

**Nachbeobachtungen von Transitkandidaten und
jungen bedeckungsveränderlichen Doppelsternen in
der scheinbaren Umgebung des offenen Sternhaufens
Trumpler 37**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium (Dr. rer. nat.)

vorgelegt dem Rat der Physikalisch-Astronomischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Dipl.-Phys. Ronny Errmann
geboren am 12.08.1984 in Karl-Marx-Stadt

Gutachter:

1. Gutachter: Prof. Dr. Ralph Neuhäuser,
Astrophysikalisches Institut und Universitäts-Sternwarte, Jena
2. Gutachter: Prof. Dr. Stefan Dreizler,
Institut für Astrophysik, Göttingen
3. Gutachter: Prof. Dr. Peter Hauschildt,
Hamburger Sternwarte, Hamburg

Tag der Disputation:

02.09.2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	vii
Symbol- und Formelverzeichnis	ix
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Ziel der Arbeit	1
1.2 Bisherige Suche nach Transitplaneten um junge Sterne	3
1.3 Trumpler 37	4
1.4 Planetare Ursachen für Transitsignale	7
1.5 Weitere Gründe für Transitsignale	9
1.6 CCD-Detektoren	11
2 Photometrische Daten	13
2.1 YETI-Kampagne	13
2.1.1 Zusammenfassung der Kampagnen	15
2.1.2 Zusätzliche Beobachtungen mit der STK	16
2.1.3 Erfasste Beobachtungszeiträume und Phasenabdeckung	17
2.1.4 Kalibration der Helligkeiten und Farbindizes	19
2.1.5 Bestimmung des Spektraltyps aus den Farbindizes	20
2.2 Auswertung der YETI-Daten	21
2.3 Verknüpfung der Daten verschiedener Teleskope	26
2.4 Photometrische Genauigkeit	33
2.5 Suche nach veränderlichen Sternen	34
2.5.1 Suche nach periodischen Signalen	35
2.5.2 Suche nach Transitsignalen - Kasten-Anpassung	38
3 Transitkandidat 1 – Stern 3218	39
3.1 Untersuchungen zur Mitgliedschaft, Spektraltyp und Alter	39

3.2	Analyse der Lichtkurven	40
3.3	Nachbeobachtungen	44
3.3.1	Lichtkurven und Spektroskopie mit CAFOS	45
3.3.2	Hoch aufgelöste Infrarotaufnahmen mit IRCS und AO	50
3.3.3	Hoch aufgelöste Spektroskopie mit Hectochelle	54
3.3.4	Hoch aufgelöste Spektroskopie mittels HIRES	56
3.4	Lösung des Radialgeschwindigkeitsorbits	60
3.5	Ergebnisse	61
4	Transitkandidat 2 – Stern 523	63
4.1	Photometrie und Lichtkurven des YETI-Netzwerks	63
4.2	Nachbeobachtungen	65
4.2.1	Hoch aufgelöste Infrarotaufnahmen mit IRCS und AO	66
4.2.2	Spektroskopische Untersuchungen	68
5	Bedeckungsveränderliche Doppelsterne	75
5.1	Stern 118	76
5.2	Stern 522	80
5.3	Stern 2028	86
5.4	Stern 3132	90
5.5	Vergleich mit Sternentstehungsmodellen	92
6	Zusammenfassung und Ausblick	97
	Literaturverzeichnis	99
A	Unterstützende Erläuterungen	109
A.1	Falsch-Positive Helligkeitsschwankungen	109
A.2	Falsch-Positive Systeme für Transitsignale	112
A.3	Vergleich der STK-Filter mit Literatur	113
A.4	Beobachtungen mit der STK	113
A.5	Detektionslimit der Transitplaneten	114
A.6	Hectochelle Spektrum	115
A.7	Lithiumabsorption für Sterne in Trumpler 37	116
A.8	Auswertung der IRCS <i>H</i> -Band Aufnahmen des Sterns 3218	116
A.9	Radialgeschwindigkeitskurve des Transitkandidaten 1	118

INHALTSVERZEICHNIS

A.10 Lithiumabsorption in den HIRES-Spektren des Doppelsterns 118	118
A.11 Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 522	119
A.12 Massenabschätzung für Stern 2028	119
A.13 Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 2028	120
A.14 Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 3132	120
B Quellcode	121
B.1 Spektraltyp aus <i>BVRIJHK</i>	121
B.2 Zusammensetzung der Lichtkurven aller Teleskope	124
B.3 Routinen zur Datenreduktion	149
Danksagung	171
Erklärung	173

