ermittelt werden konnte. Das Gute daran ist jedoch, dass der aus eben genanntem Grunde abweichende Teil der Lichtkurve des 12. Novembers identifiziert und durch die äquivalenten Werte des 14. Novembers ersetzt werden konnte.

Besonders schön an dem Thema Kleinplaneten ist, dass man buchstäblich die Möglichkeit hat, Neues zu entdecken. Außerdem sollte die Hoffnung irgendwann einmal einen unbekannten Kleinplaneten zu entdecken und ihn daraufhin benennen zu dürfen nicht einfach aufgegeben werden. An der Stelle möchte ich an einen der Grundsätze Stephen Hawkings erinnern:

"Remember to look up at the stars and not down at your feet. Try to make sense of what you see and wonder about what makes the universe exist. Be curious. And however difficult life may seem, there is always something you can do and succeed at. It matters that you don't just give up."

7. Glossar

Albedo

Die Albedo (lateinisch für „Weiße“) ist ein Maß für das Rückstrahlungsvermögen eines Himmelskörpers, genauer von reflektierenden und nicht selbst leuchtenden Oberflächen. Die Albedo ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen einfallendem und zurückgestrahltem Licht. Bei einer Albedo von 0,9 werden also 90% des einfallenden Lichtes reflektiert.

Apsis, Apside

Apsiden sind die beiden Hauptscheitel A und B in Abb. 50 der elliptischen Umlaufbahn eines Himmelskörpers. Die Periapsis A ist dabei der dem Gravitationszentrum F oder aber F‘ nächste Punkt. Die Apoapsis B ist der fernste Punkt. Die Sonne stellt in unserem Planetensystem das Gravitationszentrum und somit den Brennpunkt jeder elliptischen Umlaufbahn aller Himmelskörper außer Monden dar. Innerhalb unseres Sonnensystems wird der sonnennächste Bahnpunkt als Perihel und der sonnenfernste als Aphel bezeichnet.

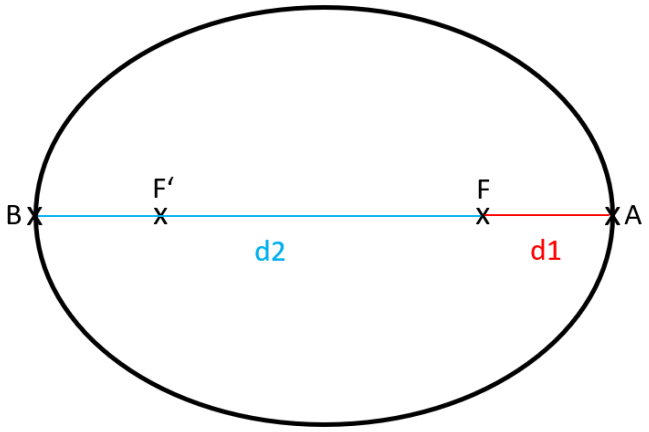


Abbildung 50: Die Apsiden einer Bahnellipse
A = Periapsis (d1 = Periapsisdistanz)
B = Apoapsis (d2 = Apoapsisdistanz)
F / F‘ = Brennpunkt der Ellipse, Gravitationszentrum

Astronomische Einheit

Die astronomische Einheit wird zur Angabe von Entfernungen vor allem innerhalb unseres Sonnensystems verwendet. Eine astronomische Einheit entspricht dabei der großen Halbachse der Erdumlaufbahn von 149.597.870.700 m. Sie wird im deutschsprachigen Raum meist mit „AE“ und im englischsprachigen Raum mit „AU“ (astronomical unit) abgekürzt.

Bahnresonanz

Befinden sich zwei Himmelskörper in einer Bahnresonanz, so unterliegen sie periodisch wiederkehrenden, gravitativen Einflüssen. Da bei der Betrachtung von Resonanzen von Kleinplaneten und Planeten die Masse der Planeten um ein Vielfaches größer ist als die des anderen Körpers, beschränken sich die Auswirkungen der periodischen Einflüsse meist auf den Kleinplaneten, dessen Bahn gestört wird. Befindet sich beispielsweise ein Plutino in 3:2 Resonanz mit Neptun, so umrundet er die Sonne während dreier Neptunumläufe genau zwei Mal.

