Carl-Fuhlrott-Gymnasium
Wuppertal, Nordrhein-Westfalen

Jugend forscht 2022

Geo- und Raumwissenschaften

Astronomie

Photometrische Untersuchung und Modellerstellung des Kontaktdoppelsterns NSVS 2607629

Noah Felix Baum (17)
noahfelixbaum@gmail.com

Projektbetreuer: Bernd Koch

Abgabedatum: 16.01.2022

Kurzfassung

Diese Forschungsarbeit behandelt das Doppelsternsystem NSVS 2607629. Dieses wurde von mir im Schuljahr 2020/21 im Rahmen einer Projektarbeit photometrisch untersucht. Das letzte Paper von B. Gürol und R. Michel (2017), in dem ein Modell des Doppelsternsystems erstellt wurde, zeigte einen Hotspot, eine Region mit erhöhter Temperatur auf einer der beiden Sternkomponenten. Die Existenz dieses Hotspots konnte ich bei meinen Messungen Anfang Februar 2021 nicht bestätigen. Da seit 2017 hierzu kein weiteres Paper veröffentlicht wurde, wurde dieses Doppelsternsystem im Herbst 2021 erneut von mir vermessen, um zu prüfen, ob dieser Hotspot noch existiert. Zur Bestimmung der physikalischen Parameter, wie Masse, Umlaufperiode, Radius und Form, wird das Verfahren des „Reverse Engineering“ angewendet. Dabei wird eine Modelllichtkurve an die gemessene Lichtkurve angepasst. Mit den erhaltenen physikalischen Parametern wurde ein rotierendes 3D-Modell des Doppelsternsystems erstellt.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **2**

2 Beobachtungen **4**
2.1 Das technische Equipment 4
2.2 Durchführung der Beobachtungen 5

3 Auswertung der Daten **6**
3.1 Aufbereitung der Daten 6
3.2 Periodenbestimmung 6
3.3 Modellerstellung 8
3.3.1 Daten aus der Beobachtung vom 12.02.2021 8
3.3.2 Daten aus der Beobachtung vom 21.12.2021 10
3.4 Systemparameter 12

4 Ergebnisdiskussion **14**

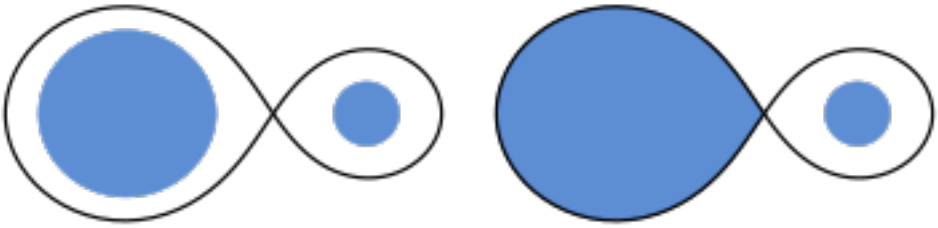
5 Zusammenfassung **15**

6 Literaturverzeichnis **16**

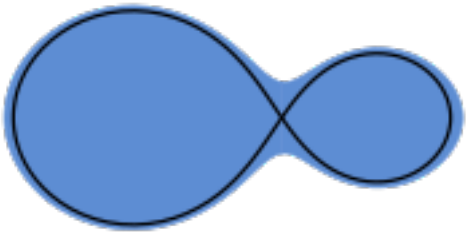
7 Anhang **17**
7.1 Abbildungsverzeichnis 17
7.2 Softwareverzeichnis 18
7.3 Danksagung 19
7.4 Abschlusserklärung 20

1 Einleitung

Schon seitdem ich ein kleines Kind war, hat mich die Astronomie fasziniert. Ich konnte gar nicht genug von den interessanten Fakten über unser Universum und den Kosmos bekommen. Daher war ich gleich begeistert, als ich von der Sternwarte auf dem Dach meiner Schule, dem Carl-Fuhlrott-Gymnasium, gehört hatte. Aus diesem Grund wählte ich in der Oberstufe den Projektkurs Astronomie und schrieb eine Projektarbeit [Bau] über ein astronomisches Thema, welches ich mir selbst aussuchen durfte. Nach dem Einlesen in unterschiedlichste Literatur, beschloss ich, dass ich mein Thema den Doppelsternen widme. Die Vorstellung, dass es zwei Sonnen am Himmel geben könnte, erscheint zu Beginn recht unheimlich und unglaublich. Dennoch ist diese Überlegung gar nicht so abwegig, da geschätzt mehr als die Hälfte aller Sterne im Universum Doppel- oder Mehrfachsysteme sind [Wei]. Auch wenn diese Sternsysteme, von der Erde aus gesehen, nur wie kleine weit entfernte Sterne aussehen, lassen sich doch einige interessante Eigenschaften und Phänomene mit verschiedenen Beobachtungsmethoden erschließen. Ich untersuchte den Doppelstern NSVS 2607629. Dieser wurde im Jahr 2009 entdeckt [GM16] und ist ein photometrischer Doppelstern. Dies bedeutet, dass sein Doppelsterncharackter sich durch einen Helligkeitsunterschied verrät. Das geschieht, da die beiden Komponenten des Systems vom Beobachter aus gesehen sich gegenseitig verdecken, wodurch die Helligkeit abnimmt. Sobald beide Komponeneten wieder nebeneinander stehen, nimmt die Helligkeit wieder zu. Die entstehende Kurve kann einige Eigenschaften des Doppelsterns verraten. Ich bin durch Zufall auf dieses Doppelsternsystem gestoßen und wollte dieses näher photometrisch untersuchen, da es zu dem Zeitpunkt des Kurses günstig am Himmel stand. Bei der Auswertung der Daten aus dem Februar 2021 fiel mir eine Abweichung zu den Beobachtungen der Astronomen B.Gürol und R.Michel aus dem Jahr 2017 [GM16] auf. Das zweite Maximum deren photometrischer Untersuchung wies ein Hotspot auf, welches ich in meiner Auswertung nicht bestätigen konnte. Dieses ist auf den O´Connell-Effekt [OCo51] zurückzuführen, welcher die unterschiedliche Höhe der Maxima in der Lichtkurve beschreibt. Zudem stehen beide Sterne in direktem Kontakt zueinander, weshalb sie auch als „Contact Binary“ definiert werden können. Hierbei wird eine Einteilung unternommen, die beschreibt, ob und welche Sterne eines Systems ihre Roche-Grenze ausdehnen.
Dabei beschreibt das Modell der „Detached Binary“ Systeme, die sich physisch umkreisen und auch gravitativ aneinander gebunden sind, aber sich nicht so stark beeinflussen, dass die Roche-Grenze überschritten wird. Hingegen beeinflussen die „Semidetached Binary“ sich so, dass die Roche-Grenze zum Teil überschritten wird, wodurch sie teilweise miteinander interagieren. Anders verhalten sich da die „Contact Binary“. Diese stehen in direktem Kontakt und können eine gemeinsame Hülle bilden, wodurch es unter Umständen sogar zu einem Austausch von Masse kommen kann. Dabei kann es vorkommen, dass der eine Stern den anderen förmlich „verschlingt“.
Das Doppelsternsystem NSVS 2607629 hingegen ist ein „Contact Binary“ und besitzt eine gemeinsame Hülle. Es ist allerdings unklar, ob es dabei zu einem Austausch von Materie



(a) Detached Binary (b) Semidetached Binary



(c) Contact Binary

Abbildung 1.1: Die verschiedenen Möglichkeiten der Roche-Grenze in Doppelsternen; Grafik: Philip D. Hall

kommt. Durch diese Unklarheit in dem System ist es sehr spannend zu beobachten, inwiefern ein gegenseitiger Kontakt das System mit den Hotspots beeinflusst.
Daher beschloss ich im Zuge einer Jugend forscht Teilnahme dieses Doppelsternsystem erneut zu vermessen und zu untersuchen. Dabei wollte ich überprüfen, ob ich meine Beobachtungen unterstützen kann und gegebenenfalls nach einem möglichen Grund für das fehlende Hotspot suchen. Zudem war mein Plan, dass ich aus den gemessenen Daten ein rotierendes 3D-Modell mittels des Verfahrens des „Reverse Engineering“ erstelle und dadurch möglichst die physikalischen Parameter bestimme. Dazu wird eine Modelllichtkurve an die eigene gemessene Lichtkurve angepasst. Schlussendlich war mein Ziel, dass ich meine Daten von zwei Beobachtungsabenden jeweils mit denen von Gürol und Michel vergleiche.