Abbildungsverzeichnis

1.1	Erklärung Transitsignal	7
2.1	Karte der YETI-Standorte	15
2.2	Beobachtungszeiten der YETI-Teleskope	17
2.3	Phasenabdeckung der YETI-Teleskope und STK	18
2.4	Filterkurven im <i>R</i> -Band	27
2.5	Darstellung der Parameter für die Aperturphotometrie und Feldverzerrung	29
2.6	Effekte durch Luftmasse und differentielle Luftmasse	30
2.7	Ausschnitt der Lichtkurve von GM Cep	31
2.8	Vergleich der Lichtkurven zwischen STK und CTK-II	32
2.9	Photometrische Genauigkeit der STK	34
2.10	Photometrische Genauigkeit der zusammengesetzten Lichtkurven	35
2.11	Pfadlänge für Stern 1110	37
3.1	Farb-Helligkeits-Diagramm von Trumpler 37 mit Transitkandidat 1	41
3.2	Lichtkurve des ersten Transitkandidaten für verschiedene Teleskope	43
3.3	Lichtkurven des ersten Transitkandidaten in verschiedenen Bändern	44
3.4	CAFOS-Lichtkurve (<i>I</i>)	46
3.5	CAFOS-Spektrum des ersten Transitkandidaten	48
3.6	Atmosphärische Refraktion und Ausrichtung des Spalts	50
3.7	Hoch aufgelöste IRCS Aufnahmen im <i>J</i> -, <i>H</i> - und <i>K</i> -Band	52
4.1	Farb-Helligkeits-Diagramm von Trumpler 37 mit Transitkandidat 2	64
4.2	Lichtkurve des zweiten Transitkandidaten für verschiedene Teleskope	65
4.3	Lichtkurven des zweiten Transitkandidaten in verschiedenen Filtern	66
4.4	Hoch aufgelöste IRCS-Aufnahmen in <i>H</i> und <i>K</i>	67
4.5	CAFOS Spektrum des zweiten Transitkandidaten	69
4.6	Radialgeschwindigkeitskurve des zweiten Transitkandidaten	74
5.1	Lichtkurve des Doppelsterns 118	79

5.2	Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 118	81
5.3	Lichtkurve des Doppelsterns 522 für verschiedene Teleskope	82
5.4	Lichtkurve des Doppelstern 522 in verschiedenen Bändern	83
5.5	Lichtkurve des Doppelstern 2028 in verschiedenen Bändern	87
5.6	Lichtkurve des Doppelstern 3132 zu verschiedenen Zeiten	90
5.7	Lichtkurve des Doppelstern 3132 in verschiedenen Bändern	92
5.8	Verschiedene Modelle der Vorhauptreihenentwicklung	96
A.1	Eis auf dem CCD	109
A.2	Reflexion von HD 206267 an der Kamerahalterung	110
A.3	Lichtkurven mit nicht-stellarer Variabilität	111
A.4	Ursachen für Transitsignale	112
A.5	Vergleich der Literaturhelligkeiten mit denen der STK	113
A.6	Detektionslimit der Transitplaneten	114
A.7	Hectochelle Spektrum des ersten Transitkandidaten	115
A.8	Lithiumabsorption für Sterne in Trumpler 37	116
A.9	Zwischenergebnisse der Anpassung der PSF für Stern 3218	117
A.10	Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 3218	118
A.11	Lithiumabsorption in zwei HIRES-Spektren des Sterns 118	118
A.12	Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsternsterns 522	119
A.13	Sternentstehungsmodell zu Massenabschätzung für Stern 2028	119
A.14	Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 3218	120
A.15	Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 3132	120

Tabellenverzeichnis

1.1	Beobachtete YETI-Sternhaufen	6
2.1	YETI-Teleskope	14
2.2	Beobachtungen während der YETI-Kampagnen	16
3.1	Eigenbewegung des ersten Transitkandidaten	40
3.2	Eigenschaften aus den Transitlichtkurven	47
3.3	Infrarote Helligkeiten und Extrapolierung ins <i>R</i> -Band	54
3.4	Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HIRES Spektren	59
3.5	Eigenschaften des ersten Transitkandidaten	62
4.1	Infrarote Helligkeiten und Extrapolierung ins <i>R</i> -Band	68
4.2	Radialgeschwindigkeiten aus den IDS-Spektren	73
4.3	Eigenschaften des zweiten Transitkandidaten	74
5.1	Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten für das Doppelsternsystem 118	78
5.2	Eigenschaften des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns 118	80
5.3	Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten für das Doppelsternsystem 522	84
5.4	Eigenschaften des Doppelsterns 522	85
5.5	Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten für das Doppelsternsystem 2028	88
5.6	Eigenschaften des Doppelsterns 2028	89
5.7	Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten für das Doppelsternsystem 3132	91
5.8	Eigenschaften des Doppelsterns 3132	93
5.9	Vergleich der Doppelsterne mit Modellen	95
A.1	Trumpler 37 Beobachtung mit der STK	113

Symbol- und Formelverzeichnis

Symbol	Einheit	Erläuterung
<i>Allgemein, Konstanten</i>		
	px	Pixel, Bildpunkt
\odot		Symbol für die Sonne
σ		Standardabweichung
χ^2		Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den Datenpunkten und dem Modell
FWHM		Halbwertsbreite (“Full Width at Half Maximum”)
c	m s^{-1}	Lichtgeschwindigkeit: $c = 299\,792\,458 \text{ m s}^{-1}$
G	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$	Gravitationskonstante: $G = 6,674\,08 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg s}^2}$
<i>Zeiten, Koordinaten</i>		
UT	h	Universalzeit (“Universal Time”): Standardzeit basierend auf der Erdrotation
JD	d	Julianisches Datum: Zeit in Tagen seit $-4712-01-01^1$ 12:00 Uhr
HJD	d	Heliozentrisches Julianisches Datum: auf des Zentrum des Sonnensystem bezogenes JD
sJD $sHJD$	d	kurzes (heliozentrisches) Julianisches Datum: Zeit in Tagen seit 2009-06-17 12:00 Uhr, $sJD = JD - 2\,455\,000$
τ	Myr	Alter in Mio. Jahren: $1 \text{ Myr} = 10^6 \text{ Jahre} \approx 3,1558 \cdot 10^{13} \text{ s}$
RA α	h:m:s	Rektaszension in Stunden (h), Minuten (m) und Sekunden (s), $1 \text{ m} = \frac{1}{24} \text{ h}$, $1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ m}$
Dec δ	\pm g:m:s	Deklination in Grad (g), Minuten (m) und Sekunden (s), $1 \text{ m} = \frac{1}{24} \text{ g}$, $1 \text{ s} = \frac{1}{60} \text{ m}$

¹Alle Datums- und Zeitangaben dieser Arbeit erfolgen nach ISO 8601 für Ortszeit, soweit nicht anders angegeben.