Ekliptik

Die Ekliptik ist eine Ebene, in der sich die Sonne und alle Planeten mit geringen Abweichungen befinden. Außerdem liegen auch die Bahnen einer Vielzahl von Kleinplaneten in dieser Ebene, wobei die Abweichungen von der Ekliptik, also die Bahnneigungen, hier oftmals größer sind. Beobachtet werden kann die Ekliptik durch die scheinbare Bewegung der Sonne über ein Jahr.

Exzentrizität

Die Exzentrizität beschreibt die Abweichung der Umlaufbahn eines Himmelskörpers von einer Kreisbahn. In der folgenden Auflistung steht das x für die Exzentrizität der Umlaufbahn:

$0 \leq x < 1$	Geschlossene, periodische Bahn	$1 \leq x$	Offene, einmalige Bahn
$0 = x$	Kreisförmig	$1 = x$	Parabolisch
$0 < x < 1$	Elliptisch	$1 < x$	Hyperbolisch

Halbachse

Der Radius einer Ellipse wird als Halbachse bezeichnet. Die große Halbachse oder auch Hauptachse ist dabei die Hälfte des größten Durchmessers, also die halbe Strecke zwischen den beiden Hauptscheiteln A und B in Abb. 51. Die kleine Halbachse oder auch Nebenachse beschreibt die Hälfte des geringsten Durchmessers. Beide Halbachsen schließen einen Winkel von 90° ein und schneiden sich im Mittelpunkt der Ellipse. Bei einem Kreis mit gleich langen Halbachsen, werden diese durch den überall gleich großen Kreisradius beschrieben.

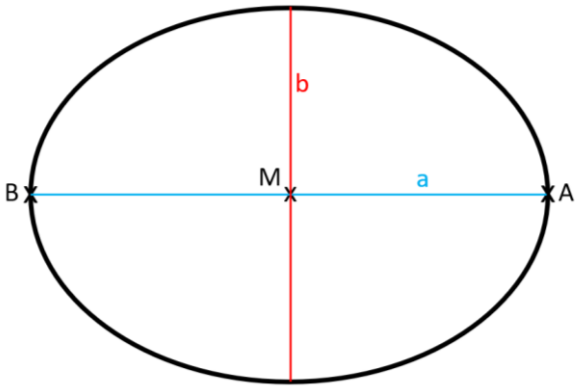


Abbildung 51: Halbachsen der Ellipse
A = Periapsis, B = Apoapsis, M = Mittelpunkt
a = Große Halbachse, Hauptachse
b = Kleine Halbachse, Nebenachse

Inklination, Bahnneigung

Die Inklination oder auch Bahnneigung eines Himmelskörpers gibt an, inwiefern dessen Umlaufbahn von einer bestimmten Bezugsebene abweicht. Als Bezugsebene für Objekte unseres Sonnensystems wird normalerweise die Ekliptik gewählt. Die Bahnneigung entspricht dem Winkel, den diese Bezugsebene mit der Ebene, in der die Umlaufbahn des Himmelskörpers verläuft, einschließt.

Übersicht der sechs Bahnelemente

- a: große Halbachse (s.o.)
- e: Exzentrizität (s.o.)
- i: Bahnneigung, Inklination (s.o.)
- ω: Argument der Periapsis
  - Winkel der Schnittgeraden der Ebenen (= Knotenlinie) und der Periapsis
- Ω: Winkel des aufsteigenden Knotens
  - Winkel zwischen den Strecken von B zum Frühlingspunkt γ und B zum aufsteigenden Knoten
- t: Epoche des Periapsisdurchgangs

<u>Sonstige Begriffe:</u>

- M, B: Ellipsenmittel-, Brennpunkt
- HK, r: Himmelskörper mit Abstand r
- ☊, ☋: auf-/ absteigender Knoten
- v: wahre Anomalie