2 Beobachtungen

2.1 Das technische Equipment

Die mehr als fünf Stunden dauernde Messung fand per remote control an der Privatsternwarte meines Projektbetreuers Bernd Koch im Westerwald statt. Dies geschah aufgrund der langen Umlaufzeit des Objektes, was aus zeitlichen Gründen an der Sternwarte des Schülerlabor Astronomie nur schwierig machbar gewesen wäre. Das Hauptteleskop war ein Celestron 14 Edge HD mit einer Öffnung von 14 Zoll und einer Brennweite von 2700mm. Die Brennweite ist dabei durch einen Brennweitenverkürzer (Focal Reducer *0,7) verkürzt, wodurch die Lichtstärke erhöht wird. Das Teleskop war auf einer GM 2000 HPS Montierung von 10 Micron montiert. An dem Teleskop war eine STT-8300M als Kamera angesetzt, welche die Bilder aufnahm, die zur Auswertung herangezogen wurden.

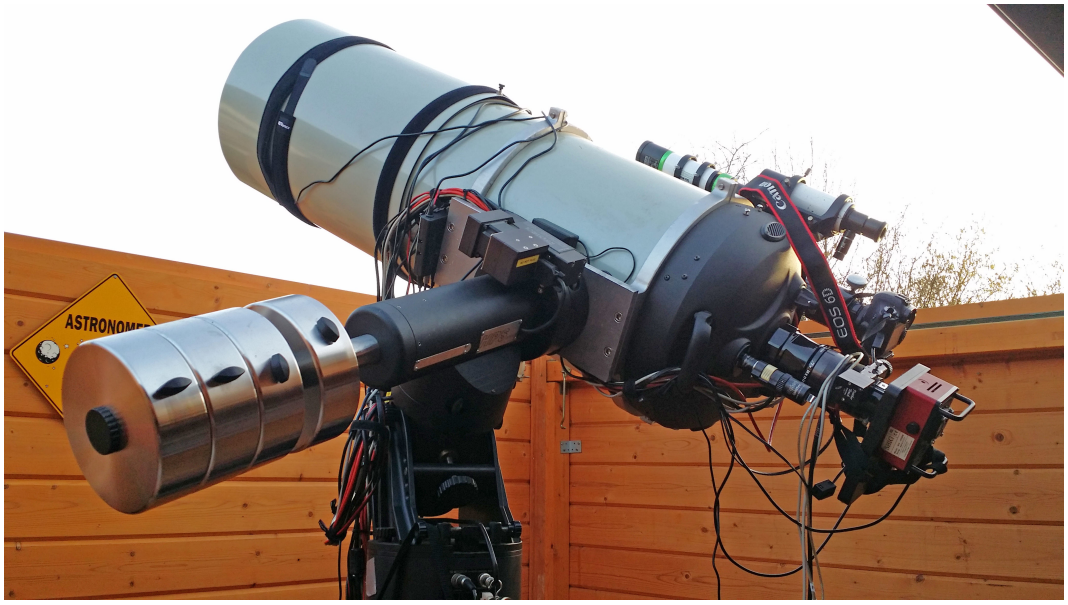


Abbildung 2.1: Das Hauptteleskop C14 Edge HD; Foto: Bernd Koch

Allerdings war vor der Kamera noch ein Filter angebracht. Bei meiner ersten Beobachtung war dies noch ein ganzer Filtersatz. Dieser war der RGB-C CCD-Filtersatz von Baader. Bei der Auswertung lag der Fokus allerdings auf dem Grünfilter, da dieser am ehesten an den Absorptionsbereich des gängigen V-Band Filter herankommt. Bei meiner zweiten Beobachtung lag dann nun wirklich ein V-Band Filter des Baader Bessel-Johnson BVRI-Filtersatzes vor, welchen ich auch nutzte. Somit ist diese Messung mehr mit denen der Profiastronomen vergleichbar, da ich so mit keinem Fehler durch den veränderten Durchlassbereich rechnen musste. Durch Schwierigkeiten bei der Lieferung durch Engpässe, konnte ich diesen Filter nicht schon vorher nutzen.

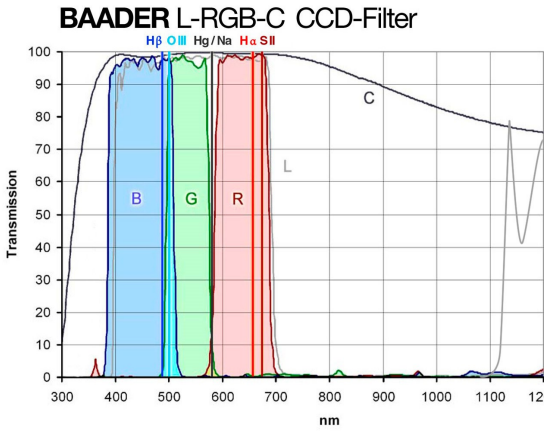


Abbildung 2.2: Die Transmissionskurven der Baader L-RGB-C CCD-Filter

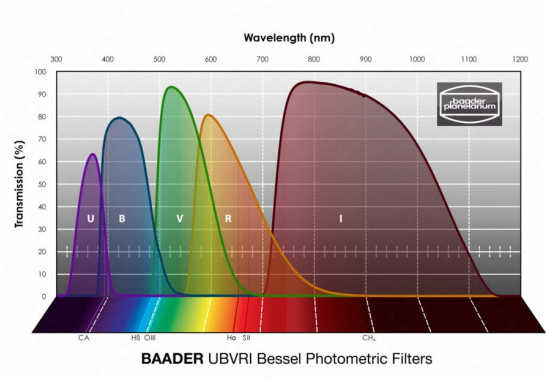


Abbildung 2.3: Die Transmissionskurven der Baader UBVRI Bessel-Johnson Filter

2.2 Durchführung der Beobachtungen

Die erste Beobachtung des Doppelsternsystems fand bereits am 12.02.2021 statt. Diese wurde, wie bereits erwähnt, im Zuge des Projektkurses Astronomie durchgeführt. Der Aufnahmestart lag war um 19:52 Uhr (MEZ). Die RGB-Filter sollten nach jedem Bild durch ein Filterrad gewechselt werden. So wurden die ersten sieben Aufnahmen von allen Filtern mit einer Belichtungszeit von 120 Sekunden aufgenommen. Da die Helligkeit des Objektes im Laufe der Nacht immer weiter zunahm, habe ich die Belichtungszeit erst auf 90 Sekunden und nach weiteren drei Bildern auf 60 Sekunden verringert. Bis um 01:45 Uhr (MEZ) wurden so insgesamt 296 Bilder aufgenommen. Allerdings kam später heraus, dass das Filterrad die Filter nicht nach jedem Bild gewechselt hat. Dieser Fehler lag wahrscheinlich daran, dass durch die Kälte das Filterrad einige Aussetzer hatte und sich so nicht weiterdrehte. Da die dazugehörige Auswertung einen längeren Zeitraum in Anspruch nahm, konnte eine weitere Beobachtung erst im nächsten Herbst/Winter stattfinden. Der Doppelstern konnte erst gegen Ende November wieder erreicht werden. Durch eine längere Periode von schlechtem Wetter konnte die zweite Beobachtung erst am 21.12.2021 stattfinden. Hier begann die Beobachtung um 18:23 Uhr (MEZ) und endete um 00:01 Uhr (MEZ) am 22.12.2021. Dabei wurden insgesamt 248 Aufnahmen gemacht, welche dieses Mal ausschließlich durch den V-Band Filter erstellt wurden. Auch bei dieser Beobachtung lag die Belichtungszeit am Beginn bei 120 Sekunden und wurde im Laufe der Nacht erst auf 90 Sekunden und dann auf 60 Sekunden reduziert.