Symbol	Einheit	Erläuterung
ϕ	" mas	Winkelabstand in Bogensekunden: $1'' = \frac{1'}{60} = \frac{1^\circ}{3600}$ Milli-Bogensekunden: $1\text{mas} = \frac{1''}{1000}$
ζ	°	Winkelabstand zum Zenit
AM		Luftmasse ("Airmass"): Verhältnis des Lichtwegs durch die Atmosphäre gegenüber senkrechten Lichteinfalls ($\zeta = 0^\circ$): $AM \propto \frac{1}{\sin(90^\circ - \zeta)}$
<i>Energie, Fluss, Helligkeit</i>		
E	eV	Energie in Elektronenvolt: $1\text{eV} = 1,602\,176\,62 \cdot 10^{-19}\text{J}$
F	W/m ²	Fluss, Strahlungsstrom
m	mag	Helligkeit in Magnituden: $m_1 - m_2 = 2,5 \log_{10} \frac{F_1}{F_2}$
\mathcal{M}	mag	Die absolute Helligkeit ist jene, die ein Objekt in einem hypothetischen Abstand von 10 pc besitzen würde.
$m - \mathcal{M}$	mag	Entfernungsmodul: $m_\lambda - \mathcal{M}_\lambda = \log_{10} \frac{d}{10\text{pc}} + A_\lambda$
B, V, R, I	mag	optische Filter oder die in diesen Filtern gemessene Helligkeit für den blauen (4400 Å), grünen (5500 Å), roten (7000 Å) und nahinfraroten (9000 Å) Bereich
J, H, K	mag	infrarote Filter bei 1,25 μm, 1,62 μm und 2,2 μm
A_λ	mag	Extinktion: $A_V = R_V \cdot E_{B-V}$ mit $R_V = 3,1$ in der Milchstraße und $E_{B-V} = (B - V)_{\text{beobachtet}} - (B - V)_{\text{intrinsisch}}$
<i>Spektroskopie</i>		
λ	Å	Wellenlänge in Ångström, $1\text{Å} = 0,1\text{nm}$
EW	Å	Äquivalentbreite ("Equivalent Width"): Breite des Rechtecks, welches sich bei der Transformation der zwischen Kontinuum und Absorptionslinie aufgespannte Fläche in ein Rechteck mit der Höhe des Flusses des Kontinuums ergibt.
\mathcal{R}		Spektrales Auflösungsvermögen: $\mathcal{R} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$
<i>Sternsysteme, Sterne</i>		
P	d	Rotations- oder Orbitperiode in Tagen: $1\text{d} = 86\,400\text{s}$
ω, ν	d ⁻¹	Kreisfrequenz, Frequenz: $\omega = 2\pi\nu = 2\pi\frac{1}{P}$
φ		Position im phasengefalteten Raum: $\varphi = \text{mod} \left(\frac{t-t_0}{P} \right)$

KAPITEL 0. SYMBOL- UND FORMELVERZEICHNIS

Symbol	Einheit	Erläuterung
t_{trans}		Transitdauer
Δm	mmag	Transit- oder Bedeckungstiefe in Millimagnituden
a	au	große Halbachse in astronomischen Einheiten: 1 au = 149597870700 m
d	pc	Abstand in parsec (Parallaxensekunden): $1 \text{ pc} \approx 3,086 \cdot 10^{16} \text{ m}$, 1 pc ist der Abstand eines Sterns welcher sich um $1''$ vor den Hintergrundsternen bewegt, während sich der Beobachtungs- standort um 1 au ändert, $d [\text{pc}] = \frac{a [\text{au}]}{\phi ["]}$
i	$^\circ$	Inklination: Winkel zwischen der Rotationsachse eines Sterns oder des Bahnpoles eines Orbits und der in der Sichtlinie.
e		Exzentrizität der Orbitellipse
RV	km s^{-1}	Radialgeschwindigkeit (“Radial Velocity”): $1 \text{ km s}^{-1} = 10^3 \text{ m s}^{-1}$
$v \sin i$	km s^{-1}	projizierte Rotationsgeschwindigkeit
T_{eff}	K	Effektivtemperatur eines Sterns: $T_{\text{eff},\odot} = 5780 \text{ K}$
$\log g$	dex ²	Oberflächenschwerkraft in cgs Einheiten, $[g]=\text{cm/s}^2$, $\log g_{\odot} \approx 4,4 \text{ dex}$
Z		Metallizität, Massenverhältnis zwischen Metallen ³ und Wasserstoff: $Z_{\odot} = 0,02$
Y		Massenverhältnis zwischen Helium und Wasserstoff
$[\text{m}/\text{H}]$ $[\text{Fe}/\text{H}]$	dex ² dex ²	Metallizität: Teilchenverhältnis zwischen Metallen ³ (m) oder Eisen (Fe) und Wasserstoff im Vergleich zu den solaren Werten, $[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} - \log_{10} \frac{N_{\text{Fe},\odot}}{N_{\text{H},\odot}}$, $\log_{10} \frac{N_{\text{Fe},\odot}}{N_{\text{H},\odot}} \approx -4,5$
M	M_{\odot} M_{Jup}	Masse in Sonnenmassen ($M_{\odot} = 1,9884 \cdot 10^{30} \text{ kg}$) oder Jupitermassen ($M_{\text{Jup}} = 1,8986 \cdot 10^{27} \text{ kg}$)
R	R_{\odot} R_{Jup}	Radius in Sonnenradien ($R_{\odot} = 696,342 \cdot 10^6 \text{ m}$) oder Jupiterradien ($R_{\text{Jup}} = 69,911 \cdot 10^6 \text{ m}$)