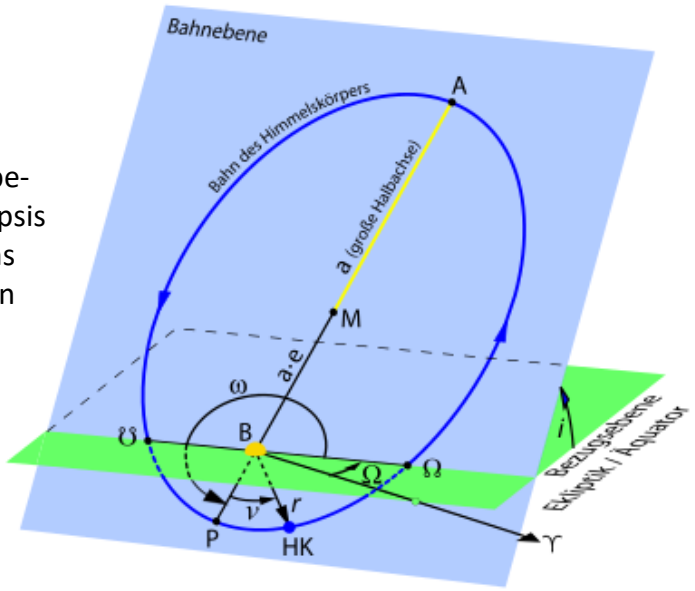


Abbildung 52: Übersicht der sechs Bahnelemente

8. Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei all jenen bedanken, die mir motivierend zugesprochen und dabei geholfen haben diese Projektarbeit fertigzustellen.

Des Weiteren bin ich dankbar dafür, Schülerin des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums sein zu dürfen, da mir diese Schule im Bereich der Naturwissenschaften, aber auch speziell in der Astronomie, große Chancen geboten hat. Dazu gehören selbstverständlich auch meine Leistungskurse Mathematik mit Herrn Hübschen und Physik mit Herrn Winkhaus, welche mir die nötigen grundlegenden Kenntnisse für ein naturwissenschaftlich-technisches Verständnis vermittelt haben.

Besonderer Dank gilt außerdem unserem Kursleiter Herrn Koch, da er uns über den gesamten Zeitraum des Projektkurses und darüber hinaus in der Astro-AG, an diversen Beobachtungsabenden und in Ferienkursen betreut und unterstützt hat.

Außerdem möchte ich mich bei den anderen Kursteilnehmerinnen und Kursteilnehmern bedanken, weil auch sie immer hilfsbereit und offen für Fragen und Anregungen waren. Das untenstehende Bild zeigt Gloria Gabriel, Lynn Ascheuer und mich vor dem CDK20-Teleskop der schulischen Sternwarte.

Abbildung 53: Kursteilnehmerinnen Lynn, Isabel und Gloria vor dem CDK20-Teleskop (von links nach rechts)