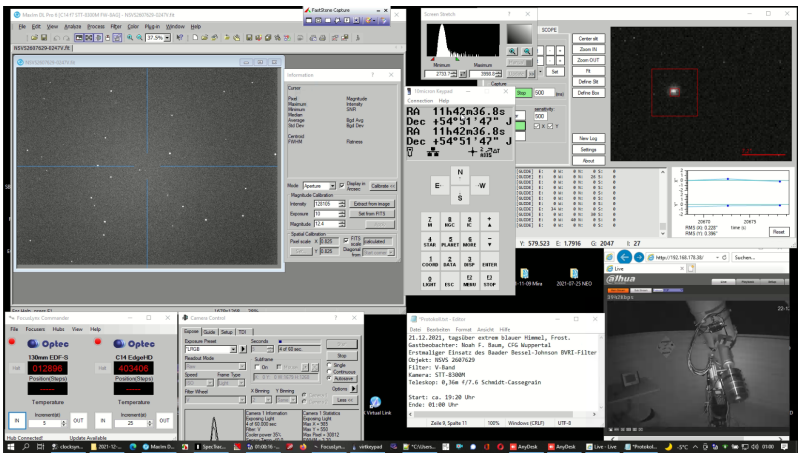


Abbildung 2.4: Aufnahmesteuerung am 21.12.2021

3 Auswertung der Daten

3.1 Aufbereitung der Daten

Nachdem alle Daten aufgenommen waren, wurden sie daraufhin ausgewertet. Dazu wurden zuerst alle Aufnahmen kalibriert und registriert. Dies ist notwendig, da die einzelnen Bilder normalerweise noch Staubringe oder ein sehr großes Bildrauschen aufweisen. Zudem kann es vorkommen, dass die Position der Sterne sich im Laufe der Beobachtung auf den Bildern leicht verändert hat, da die Montierung nicht ganz perfekt ausgerichtet war. So musste ich auch das Teleskop während der Beobachtung noch leicht nachjustieren, da der Doppelstern ansonsten langsam aus dem Bild gewandert wäre. Die Kalibrierung und Registrierung geschah sowie die Aufnahme selbst mit der Software *Maxim DL*. Das Herausrechnen des Bildrauschens und des Staubes auf den Bildern geschah mit den Darkframes und den Flatframes. Diese wurden vor bzw. nach den eigentlichen Aufnahmen, den Lightframes, aufgenommen. Dabei zeigen die Darks nur das eigentliche Bildrauschen bei gleicher Temperatur und gleicher Belichtungszeit unter geschlossenem Kamerasensor. Die Flats dienen dazu, die Staubringe herauszurechnen. Nach der Registrierung und der Kalibrierung wurden die Daten in die Software *Muniwin* geladen. Diese erstellt eine erste Lichtkurve aus den Daten. Dabei muss allerdings ein Vergleichsstern angegeben werden. Bei beiden Beobachtungen wählte ich den Stern 2MASS J11430952+5451510. Dies war gleichzeitig der Referenzstern, der auch von den Astronomen B. Gürol und R. Michel in ihrer Arbeit [GM16] verwendet wurde. Die Lichtkurve war auf der x-Achse gegen das jeweilige Heliozentrische Julianische Datum (HJD) und auf der y-Achse gegen den Unterschied der Helligkeit des Doppelsterns und des Vergleichssterns aufgetragen. Daraufhin wurden die Daten nach *Excel* exportiert, um die Lichtkurven in ihren Diagrammen richtig aufzuarbeiten. Dazu wurden alle Heliozentrische Julianische Daten und die jeweilige Helligkeit in einer Tabelle aufgetragen. Die Helligkeit Var-Comp (Variable - Comparison) wurde zu der Helligkeit des variablen Doppelsterns umgerechnet, welche anschließend in den Strahlungsfluss (Flux) umgerechnet wurde, wobei das erste Maximum auf 1 normiert wurde. Das Heliozentrische Julianische Datum wurde in die Phase der Bedeckung umgerechnet.

3.2 Periodenbestimmung

Um die Lichtkurve richtig auf die Phase normieren zu können, wird eine möglichst genaue Periode des Doppelsternsystem benötigt. Eine Periode entspricht genau einem Umlauf des Systems. Die Periode lässt sich dabei aus einer Analyse der beiden Minima ableiten, wenn sie beiden Minima symmetrisch zueinander stehen. Dann kann die Differenz der beiden Minima nämlich einfach mit dem Faktor 2 multipliziert werden, wodurch die Periode in Tagen entsteht. Um den exakten Zeitpunkt des Minimums vorher genau zu bestimmen,

wird durch das Minimum eine Trendlinie gezogen mit einer Funktion gezogen. Durch die Nullstelle der ersten Ableitung kann daher der x-Wert des Tiefpunktes (hier: das Heliozentrische Julianische Datum) berechnet werden. Es lässt sich erkennen, dass die Periode nie

Tabelle 3.1: Analyse der Minima

Ersteller	**Nebenminimum [HJD]**	**Hauptminimum [HJD]**	**Periode [d]**
Noah Baum 12.02.2021	2459258,3919036	2459258,506473	0,2291388
Noah Baum 21.12.2021	2459570,3393270	2459570,4537920	0,22893
Gürol et al. 14.03.2016 17.03.2016	2457461,81941 2457464,80147	2457461,93267 2457464,91450	0,229385(6)

exakt gleich ist. Meine Periode aus dem Dezember ist etwa 18,04 Sekunden kürzer als im Februar. Allerdings lässt sich im Vergleich zu Gürol und Michel keine lineare Abhängigkeit erkennen, da zu denen die Abweichung zum Dezember etwa 39,31 Sekunden beträgt, was im Anbetracht zu den vergangenen fünfeinhalb Jahren recht kurz für eine Abhängigkeit ist. Diese Ungenauigkeit ist auch Gürol und Michel [GM16] aufgefallen, weshalb sie nur einen Mittelwert als Periode angegeben haben. Aus ihren beiden Messungen entnahmen sie eine Veränderung des ersten Minimums und stellten folgende Formel auf:

$$(O - C) = 1,45541 * 10^{-5} * E - 2,76867 * 10^{-6}$$

Dabei gibt (O-C) den Wert an, der bei der Subtraktion von den beobachteten Daten und den berechneten Daten erfasst wurde (Observation - Calculation). Das E in der linearen Gleichung gibt die Anzahl der Umläufe an. Daraus ist eine leichte Verschiebung des ersten Minimums im Vergleich zu dem zweiten abzuleiten. Dies bedeutet, dass sich allein aus der Analyse der Minima keine exakte Periode ergeben kann. Dies ist eigentlich für solche kurz periodischen Doppelsternsysteme ungewöhnlich. Um die Minima dennoch voraussagen zu können, haben Gürol und Michel anhand ihrer Messungen eine Berechnungsformel angegeben, wodurch der Zeitpunkt des Hauptminimums vorausgesagt werden kann.

$$HJD(Min.I) = 2457461,81938(7) + P * E$$

Hierbei wird für P die Periode eingesetzt. Wird nun die angegebene Periode von Gürol und Michel eingesetzt und versucht vorauszusagen, wann das erste Minimum an beispielsweise dem 21.12.2021, meiner zweiten Beobachtung des Doppelsterns, so erhält man das Heliozentrische Julianische Datum HJD=245970,4600852. Zu dem von mir beobachteten Minimum ist dies eine Abweichung von ca. 16,67 Minuten. Mit der von mir ermittelten Periode, lässt sich dieses Minimum nicht ansatzweise so genau bestimmen. Daher habe ich mich entschieden, dass ich im Folgenden bei weiteren Berechnungen oder Annahmen Gürol und Michels Periode benutze, da diese um ein Vielfaches genauer und exakter ist als meine. Durch diese recht genaue Periode lassen sich nun auch zwei komplette Diagramme mit genauer Phaseneinteilung anfertigen, die jeweils einen kompletten Umlauf der Bedeckung zeigen.