²In der Astronomie findet das dex Verwendung, welches dem Bel entspricht ($1 \text{ dex} \hat{=} 1 \text{ B}$)

³Metalle bezeichnen in der Astronomie für gewöhnlich alle Elemente, welche massereicher als Helium sind.

Abkürzungen der Teleskope und Kameras

In dieser Arbeit wurden die meisten Teleskope nach dem Standort benannt. In einigen Fällen wird die Spiegelgröße (\varnothing) als Zusatz angeführt. Die Ausnahmen zu Tabelle 2.1 sind hier gelistet.

Standort Observatorium	\varnothing	CCD Bezeichnung	Name
Rozhen	0,70 m	FLI ProLine 16803	Rozhen Schmidt
Jena	0,90 m	E2V CCD42-10	Jena STK
Jena	0,25 m	SITe TK1024	Jena CTK
Jena	0,25 m	E2V CCD47-10	Jena CTK-II
Sierra Nevada	1,50 m	EEV VersArray:2048B	OSN

Allgemeine Abkürzungen

Auflistung der Abkürzungen, welche kapitelübergreifend verwendet werden. Das Kapitel, in welcher die Beschreibung zu finden ist, wurde angegeben.

2MASS	“Two Micron All Sky Survey” → Kapitel 3
AO	Adaptive Optik → Kapitel 3.3.2
CAFOS	“Calar Alto Faint Object Spectrograph” → Kapitel 3.3.1
<i>ETD</i>	“Exoplanet Transit Database” → Kapitel 3.2
HIRES	“High Resolution Echelle Spectrometer” → Kapitel 3.3.4
HDS	“High Dispersion Spectrograph” → Kapitel 5 und 5.2
IRAF	“Image Reduction and Analysis Facility” → Kapitel 2.2
IRCS	“Infrared Camera and Spectrograph” → Kapitel 3.3.2
PHOEBE	“PHysics Of Eclipsing BinariEs” → Kapitel 3.4
PSF	Punktbildfunktion → Kapitel 1.5
STK	Schmidt Teleskop Kamera am Jenaer 0,9 m Teleskop → Tabelle 2.1
TAP	“Transit Analysis Package” → Kapitel 3.2
YETI	“Young Exoplanet Transit Initiative” → Kapitel 1.1

Einleitung

Motivation und Ziel der Arbeit

Mit der Entdeckung des ersten heißen Jupiters 51 Peg b (Mayor & Queloz 1995) mussten die Modelle für die Planetenentstehung überarbeitet werden. Ausgehend vom Sonnensystem wurde ein Objekt mit einer Masse von $0,5 M_{\text{Jup}}$ im Abstand von $0,05 \text{ au}$ (innerhalb der Merkurbahn) nicht erwartet. Da in den darauf folgenden 20 Jahren hunderte weitere dieser so genannten heißen Jupiter gefunden wurden⁴, erschien es sogar eine Zeit lang so, als wären Planetensysteme mit heißen Jupitern viel wahrscheinlicher, als Systeme mit kleinen, felsigen Planeten. Erst die Beobachtung mit dem Kepler-Satellit änderten das Bild erneut, da ein Großteil der Beobachtungseinschränkung von bodengebundenen Beobachtungen aufgehoben wurden (zum Beispiel Burke u. a. 2015). Aufgrund der fast ununterbrochenen Beobachtung über 3,5 Jahre konnten Planeten mit Orbitperioden von über einem Jahr gefunden werden. Deutlich flachere Transitsignale, welche von erdähnlichen Planeten verursacht werden, wurden aufgrund der Photometrie ohne Erdatmosphäre gefunden.

Um die Entstehung der beobachteten Planetensysteme zu erklären, existieren derzeit zwei Modelle : Zum einen kann mittels gravitativer Instabilität in der protoplanetaren Scheibe und zum anderen über das Kernwachstum von Planetesimalen Planetenentstehung stattfinden. Bei der Entwicklung massereicher Planeten mittels Kernwachstum scheint Eis wichtig zu sein. Dementsprechend ist ein großer Abstand zum Protostern nötig (etwa 5 au für sonnenähnliche Sterne, Kennedy & Kenyon 2008). Aber auch ein Gravitationskollaps in der Scheibe ist für größere Abstände wahrscheinlicher (Galvagni & Mayer 2014). Beide Modelle haben unterschiedliche Zeitskalen und sind damit prinzipiell durch Beobachtungen junger Planeten unterscheidbar.