9. Hinweise zu den verwendeten Quellen

Chronologisches Literaturverzeichnis

[1]	DLR: „Unser Sonnensystem“ (2010, aktualisierte Auflage)	S.55
[2]	https://www.br-online.de/wissen-bildung/spacenight/sterngucker/planeten/klein-planeten.html	25.11.2020
[3]	Dr. Erik Wischnewski: „Astronomie in Theorie und Praxis“ (2018, 8. Auflage)	S. 714
[4]	https://www.duden.de/rechtschreibung/Asteroid	25.11.2020
[5]	https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroid	25.11.2020
[6]	https://www.duden.de/rechtschreibung/Meteor	25.11.2020
[7]	https://www.timeanddate.de/astronomie/sternschnuppe/meteor-unterschied	25.11.2020
[8]	https://www.planet-wissen.de/natur/weltall/kometen/index.html	25.11.2020
[9]	https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kometen/8190	25.11.2020
[10]	DLR: „Unser Sonnensystem“ (2010, aktualisierte Auflage)	S. 59
[11]	http://www.planetenkunde.de/p009/p00904/p0090403001.htm	09.12.2020
[12]	https://www.spektrum.de/lexikon/physik/titius-bode-beziehung/14574	09.12.2020
[13]	https://www.welt.de/wissenschaft/weltraum/article130424690/Planetenformel-irrer-Zufall-oder-Naturgesetz.html	27.01.2021
[14]	https://www.deutschlandfunk.de/erste-internationale-astronomische-vereinigung-die.732.de.html?dram:article_id=484400	09.12.2020
[15]	DLR: „Unser Sonnensystem“ (2010, aktualisierte Auflage)	S. 33
[16]	https://www.spektrum.de/lexikon/physik/olbers/10637	09.12.2020
[17]	Rainer Kaltenböck-Karow: „Weltraumarchäologie "Die Götter waren schon da"“	S. 33
[18]	https://ssd.jpl.nasa.gov/?body_count	16.12.2020
[19]	https://www.nasa.gov/planetarydefense/neoo	16.12.2020
[20]	https://www.nasa.gov/press-release/nasa-s-osiris-rex-mission-plans-for-may-asteroid-departure	27.01.2021
[21]	NASA Goddard: „OSIRIS-REx Meets Bennu’s Surprises“ https://www.youtube.com/watch?v=j_hSNBmpuqY	23.09.2020 (Upload)
[22]	https://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Raumsonden_zu_Kometen_und_Asteroiden	10.03.2021
[23]	https://minorplanetcenter.net//iau/info/HowNamed.html	28.04.2021
[24]	https://de.wikipedia.org/wiki/Kleinplanet#Benennung	27.04.2021
[25]	https://minorplanetcenter.net/iau/info/DesDoc.html	28.04.2021
[26]	https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=2008TC3	28.04.2021
[27]	https://www.iau.org/public/themes/naming/	28.04.2021
[28]	Springer-Verlag: „Encyclopaedia of Planetary Science“	S. 33-35
[29]	https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroid#Klassifikationsschema_nach_Tholen	08.04.2021
[30]	http://www.kleinplanetenseite.de/Aufsatz/eintlg.htm	14.04.2021
[31]	Cellino, Bus, Doressoundiram, Lazzaro: Spectroscopic Properties of Asteroid Families	S. 637
[32]	https://www.duden.de/rechtschreibung/Libration	24.04.2021
[33]	https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6940	25.04.2021
[34]	https://www.faz.net/aktuell/wissen/weltraum/weltall-saturns-trojaner-sind-anders-1208341-p2.html	25.04.2021
[35]	https://www.spektrum.de/lexikon/physik/kommensurabilitaetsluecken/8199	25.04.2021
[36]	Dr. Erik Wischnewski: „Astronomie in Theorie und Praxis“ (2018, 8. Auflage)	S. 713f.

[37]	http://www.kleinplanetenseite.de/Aufsatz/eintlg.htm	14.04.2021
[38]	https://de.wikipedia.org/wiki/Asteroideng%C3%BCrtel	10.04.2021
[39]	https://de.wikipedia.org/wiki/Kirk-woodl%C3%BCcke#Auff%C3%A4llige_L%C3%BCcken	09.04.2021
[40]	https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2017/03/10/sternengeschichten-folge-224-die-zentauren/	24.04.2021
[41]	https://solarsystem.nasa.gov/resources/399/kuiper-belt-in-depth/	10.04.2021
[42]	https://solarsystem.nasa.gov/news/792/10-things-to-know-about-the-kuiper-belt/	10.04.2021
[43]	https://de.wikipedia.org/wiki/Scattered_Disk_Object	25.04.2021
[44]	https://solarsystem.nasa.gov/solar-system/oort-cloud/overview/	21.04.2021
[45]	https://jumk.de/astronomie/sonnensystem/oortsche-wolke.shtml	24.04.2021
[46]	https://de.wikipedia.org/wiki/Trojaner_(Astronomie)	25.04.2021
[47]	https://en.wikipedia.org/wiki/Detached_object	25.04.2021
[48]	https://de.wikipedia.org/wiki/Sednoid	24.04.2021
[49]	https://planetpailly.com/2016/02/05/sciency-words-detached-object/	25.04.2021
[50]	https://de.wikipedia.org/wiki/Pluto	05.05.2021
[51]	https://www.br.de/pluto/pluto-zwergplanet-entdeckung-100.html	04.05.2021
[52]	https://de.wikipedia.org/wiki/Zwergplanet#Klassifizierte_Zwergplaneten	05.05.2021
[53]	https://www.zeit.de/wissen/2019-10/jim-bridenstine-pluto-planet-nasa	08.05.2021
[54]	Thomas Trösch im Handelsblatt: „Warum gilt Pluto in Illinois noch als Planet?“	05.06.2013
[55]	https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=800	13.05.2021
[56]	https://www.duden.de/rechtschreibung/_metrie	14.05.2021
[57]	Tobias Fries: Positions- und Bahnbestimmung von Ceres und Vesta mit anschließender Ephemeridenrechnung	S. 21-23
[58]	https://www.duden.de/rechtschreibung/foto_	15.05.2021
[59]	https://www.planewave.eu/produkte/teleskope/cdk20-astrograph-f/68-mit-quarz-glas-optik	15.05.2021
[60]	Angaben nach: Bernd Koch	
[61]	https://www.baader-planetarium.com/de/uvir-sperr--l-filter.html	15.05.2021
[62]	https://www.astroshop.de/astro-kameras/sbig-kamera-stx-16803-fw7-stx-set/p,49372	15.05.2021
[63]	http://www.sbig.de/htm-sbig/produkte.htm	15.05.2021
[64]	http://www.astrometrica.at/	16.05.2021
[65]	https://diffractionlimited.com/product/maxim-dl/	16.05.2021
[66]	http://c-munipack.sourceforge.net/	16.05.2021
[67]	http://www.home.umk.pl/~gmac/SAVS/soft.html	17.05.2021
[68]	https://minorplanetcenter.net/iau/lists/ObsCodesF.html	18.05.2021