3.3 Modellerstellung

Um aus der Lichtkurve nun ein Modell zu erhalten und damit die Systemparameter möglichst genau zu bestimmen, werden die Daten der Phase und der Magnitude in jeweils in eine Textdatei exportiert. Anschließend werden die Dateien nacheinander in die Software *Binary Maker 3* hineingeladen. Dadurch entsteht ein Graph, die jeweilige Lichtkurve. Nun können die Werte des Systems im „User Input“ eingegeben werden. Sobald alle gewünschten Werte eingegeben Werte eingegeben sind, drückt der Nutzer auf „Render“ und die Software zeigt im Fenster des Graphen in einer anderen Farbe die Lichtkurve, die nach den eingegebenen Werten daraus resultiert. Sind die beiden Lichtkurven sich ähnlich, so kann davon ausgegangen werden, dass die vorher eingegebenen Werte dem System wohl recht nahe kommen. Dabei zeigt das Fenster „LC Residuals“ gleichzeitig die jeweilige Abweichungen zu der eigentlichen Messung an. Zudem wird in einem zusätzlichen Fenster das Modell in einem Gitternetz dargestellt.

3.3.1 Daten aus der Beobachtung vom 12.02.2021

Zunächst habe ich mich mit der Modellerstellung und den Systemparametern von der Beobachtung am 12.02.2021 befasst. Hierbei habe ich mich zunächst an die angegebenen Werte von Gürol und Michel [GM16] gehalten, da ich mir so erst einmal eine Grundvorstellung der Systemparameter aneignen konnte. Diese habe ich dann versucht so zu modifizieren, dass die Kurve sich näher an meinen Graphen anpasst. Dabei fiel mir auf, dass sich auf dem kleineren Stern ein Hotspot befindet. Diesen haben die Beobachtungen zuvor nicht gezeigt. Auf dem größeren Stern zeigte sich kein Hotspot, wie es bei Gürol und Michel der Fall war, die den Hotspot auf den O´Connell Effekt zurückführten. Somit erhielt ich eine Lichtkurve (Abbildung 3.1). Den Hotspot habe ich separat dargestellt (Abbildung 3.2). Die Verbesserung des Kurvenfits mit Hinzunahme eines Hotspots ist allerdings minimal und erfordert weitergehende Anpassungen der Systemparameter, sofern man nicht von einem Messfehler ausgeht. Die exakte Modellierung an dieser Stelle steht aus.

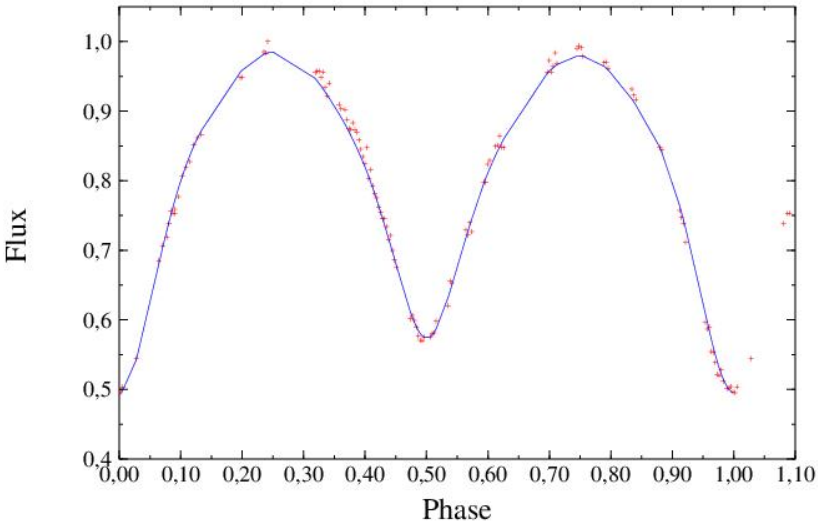


Abbildung 3.1: Die gefittete Lichtkurve des Doppelsternsystems NSVS 2607629 vom 12.02.2021

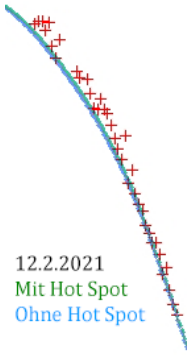


Abbildung 3.2: Der Hotspot am 12.02.2021 (Phase 0,3 bis 0,45)

Der Graph zeigt eine recht genaue durchgelegte Kurve, die der Messung schon recht gut entspricht. Um allerdings eine genaue Aussage über die Genauigkeit der Kurve treffen zu können, muss auf die Abweichung der Daten zu den ursprünglichen Messungen eingegangen werden. Diese Abweichung lässt sich im Fenster der „LC Residuals“ analysieren.