Für die Entstehung von heißen Jupitern⁵ ist eine Wanderung der Protoplaneten auf innere Orbits nötig. Dabei wird das Gas der Scheibe aufgesammelt. Die Migrati-

⁴Eine aktuelle Statistik findet sich in der Exoplanetendatenbank: exoplanet.eu

⁵Bei heißen Jupitern handelt es sich um Gasplaneten mit mindestens $0,5 M_{\text{Jup}}$ Masse, welche so nah an ihrem Zentralstern liegen, dass die Orbitperiode maximal wenige Tage beträgt. Entsprechend sind die Oberflächentemperaturen dieser Planeten sehr hoch. Da die protoplanetare Scheibe so nah am (Proto-) Stern von diesem aufgelöst wird, ist eine in situ Bildung ausgeschlossen.

on wird gestoppt, indem eine Lücke in der Scheibe erreicht wird oder dadurch, dass Energie vom Stern (oder von einen anderen Planeten des Systems) auf den Planeten transferiert wird. Dieser Transfer kann entweder durch Materialüberfluss oder durch auf dem Stern induzierte Gezeiten, bzw. durch Wechselwirkung mit anderen Planeten, welche auf einen inneren Orbit gezwungen werden, erreicht werden. Im Fall von heißen Jupitern wurden die inneren Planeten bis in den Stern gezwungen. Im Ergebnis dieses Modells enthalten Planetensystem mit einem heißen Jupiter meist keine weiteren Planeten (Steffen u. a. 2012). Eine weitere Erklärung für die Migration ins Innere des Sternsystems ist, dass eine starke Exzentrizität in das Planetensystem induziert wird, welche dann zusammen mit der großen Halbachse mittels Gezeitenwirkung abgebaut wird (Weidenschilling & Marzari 1996).

Zum Testen der Modelle müssen Planetensysteme während ihrer Entstehung beobachtet werden. Die optimale Methode dafür ist die Suche nach Transitplaneten. Dabei wird eine Region des Himmels über einen langen Zeitraum beobachtet und nach Helligkeitsveränderungen von Sternen in dieser Region gesucht, welche den typischen Verlauf eines Transits zeigen. Die Transitmethode hat im Vergleich zu allen anderen den Vorteil, dass der Radius des Planeten direkt aus dem Helligkeitsabfall gemessen werden kann. Zusätzlich kann die Langzeitbeobachtung über viele Nächte mit Hilfe von bodengebundenen kleineren Teleskopen (0,5...2 m), wie sie von vielen astronomischen Instituten betrieben werden, durchgeführt werden. Mittels Radialgeschwindigkeitsmethode kann, im Rahmen von Nachbeobachtungen, die Reflexbewegung des Sterns um den gemeinsamen Schwerpunkt gemessen und dadurch die Masse des Planeten bestimmt werden. Die Transitmethode erlaubt zusammen mit den Nachbeobachtungen die direkte Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Planeten und damit den Vergleich mit Modellen.

Da Planetenentstehung innerhalb weniger Myr stattfindet (Haisch u. a. 2001), kann für Planeten das selbe Alter wie ihre Muttersterne angenommen werden. Die meisten bis zum März 2016 bestätigten 700 Transitplanetensysteme⁴ wurden bei der Durchmusterung des Himmels gefunden. Für diese Sterne ist eine Altersbestimmung oftmals schwierig, da Sterne während ihrer Hauptreihenphase wenig Entwicklung erfahren und daher im Bereich von Gigajahren physikalisch nahezu unverändert bleiben können. Insbesondere wurde bisher die meisten Transitplaneten bei Sternen älter als 100 Myr gefunden. Der unbestätigte Transitkandidat in CVSO-30b im 10 Myr altem (Briceño u. a. 2007) Sternhaufen 25 Ori (Stefanie Raetz, private Kommunikation, 2016-04-22) sowie

das Ringsystem J1407⁶ (Kenworthy u. a. 2015) sind die jüngsten bekannten Transitobjekte bisher.

Zur Suche nach jungen Transitplaneten bietet sich die Beobachtung von offenen Sternhaufen an. Offene Sternhaufen sind Assoziationen von Sternen, welche aus der selben Molekülwolke entstanden sind und damit weitestgehend gleiche Alter und Metallizitäten besitzen und damit eine homogene Stichprobe darstellen. Da sie nur schwach gravitativ gebunden sind, fallen offene Sternhaufen nach einigen 100 Millionen Jahren, aufgrund von leicht verschiedenen Eigenbewegungen, auseinander. Im Rahmen dieser Arbeit wurde Trumpler 37 untersucht, ein 4 Myr (Kun u. a. 2008) junger, offener Sternhaufen im Sternbild Cepheus. Dabei wurde zur Vermeidung von Beobachtungslücken mit dem YETI-Netzwerk (“Young Exoplanet Transit Initiative”⁷, Neuhäuser u. a. 2011) beobachtet. Bei diesem handelt es sich um ein Netzwerk von kleinen und mittleren Teleskopen, welche sich auf verschiedenen Längengraden befinden.

Neben der Suche und Charakterisierung von jungen Planeten (Kapitel 3 und 4) soll in dieser Arbeit auch die Analyse junger bedeckungsveränderlicher Doppelsternen gezeigt werden. Aus diesen kann mit Hilfe der Bedeckungen und den Nachbeobachtungen mit der Radialgeschwindigkeitsmethode die Effektivtemperatur, die Masse und der Radius bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Werte können Sternentstehungsmodelle getestet werden. Die Untersuchungen sind in Kapitel 5 und 5.5 gezeigt.