Hinweise zu den Tabellen

Alle verwendeten Tabellen habe ich eigenständig erstellt und nur bei entsprechender Kennzeichnung dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen. Ist eine Tabelle Teil einer Abbildung, so ist die Quelle im Abbildungsverzeichnis angegeben.

Abbildungsverzeichnis

Nicht nummerierte Abbildungen

Titelseite	• CFG-Logo von der Homepage des Carl-Fuhlrott-Gymnasiums • Lichtkurve als Resultat der eigenen Messergebnisse
NEO-Bahnen	• https://cneos.jpl.nasa.gov/about/neo_groups.html

Nummerierte Abbildungen

1	Cartoon von Luka J., der für die Projektarbeit entworfen wurde
2	https://www.jpl.nasa.gov/images/building-planets-through-collisions-artists-concept
3	https://curation.isas.jaxa.jp/en/research/hayabusa/
4	https://www.nasa.gov/image/nh-approaches-pluto
5-6	https://lp.uni-goettingen.de/get/text/6940 mit Erlaubnis von Herr Chizhik
7	https://en.wikipedia.org/wiki/Asteroid#Asteroid_belt
8	https://jumk.de/astronomie/sonnensystem/oortsche-wolke.shtml
9	Eigene Abbildung
10	https://www.nasa.gov/image-feature/charon-and-pluto-strikingly-different-worlds
11	https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi?sstr=800;orb=1;cov=0;log=0;cad=0#orb Eigene Beschriftung
12	https://ssd.jpl.nasa.gov/sbwobs.cgi#results
13-15	Eigene Abbildungen
16-17	Foto von Bernd Koch
18	https://www.baader-planetarium.com/de/uvir-sperr--l-filter.html
19	https://www.astroshop.eu/astronomical-cameras/sbig-camera-stx-16803-mono/p,53788
20	http://www.sbig.de/sbig-history/htm-sbig/bigccd.htm
21	Screenshot des Wetterberichtes von meteoblue
22	Screenshot der Steuerung des CDK20 aus dem Kontrollraum am 09.11.
23-27	Screenshots innerhalb der Software Astrometrica
28	Screenshot des Beobachtungsreports von Bernd Koch
29	https://minorplanetcenter.net/beta/wamo.html
30	https://minorplanetcenter.net/db_search/show_object?utf8=%E2%9C%93&object_id=Kressmannia
31	Screenshots des Wetterberichtes von meteoblue und wetteronline
32	Screenshot der Fernsteuerung des C14 EdgeHD-Teleskops über MS Teams am 14.11.
33-34	Eigene Aufnahmen
35	Screenshots innerhalb der Software Maxim DL Pro 5
36	Eigene Aufnahmen
37-44	Screenshots innerhalb der Software MuniWin
45	Screenshots innerhalb der Software PerSea
46	Screenshot innerhalb der Software MS Excel
47	https://obswww.unige.ch/~behrend/page3cou.html
48	http://isam.astro.amu.edu.pl/
49	http://www.alcdef.org/PHP/alcdef_GenerateALCDEFPage.php
50-51	Eigene Abbildungen
52	https://de.wikipedia.org/wiki/Bahnelement#Gestaltelemente
53	Foto von Bernd Koch

10. Abschlusserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Projektarbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet und die Stellen der Projektarbeit, die dem Wortlaut oder Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir verfasste Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Isabel Kock

Isabel Rebecca Kock