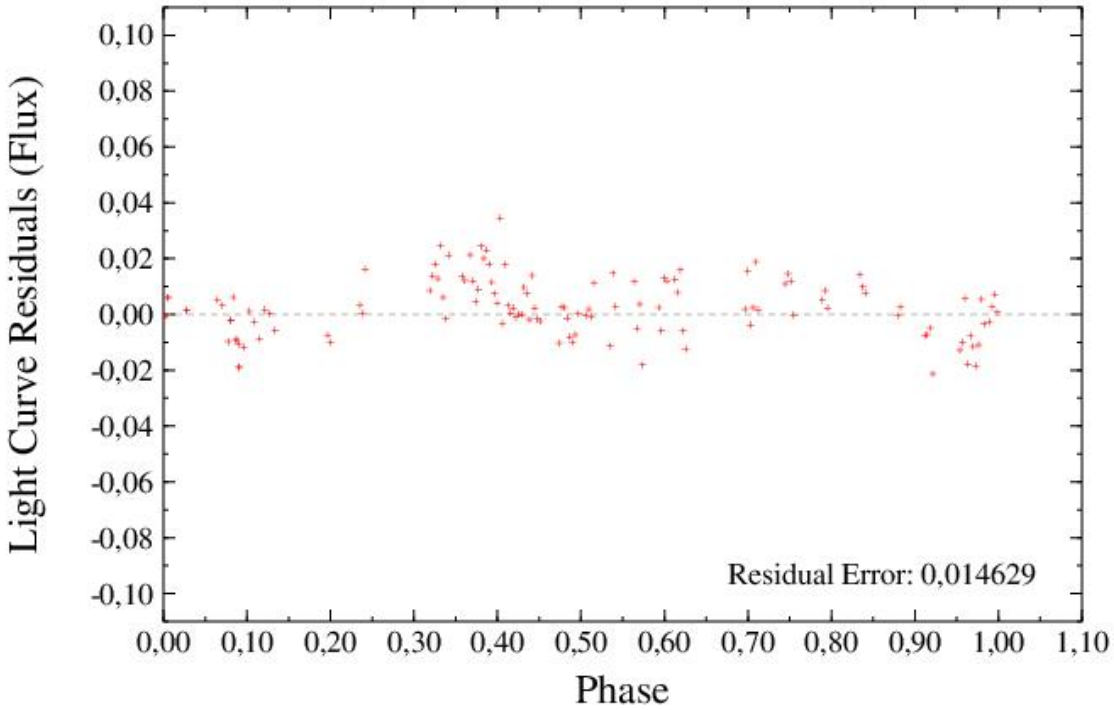


Abbildung 3.3: Die Residuals des Doppelsterns NSVS 2607629 vom 12.02.2021

So lässt sich einfach erkennen, dass die Abweichungen nur von geringer Größe sind und sich größtenteils auf Messfehler zurückführen lassen. Dies bestätigen die Systemparameter. Dabei war die eigentliche Änderung meinerseits nur die Inklination (Bahnneigung). Diese habe ich nämlich von eingestellten $77,72°$ auf $79,5°$ geändert. Ansonsten sind die weiteren Systemparameter von Gürol und Michel übernommen. Dabei liegt die Temperatur des ersten Sterns bei 5110K und die des zweiten bei 5420K. Das Massenverhältnis liegt dabei bei 1.65 und der Randverdunklungskoeffizient liegt auf beiden Komponenten bei 0,32. Alle sonstigen Parameter sind zudem in Tabelle 3.2 aufgelistet. Für den Hotspot auf dem ersten Stern kam der erste Gedanke aus der hohen Streurate nach dem ersten Maximum zwischen der Phase 0,3 und 0,45 (Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3). Sobald das Maximum nämlich vorbei ist und die Lichtkurve wieder abfällt, liegen die Werte fast geschlossen etwas höher als der Kurvenfit. Daraus entstand die Modellierung eines Hotspots auf der ersten Komponente. Diesen beschrieb ich mit einem Temperaturfaktor von 1,02. Das bedeutet, dass der Hotspot demnach um 2% heißer ist als der Rest des Sternes. Lokalisiert wird der Spot bei dem Breitengrad $80°$ und dem Längengrad $220°$, wobei diese Koordinaten sich auf den Stern alleine beziehen. Da die Streurate im Bereich des Hotspots immer noch leicht erhöht ist (Abbildung 3.3), ist der Hotspot noch nicht richtig beschrieben. Das System sieht im 3D-Modell wie folgt aus:

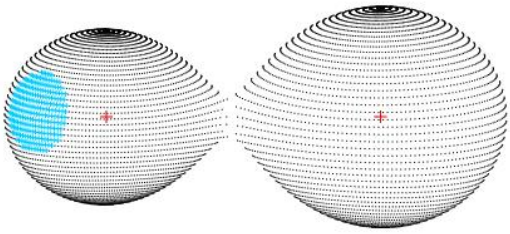


Abbildung 3.4: Der Doppelstern NSVS 2607629 bei Phase 0,25 ausgehend von den Daten vom 12.02.2021 im Modell

3.3.2 Daten aus der Beobachtung vom 21.12.2021

Bei den Daten vom 21.12.2021 bin ich genauso vorgegangen. Ich habe mir zuerst die Daten aus einer vorher erstellten Textdatei in das Fenster des Graphen in *Binary Maker 3* gelegt und bei den Systemparametern zuerst die von Gürol und Michel eingegeben. Anschließend habe ich auch hier wieder die Parameter so angepasst, dass die gefittete Kurve besser auf dem Graphen liegt und die Residuals sich dementsprechend verringern. Der beste gefittete Graph sah dabei folgendermaßen aus:

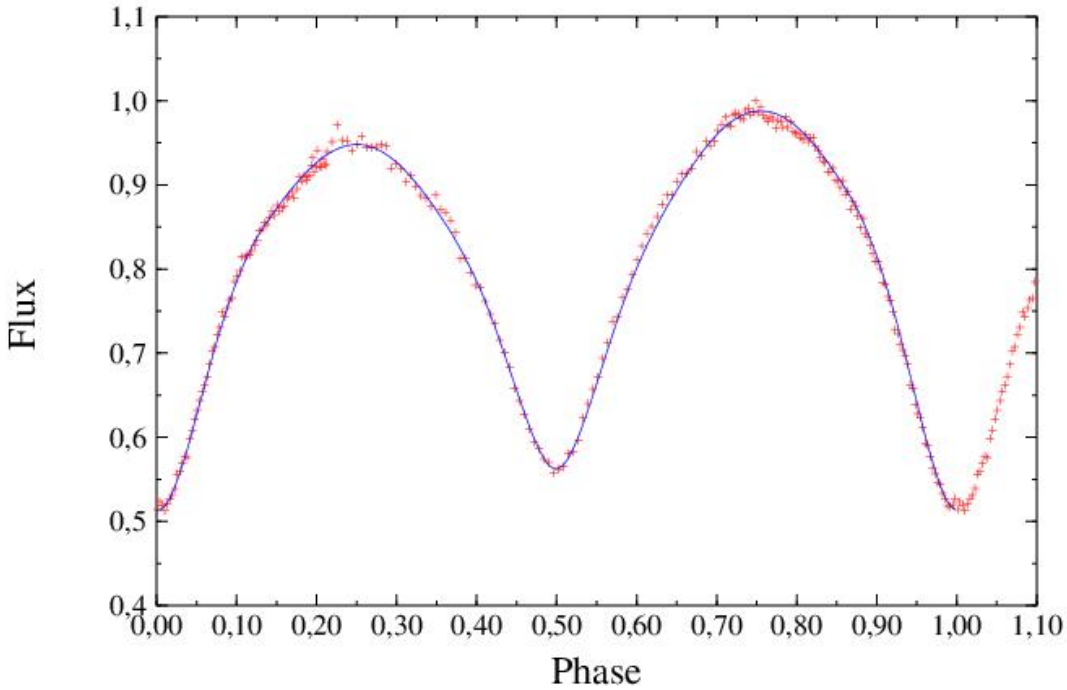


Abbildung 3.5: Die gefittete Lichtkurve des Doppelsternsystems NSVS 2607629 vom 21.12.2021

In Abbildung 3.5 fällt die unterschiedliche Maximalhelligkeit, der O´Connell-Effekt, auf. Dieser ist in dem Graphen sofort auf der zweiten Komponente, der größeren, zu erkennen, obwohl er bei der Beobachtung am 12.02.2021 überhaupt nicht zu erkennen war. Interessant zu beobachten ist auch, dass der Hotspot bei den beiden Beobachtungen von Gürol und Michel [GM16] eine andere Höhe hatte, obwohl zwischen den Beobachtungen

nur eine Differenz von zwei Tagen war. Um die Genauigkeit der gefitteten Lichtkurve zu überprüfen, wird wieder ein Blick auf die Fehlerresiduals geworfen (Abbildung 3.6).