Bisherige Suche nach Transitplaneten um junge Sterne

Vor dem Beobachtungsprojekt mit YETI wurden andere Studien, welche nach Transitsignalen in jungen Sternhaufen suchten, durchgeführt. Der offenen Sternhaufen NGC 2264 ($t \approx 3$ Myr, $d \approx 760$ pc, Dahm 2008) wurde vom CoRoT Satellit⁸ für 24 Tage im März 2008 beobachtet. Bisher wurden keine Transitskandidaten veröffentlicht. Das MONITOR Projekt (Hodgkin u. a. 2006) beobachtete verschiedene offene Sternhaufen zwischen 1 und 200 Myr unter Nutzung verschiedener Teleskope. Bisher wurde die Suche nach stellarer Rotation für die Sternhaufen M34, NGC 2516, NGC 2547, NGC 2362, M50 (NGC 2323) und h Persei veröffentlicht, allerdings keine Kandidaten für Transits-

⁶Neben der Bedeckung durch einen Planeten wurden schwächere Helligkeitseinbrüche gesehen, welche auf ein Ringsystem um den Planeten schließen lassen.

⁷Initiative zur Suche von Transits junger Exoplaneten

⁸Der CoRoT Satellit (“COncvection, ROtation and planetary Transits”) suchte im Zeitraum von 2007 bis 2012 nach Transitsignalen und gewann Daten für die Astroseismologie.

planeten publiziert. Das Monitor Projekt sucht ebenfalls nach bedeckungsveränderlichen Doppelsternen. Zum Beispiel berichtet Irwin u. a. (2007) von einem massearmen Doppelsternsystem im Orionnebel Sternhaufen.

Trumpler 37

Trumpler 37 ist ein 3...5 Myr (Kun u. a. 2008; Mercer u. a. 2009; Sicilia-Aguilar u. a. 2006a) junger, offener Sternhaufen in der Cepheus OB2 Assoziation. Diese Region ist durch Molekülwolken und Wolken von ionisiertem Wasserstoff (H II) gekennzeichnet, welche durch den zum Sternhaufen gehörenden O7V Stern HD 206267 ionisiert werden. Der Abstand des Sonnensystems zu Trumpler 37 beträgt 800...1000 pc (Contreras u. a. 2002; Simonson 1968; Garrison & Kormendy 1976). In dieser Arbeit werden ein Alter von 4 Myr (aus der Übersichtsarbeit von Kun u. a. 2008, wobei die Alter einzelner Sterne stark streuen können) und eine Distanz von 870 pc (aus $m - M = (9,7 \pm 0,2)$ mag, Contreras u. a. 2002) verwendet, da das Alter aus einer Übersichtsarbeit stammt und die Entfernung aus der spektrophotometrischen Entfernung einer großen Anzahl von Mitgliedssternen bestimmt wurde. Die Extinktion zu Trumpler 37 Sternen wurde mit $A_V = (1,67 \pm 0,09)$ mag bestimmt. (Sicilia-Aguilar u. a. 2004)

Bei den ersten Untersuchungen von Trumpler 37 wurden im wesentlichen die Bestimmung von Mitgliedssternen von Trumpler 37 durchgeführt. Dabei wurden verschiedene Methoden angewendet. In einer ersten Analyse verwendete Trumpler (1930) die Helligkeit und den Spektraltyp der Sterne zur Bestimmung des Entfernungsmoduls. Eine ähnliche Untersuchung zur Unterscheidung zwischen Mitgliedssternen und Vorder- oder Hintergrundsternen machten Simonson (1968) und Garrison & Kormendy (1976). Marschall & van Altena (1987) bestimmten die Eigenbewegung der Sterne, während Sicilia-Aguilar u. a. (2006b) die Radialgeschwindigkeiten von Sternen in der Umgebung von Trumpler 37 nutzten. Da die Sterne in der selben Molekülwolke entstanden, dominieren die Geschwindigkeiten aufgrund der Bewegung um das Milchstraßenzentrum und der relativen Bewegung zur Milchstraßenscheibe, während die relativen Bewegungen der Sterne nur einen geringen Einfluss auf die Messung haben. Kinematische Untersuchungen erlauben daher Rückschlüsse auf Mitgliedswahrscheinlichkeiten einzelner Sterne zu dem Sternhaufen.

Zusätzlich zu den zuvor genannten, allgemeinen Möglichkeiten die Mitgliedschaft in Sternhaufen zu bestimmen, bietet das Identifizieren junger Sterne eine weitere Möglich-

keiten, Haufenmitgliedssterne zu finden. Die Möglichkeiten werden im folgendem vorgestellt. Aufgrund von großen Sternenflecken oder heißen Bereichen, welche durch Akkretion hervorgerufen werden, und der schnellen Rotation variiert die Helligkeit von jungen Sternen stark. Gieseking (1976), Sicilia-Aguilar u. a. (2004) und Morales-Calderón u. a. (2009) nutzten Helligkeitsschwankungen, um Mitgliedssterne von Trumpler 37 zu identifizieren. Eine weitere Möglichkeit ist die Suche nach Sternen mit $H\alpha$ Emission, welche ein Merkmal für die Akkretion von Gas aus der Scheibe auf den Stern ist. Da sich die protoplanetaren Scheiben innerhalb von einigen Myr auflösen (Mamajek u. a. 2004), können junge Sterne identifiziert werden. In Kun (1986), sowie Kun & Pasztor (1990) wurden spektroskopische Untersuchungen für die Suche nach $H\alpha$ Emission durchgeführt. Lithium-Absorption im Spektrum ist ebenfalls ein Hinweis auf junges Alter, da das in der ursprünglichen Molekülwolke vorhandene Lithium nach wenigen Millionen Jahren (zum Beispiel Piau & Turck-Chièze 2002) im ppII Zyklus aufgebraucht wird. Diese spektroskopischen Analysen wurden von Sicilia-Aguilar u. a. (2004, 2005) durchgeführt. Dabei ist jedoch zu beachten, dass Lithiumabsorption mit den aktuellen Modellen noch keine absolute Altersbestimmung ermöglicht (zum Beispiel Soderblom u. a. 2014). Weitere Untersuchungsmöglichkeiten zur Suche junger Sterne bietet die Beobachtung im infraroten Wellenlängenbereich. Zum einen weist ein Infrarotexzess in der spektralen Energieverteilung auf den kalten Staub der proto-planetaren Scheibe hin (Suche durch Sicilia-Aguilar u. a. 2015), zum anderen kann im Vergleich mit optischen Aufnahmen nach Sternen gesucht werden, welche noch komplett von der proto-planetaren Scheibe/Wolke umgeben sind (Beobachtung der Umgebung von Trumpler 37 durch Morales-Calderón u. a. 2009). Letztere Sterne wurden allerdings in dieser Arbeit nicht betrachtet, da ihr Licht im verwendeten, optischen Wellenlängenbereich von der Wolke komplett absorbiert wird. Im Röntgenbereich kann auch nach jungen Sternen gesucht werden, da diese aktiver sind und über Flares und Massenausbrüche erhöhte Röntgenstrahlung abgeben. Mercer u. a. (2009) konnte so einige wenige Haufenmitgliedssterne finden. Eine Übersicht zur Mitgliedschaft von bekannten Sternen von Trumpler 37 findet sich in Errmann u. a. (2013). Mittels der obigen Methoden wurden insgesamt 774 sehr wahrscheinliche und weitere 125 wahrscheinliche Mitgliedssterne in Trumpler 37 identifiziert. Zu 1872 Sternen lagen Literaturdaten vor.

In jüngeren Untersuchungen wurde der Aufbau des Sternhaufens Trumpler 37 bestimmt. Der Scheibenanteil bei den sonnenähnlichen Sternen (Spektraltyp G, K, M) in Trumpler 37 beträgt $(48 \pm 5)\%$ (Sicilia-Aguilar u. a. 2013). Sicilia-Aguilar u. a. (2015)

Tabelle 1.1: Alle YETI-Sternhaufen, welche bis einschließlich 2015 beobachtet wurden.

Stern- haufen	RA [hh:mm:ss]	Dec [gg:mm:ss]	Distanz [pc]	Alter [Myr]	Radius [']	Mitglieds- sterne
Trumpler 37	21:39:06	57:30:00	870 ^a	4 ^b	90	900 ^c
25 Ori	05:25:45	01:50:47	360 ^d	7 ^d	60 ^e	>150
IC 348	03:44:30	32:17:00	385 ^f	2...3 ^g	30	\approx 370 ^h
NGC 1980	05:35:24	-05:54:35	550 ^f	5 ^f	20 ⁱ	\lesssim 1800 ⁱ⁹
Col 69	05:35:06	09:56:00	440 ^f	11 ^f	35	225 ^k
NGC 7243	22:15:08	49:53:51	700 ^l	250 ^l	21 ^m	211 ^l

^a Contreras u. a. (2002), ^b Kun u. a. (2008), ^c Errmann u. a. (2013), ^d Downes u. a. (2014),
^e Briceño u. a. (2005), ^f Mermilliod u. a. (2009)¹⁰, ^g Herbig (1998), ^h Cieza u. a. (2015), ⁱ Alves
& Bouy (2012), ^k Bayo u. a. (2011), ^l Jilinski u. a. (2003), ^m Garai u. a. (2016)

fand einige kleine Sternhaufen mit Durchmessern von ca. 0,25 pc, in welchen die Sterne noch in der Gaswolke eingebettet sind. Sie schlussfolgern daher, dass Sternentstehung in mehreren Stufen stattfand. Dies ist eine Erklärung für die starke Streuung der Alter individueller Sterne.

Trumpler 37 war der erste junge, offene Sternhaufen, welcher mit YETI beobachtet wurde. Die Beobachtungskampagne startete 2009 und endete 2011. Eine Analyse der Daten von 2009 findet sich in Errmann (2010), wobei die Aufnahmen aus 2009 im Rahmen dieser Arbeit mit einem optimierten Algorithmus nochmals ausgewertet wurden. In den darauf folgenden Jahren wurden weitere Sternhaufen beobachtet, welche zusammen mit Trumpler 37 in Tabelle 1.1 gelistet werden. Der Vorteil dieser Sternhaufen ist die im Vergleich zu Trumpler 37 geringere Entfernung zur Erde und den damit verbundenen, heller erscheinenden Mitgliedssternen. Dadurch ist eine bessere Zeitauflösung bei gleichem Signal-zu-Rausch Verhältnis möglich, so dass schwächere Transitsignale gefunden werden können. Allerdings haben all diese Sternhaufen im Vergleich zu Trumpler 37 weniger sichtbare Mitgliedssterne, so dass die Wahrscheinlichkeit für das Finden eines Transits geringer ist.