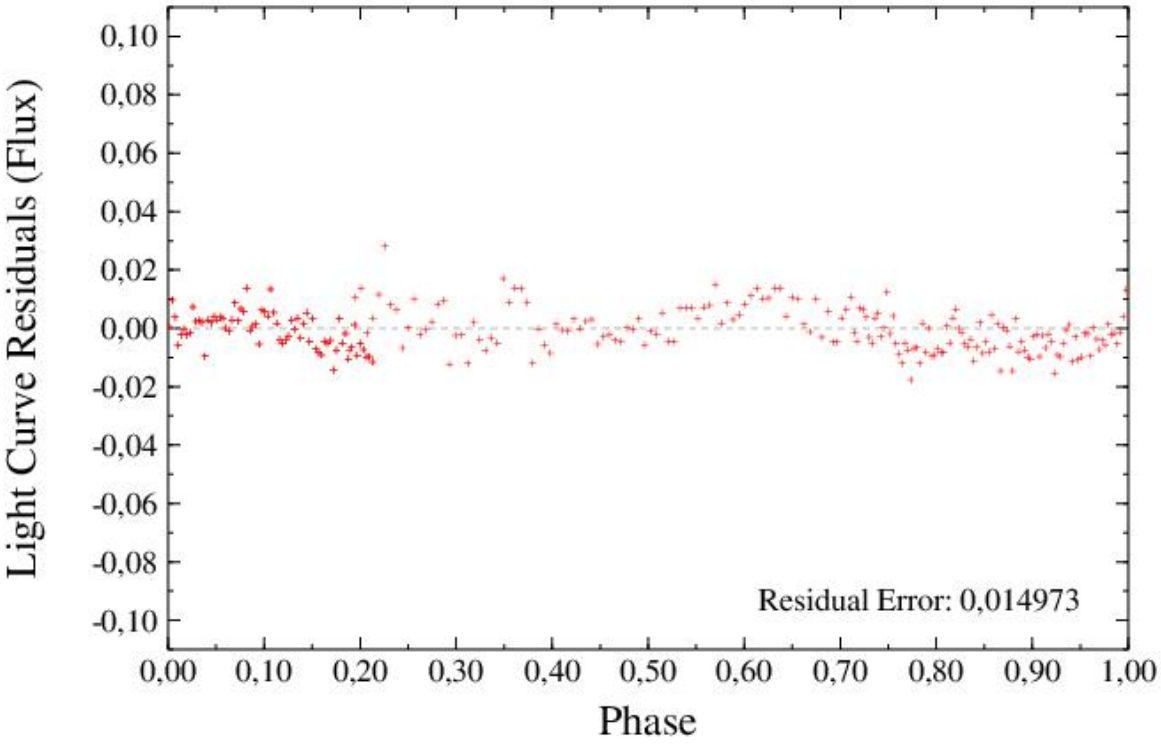


Abbildung 3.6: Die Residuals des Doppelsterns NSVS 2607629 vom 21.12.2021

Auch hier zeigt sich, dass die Fehler mit einem Wert von 0,014973 vergleichsweise gering ist und der Kurvenfit dem Graphen schon sehr nahe kommt. Bei den Systemparametern habe ich wieder nur die Inklination und die Werte des Hotspots geändert. Die Inklination war bei dieser Messung bei $78,7°$ und der Spot war mit einem Temperaturfaktor von 1,02 auf dem größeren Stern bei 80° Breite und 240° Länge zu finden. Die anderen Werte habe ich wieder von Gürol und Michel übernommen. Auch hierbei kann sich ein Blick auf das Modell lohnen, um wirklich zu sehen, was eine solche Änderung bewirkt.

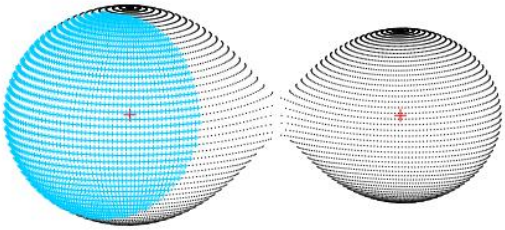


Abbildung 3.7: Das Doppelsternsystem NSVS 2607629 bei Phase 0,75 ausgehend von den Daten vom 21.12.2021 im Modell; Animation parallel zur Lichtkurve: `https://ihrwunschname-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/noah_felix_baum_gy-cfg_de/Edjw1fplhLxAt9FSLNM_khwBKLWFGSl8-vexqX9GzOEcVg?e=UepwMc`

Zu diesem System habe ich das Modell rotierend parallel zur Lichtkurve animiert. Die Animation findet sich unter folgendem Link: `https://ihrwunschname-my.sharepoint.com/:v:/g/personal/noah_felix_baum_gy-cfg_de/Edjw1fplhLxAt9FSLNM_khwBKLWFGSl8-vexqX9GzOEcVg?e=UepwMc`.
Es ist zu erkennen, dass das Modell einige Ähnlichkeiten zu dem von Gürol und Michel aufweist. Auffällig ist dennoch, dass die Bahnneigung einen solch gravierenden Unterschied aufweist.
Zudem lohnt es sich einen Blick auf die direkte Geometrie der Roche-Grenzen im System zu werfen, da so sichtbar wird, inwiefern die beiden Sterne miteinander interagieren und sich beeinflussen. Hierbei wird mit einer Inklination von 90° auf das System geblickt.

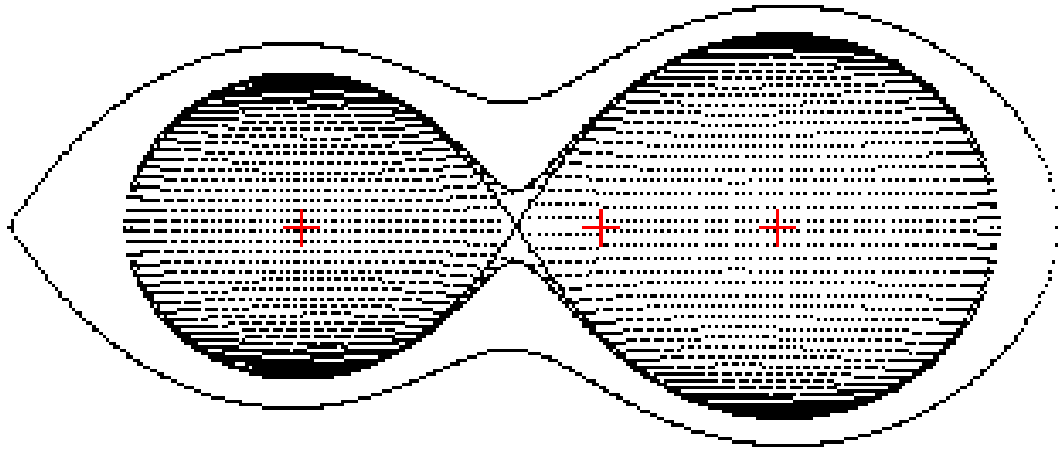


Abbildung 3.8: Roche-Grenzen des Doppelsternsystem NSVS 2607629

Hierbei lässt sich erkennen, dass das Doppelsternsystem sich wirklich berührt und ein direkter Kontakt zwischen den beiden Komponenten stattfindet. Dabei kann es vorkommen, dass ein Austausch von Masse und Materie stattfindet. Wenn dies der Fall wäre, könnte dies ein Hinweis auf die Hotspots im System sein, die dadurch beeinflusst werden können.

3.4 Systemparameter

Durch die Modellerstellung und die recht genau gefitteten Graphen lässt sich darauf schließen, dass die angegebenen Parameter recht gut das System beschreiben. Daher sind diese mit den Startwerten von Gürol und Michel [GM16] im direkten Vergleich angegeben (Tabelle 3.2). Gleichzeitig habe ich noch die Werte von Kjurkchieva et al. [Kju+17] daneben gestellt, um so alle mir vorliegenden Daten aus allen bisherigen Messungen von diesem System direkt vergleichen zu können. Die Beobachtung von Kjurkchieva et al. war allerdings schon am 11., 12. und 13. März 2011, wodurch diese Messung noch weiter als die von Gürol und Michel zurücklag.

Tabelle 3.2: Die Systemparameter des Doppelsterns NSVS 2607629.
Alle Werte mit * zeigen, dass ich diese von Gürol und Michel [GM16] übernommen habe. a[R⊙]: Bahnabstand, i[°]: Bahnneigung, q: Massenverhältnis, T: Temperatur, g bzw. x: Randverdunklungskoeffizienten, r: Sternradien in Einheiten des Sonnenradius.

Parameter	**Messung (12.02)**	**Messung (21.12)**	**G. & M.**	**Kj. et al.**
a[R⊙]	1,66*	1,66*	1,66	1.66(5)
i[°]	79,5	78,5	77,72	80,2
q=$\frac{m_1}{m_2}$	1.65*	1.65*	1.65	1,61
T_1	5420*	5420*	5420	5390
T_2	5110*	5110*	5110	5168
$g_1 = g_2$	0,32*	0,32*	0,32	-
x_1(bolo)	0,644*	0,644*	0,644	-
x_2(bolo)	0,643*	0,643*	0,643	-
r_1(pole)	0,320305*	0,320305*	0,320305	-
r_1(side)	0,335608*	0,335608*	0,335608	-
r_1(back)	0,371182*	0,371182*	0,371182	0,45
r_2(pole)	0,403754*	0,403754*	0,403754	-
r_2(side)	0,428373*	0,428373*	0,428373	-
r_2(back)	0,459586*	0,459586*	0,459586	0,36
Spot kl. Stern				
Breitengrad	80°	-	-	-
Längengrad	220°	-	-	-
Radius	25	-	-	-
Temp. Faktor	1,02	-	-	-
Spot gr. Stern				-
Breitengrad	-	80°	57,92°	-
Längengrad	-	240°	283,1°	-
Radius	-	67	58,56	-
Temp. Faktor	-	1,02	1,0276	-

Bei der Tabelle ist natürlich zu beachten, dass ich zu Beginn des Kurvenfits Gürol und Michels Werte verwendet habe, da diese einerseits aus Berechnungen mit der Periode hervorgingen, welche ich wie in Kapitel 3.2 Periodenbestimmung erläutert, übernommen habe. Andererseits gab es für mich keinen Anlass dazu die Werte groß zu verändern, weshalb alle Werte, die mit Gürol und Michels übereinstimmen, übernommen worden sind. Die Werte von Kjurkchieva et al. konnte ich nicht übernehmen und überprüfen, da diese gerade bei den Werten für den Hotspot leider sehr unvollständig waren.

4 Ergebnisdiskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass mein Modell sich mit dem von Gürol und Michel [GM16] und dem von Kjurkichieva et al. [Kju+17] ähnelt. Dennoch gibt es einige Abweichungen. Zudem weichen auch meine eigenen Messungen voneinander ab. So zeigt sich zum einen, dass bei der ersten Beobachtung kein Hotspot zwischen der Phase 0,7 und 0,8, im zweitem Maximum, zu erkennen ist (Abbildung 3.1). Dafür zeigt sich auf dem anderen Stern, der kleineren Komponente, ein kleiner Hotspot, der sich aus der leichten Erhöhung zwischen der Phase 0,3 und 0,45 nach dem ersten Maximum in der Lichtkurve finden lässt (Abbildung 3.2). Zum anderen zeigt meine zweite Beobachtung, dass das Hotspot sich auf der kleineren Komponente nicht erneut zeigt. Dagegen zeigt sich bei dieser Beobachtung das Hotspot auf der größeren und kühleren Komponente, welchen sowohl Gürol und Michel [GM16] als auch Kjurkchieva et al. [Kju+17] in ihren Messungen erkennen konnten. Dieser geht auf den O´Connell-Effekt zurück. Zu Beginn vermutete ich, dass der Grund in den unterschiedlichen Filtern lag, wodurch bei der ersten Beobachtung am 12.02.2021 das Licht durch den Baader G-Filter anders eingefallen ist als bei der zweiten Beobachtung am 21.12.2021. Es ist aber nur schwierig vorstellbar, dass nur die kleine Abweichung der Transmissionsbereichs (Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3) des G-Filters und des V-Filters die Ergebnisse eine solche Abweichung aufweisen. Daher ist anzunehmen, dass die Abweichungen der Transmissionskurven die Daten nicht wirklich beeinflusst haben können. Dabei ist es wahrscheinlicher, dass die Abweichungen in den Maxima mit der Roche-Geometrie des Systems zusammenhängen. Sollte nämlich ein Austausch von Materie zwischen den Sternen stattfinden, kann dieses Phänomen wohl möglich die Abweichungen erklären. Durch einen Austausch ist das System variabel, wodurch Hotspots temporär immer wieder auftreten und verschwinden könnten. Die mögliche Variabilität erklärt auch, dass die beiden durchgeführten Messungen von Gürol und Michel [GM16] im Hotspot voneinander abweichen (Abbildung 4.1), obwohl die Beobachtungen hier nur zwei Tage auseinander lagen. Dennoch muss beachtet werden, dass meine Messungen in 2021 gut fünf Jahre nach denen von Gürol und Michel erfolgten, sodass keine abschließenden Beurteilung erfolgen kann. Weitere Messungen können klären, ob ein periodischer Effekt vorliegt oder ob in unregelmäßigen Abständen heiße Flecken entstehen und wieder verlöschen.

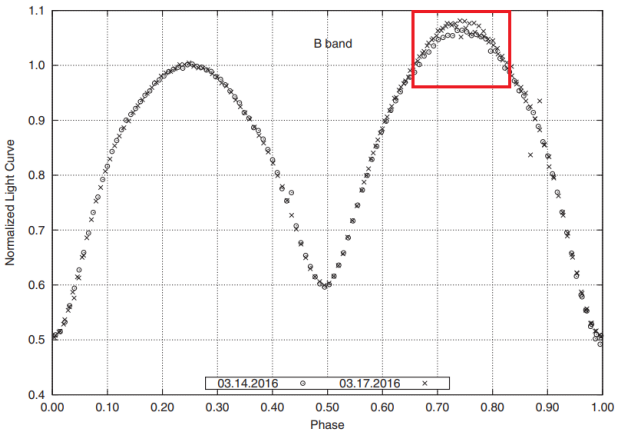


Abbildung 4.1: Die Lichtkurve des Doppelsterns NSVS 2607629 vom 14. und 16.03.2016; Grafik Gürol und Michel [GM16]

5 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Doppelsternsystem NSVS 2607629 ein wirklich spannendes und interessantes ist. Durch meine Beobachtungen konnte ich feststellen, dass das System sich wohl verändert. Die Beobachtungen selbst verliefen dabei sehr gut und nur bei der ersten ergaben sich technische Probleme mit dem Filterrad, wodurch ich mich nur auf den Baader G-Filter beschränkte (Kapitel 2.2). Im weiteren Verlauf konnte ich durch die Ergebnisse von Gürol und Michel die Parameter so verändern, dass ein recht genaue Ergebnisse bei den Kurvenfits herauskam. Dabei habe ich festgestellt, dass die Parameter von Gürol und Michel das System schon annähernd beschreiben. Die einzige drastische Änderung habe ich bei der Inklination vorgenommen, welche allerdings auch bei meinen eigenen Messungen schwankte. Dabei ist aber davon auszugehen, dass das System in Wirklichkeit nicht so enorme Schwankungen in der Bahnneigung vollführt, da solche Abweichungen innerhalb von einem dreiviertel Jahr recht ungewöhnlich wären. Auch bei den Hotspots habe ich interessante Beobachtungen gemacht. Diese verändern mit der Zeit ihre Größe und ihre Position auf den Sternen. Zeitweise scheinen sie auch zu verschwinden.
Um die letztendlichen Ergebnisse nochmal aufzurollen, habe ich sie in der folgenden Tabelle (Tabelle 5.1) zusammengefasst.

Tabelle 5.1: Parameter des Doppelsternsystems NSVS 2607629.
a[R⊙]: Bahnradius, i[°]: Bahnneigung, q: Massenverhältnis, T: Temperatur, r: Sternradien in Einheiten des Sonnenradius.

Parameter	**Ergebnis**	**±σ**
a[R⊙]	1.66	0,05
i[°]	79	0,5
q=$\frac{m_1}{m_2}$	1.65	0,01
T_1[K]	5420	-
T_2[K]	5110	3
r_1(back)	0,371182	0,00047
r_2(back)	0,459586	0,002828

Die Spots habe ich absichtlich aus der Tabelle herausgelassen, da diese so variabel sind, dass dafür keine allgemeine Lösung gefunden werden kann.
Abschließend kann ich daher nur sagen, dass das Anfertigen dieser Arbeit mir viel Freude bereitet hat und für mich ein Erfolg in meiner schulischen Laufbahn ist. Zudem plane ich, dass ich das Objekt in Form einer Langzeitstudie weiter beobachte und vermesse. Dabei soll herausgefunden werden, ob einerseits weitere periodische Veränderungen erfolgen. Andererseits möchte ich die Hotspots weiter untersuchen und versuchen die Veränderung darzustellen.

6 Literaturverzeichnis

[OCo51] D. J. K. O'Connell. „The so-called periastron effect in close eclipsing binaries ; New variable stars (fifth list)". In: *Publications of the Riverview College Observatory* 2.6 (Aug. 1951), S. 85–100. URL: https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1951PRCO....2...85O/abstract.

[GM16] Birol Gürol und Raul Michel. „BVR photometric study of NSVS 2607629. A high mass-ratio W-type W UMa system". In: *New Astronomy* 51 (Aug. 2016). DOI: 10.1016/j.newast.2016.08.016.

[Kju+17] Diana Kjurkchieva u. a. „Observations and Light Curve Solutions of Ultrashort-Period Eclipsing Binaries". In: *Publications of the Astronomical Society of Australia* 35 (Dez. 2017). DOI: 10.1017/pasa.2017.68.

[Bau] Noah Felix Baum. *Photometrische Untersuchung des W-UMa-Doppelsternsystems NSVS 2607629*. URL: https://www.schuelerlabor-astronomie.de/wp-content/uploads/2021/06/Noah-Felix-Baum-W-UMa-Doppelstern-NSVS-2607629-1.pdf. (zuletzt eingesehen am: 13.01.2022).

[Wei] Juergen Weiprecht. *Beobachtungsmethoden und Klassifikation von Doppelsternen*. URL: https://www.astro.uni-jena.de/Teaching/Praktikum/pra2002/node155.html. (zuletzt eingesehen am: 13.01.2022).

7 Anhang

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1 Die verschiedenen Möglichkeiten der Roche-Grenze in Doppelsternen; Grafik: Philip D. Hall:
https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelstern#/media/Datei:Binary_star_system_-_contact_configuration_q=3.svg; zuletzt eingesehen am: 13.01.2021

Abbildung 2.2 Die Baader L-RGB-C CCD-Filter:
https://www.baader-planetarium.com/de/filter/l-rgb-cmos-filter/lrgb-filtersatz---cmos-optimiert.html; hier haben sich die Filter geändert (genutzte sind nicht mehr im Sortiment), wodurch die Abbildung nicht mehr verfügbar sind; zuletzt eingesehen am: 30.12.2021

Abbildung 2.3 Die Baader UBVRI Bessel-Johnson Filter:
https://www.baader-planetarium.com/de/ubvri-bessel-filtersatz---photometrisch.html; zuletzt eingesehen am: 30.12.2021

Abbildung 4.1 Die Lichtkurve des Doppelsterns NSVS 2607629 vom 14. und 16.03.2016; Grafik: Gürol und Michel [GM16]:
https://www.researchgate.net/publication/307898892_BVR_photometric_study_of_NSVS_2607629_A_high_mass-ratio_W-type_W_UMa_system; Figure 5; zuletzt eingesehen am: 13.01.2022

Alle Abbildungen, die nicht aufgeführt wurden, sind eigen angefertigte Skizzen, Bilder oder gemachte Screenshots.

7.2 Softwareverzeichnis

- Binary Maker 3 (3.3 Modellerstellung): `http://www.binarymaker.com/`; zuletzt eingesehen am: 10.01.2022

- Excel (3.1 Aufbereitung der Daten): `https://www.microsoft.com/de-de/microsoft-365/excel`; zuletzt eingesehen am: 10.01.2022

- Maxim DL (3.1 Aufbereitung der Daten): `https://diffractionlimited.com/product/maxim-dl/`; zuletzt eingesehen am: 10.01.2022

- Muniwin (3.1 Aufbereitung der Daten): `https://sourceforge.net/projects/c-munipack/`; zuletzt eingesehen am: 10.01.2022

7.3 Danksagung

Abschließend möchte ich mich noch bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit in irgendeiner Form unterstützt haben.
Zuerst möchte ich mich bei der Schule und den zahlreichen Sponsoren für diese Möglichkeit bedanken, dass ich überhaupt an dem Projektkurs Astronomie teilnehmen konnte und ich diese Arbeit in dem Rahmen einer Jugend-forscht Teilnahme schreiben konnte. Ansonsten hätte ich nicht so einen großen und tiefen Einblick in die Astronomie und deren Forschung erlangt.
Des Weiteren möchte ich Katy Fortak aus der Sternwarte Neanderhöhe Hochdahl e.v. danken. Sie hat mich gerade beim Anfertigen dieser Arbeit mit LaTex durch eine Einführung in einem Wochenendkurs sehr geholfen. Bei allen Fragen und Problemen in Bezug auf LaTex unterstützte sie mich.
Mein größter Dank geht aber an meinen Projektbetreuer Bernd Koch, da er mich in allen Phasen des Projektes unterstützt und begleitet hat. Seit der Themenfindung hat er mir jede Frage beantwortet und er hat mir bei den Vorbereitungen, der Durchführung und der Auswertung der Beobachtungen geholfen. Ganz besonders bin ich ihm dankbar, dass er mit mir die Untersuchung des Doppelsterns an seiner privaten Sternwarte per Fernsteuerung ermöglicht hat.

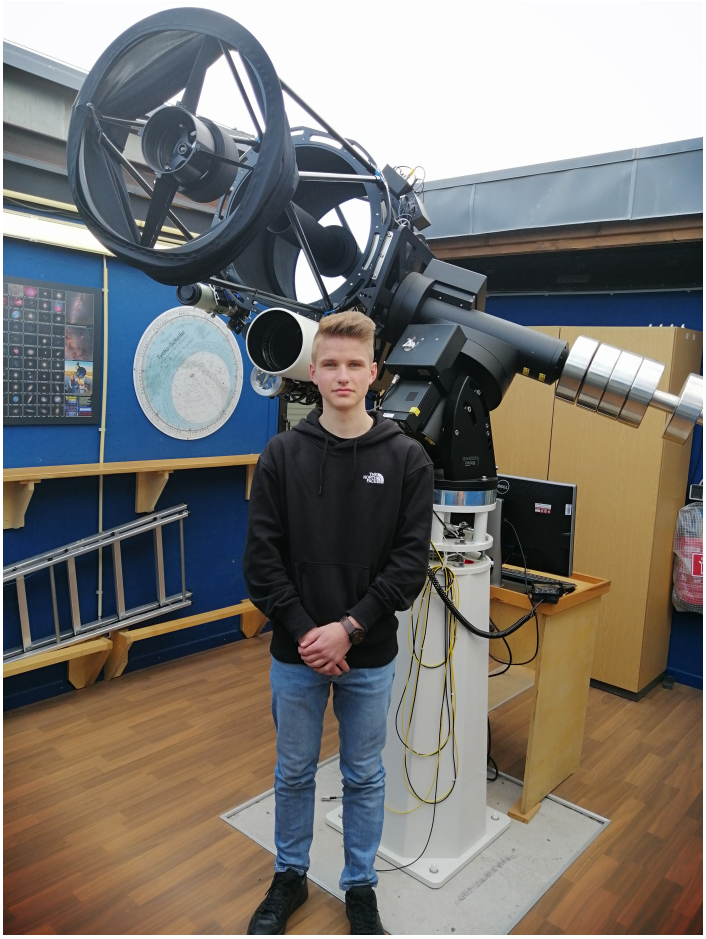


Abbildung 7.1: Der Autor (Noah Felix Baum)

7.4 Abschlusserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Arbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Projektarbeit, die im Wortlaut oder dem Inhalt nach aus anderen Werken entnommen wurden, in jedem einzelnen Fall mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.
Ich bin damit einverstanden, dass die von mir verfasste Forschungsarbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Wuppertal, 16.01.2022, Noah Felix Baum