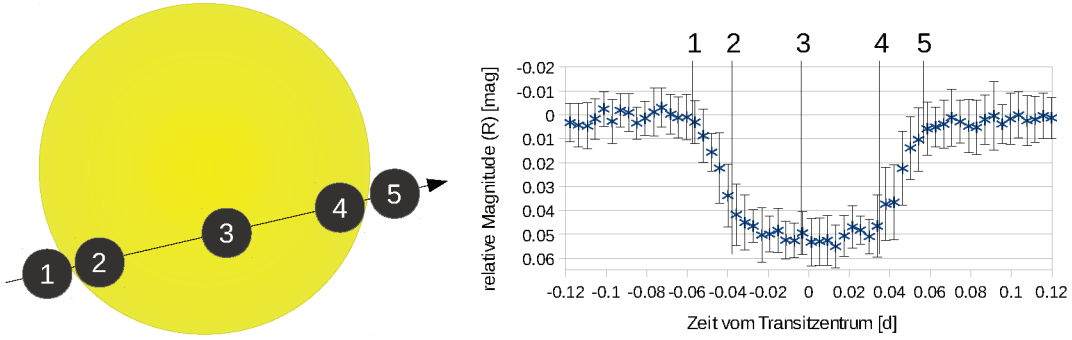


Abbildung 1.1: Darstellung eines Transitsignals am Beispiel der Lichtkurve des Transitkandidaten 1 (\rightarrow Kapitel 3). Die normale Helligkeit des Sterns verringert sich rasch zu Beginn des Transits (1) bis sich der komplette Planet vorm Stern befindet (2). Danach verändert sich die Helligkeit bis zur Mitte des Transits (3) ausschließlich aufgrund der Mitte-Rand-Verdunkelung¹¹. Im weiteren zieht der Planet von helleren zu immer dunkleren Bereichen des Sterns, wodurch die Helligkeit langsam zunimmt. Die vollständige Bedeckung endet bei Position (4). Bei Position (5) wird der Stern nicht mehr bedeckt, die Helligkeit erreicht den Normalwert.

Planetare Ursachen für Transitsignale

Bei einem Transit zieht, vom Beobachter aus gesehen, ein Planet vor seinem Stern entlang. Beim Vorbeizug wird ein Teil des Lichtes des Sterns blockiert, so dass dieser dunkler erscheint. Eine prinzipielle Darstellung findet sich in Abbildung 1.1. Die Orbitalperiode P wird aus mehreren Transitsignalen bestimmt. Die Tiefe des Signales ergibt sich dabei in erster Näherung aus dem Verhältnis zwischen Planet- (R_P) und Sternradius (R_\star). Aus $\frac{\Delta F}{F} = \frac{R_P^2}{R_\star^2}$ folgt (für vernachlässigbare Strahlung des Planeten):

$$\Delta m = -2,5 \log_{10} \frac{F - \Delta F}{F} = -2,5 \log_{10} \left(1 - \frac{R_P^2}{R_\star^2} \right) \quad (1.1)$$

Für einen zentralen Transit ergibt sich aus geometrischen Überlegungen ein Verhältnis von Bedeckungsdauer t_{trans} zu Orbitalperiode P in Abhängigkeit der großen Halbachse a und der Länge der Bedeckung $l = 2(R_P + R_\star)$ von $\frac{t_{\text{trans}}}{P} \approx \frac{2l}{2\pi a} = \frac{2(R_P + R_\star)}{2\pi a}$. Dabei wurde der Teil des Orbits der Bedeckung als gradlinige Bewegung angenähert. Für enge Orbits, bei welchen der Kreisbogen von Bedeutung ist, gilt $\frac{t_{\text{trans}}}{P} = \frac{\alpha a}{2\pi a}$, wobei α der Winkelbereich des Kreisbogens vom ersten (1) zum letzten (5) Kontakt der Bedeckung entspricht. Im Falle nicht-zentraler Bedeckung (Inklination $i \neq 90^\circ$) verringert sich die

Länge der Bedeckung zu $2l = 2\sqrt{(R_\star + R_P)^2 - (bR_\star)^2}$. Dabei bezeichnet b den Impaktparameter mit $b = \frac{a \cos i}{R_\star}$. Im Grenzfall eines zentralen Transits ist $b = 0$ während $b = 1$ für eine partielle Bedeckung, bei welcher nur die halbe Planetenscheibe vorm Stern zieht, gilt. Allgemein ergibt sich für die Transitdauer:

$$t_{\text{trans}} = \frac{P}{\pi} \frac{\sqrt{(R_\star + R_P)^2 - (bR_\star)^2}}{a} \quad . \quad (1.2)$$

Für kleine Orbitperioden gilt der Zusammenhang $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\sqrt{(R_\star + R_P)^2 - (bR_\star)^2}}{a}$. Entsprechend folgt für die Transitdauer:

$$t_{\text{trans}} = \frac{P}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\sqrt{(R_\star + R_P)^2 - (bR_\star)^2}}{a} \right) \quad . \quad (1.3)$$

Im Falle eines leicht geneigten Orbits ($i \neq 90^\circ$) ist zusätzlich zu beachten, dass die Transittiefe etwas geringer ausfällt, da aufgrund der Mitte-Rand-Verdunklung¹¹ der Sterne der Planet vor dunkleren Bereichen des Sterns herzieht. Die Mitte-Rand-Verdunklung ist dafür verantwortlich, dass die Lichtkurve während der Bedeckung nicht flach ist. Der Effekt ist abhängig von der Wellenlänge und umso größer, je kürzer die Wellenlänge. Eine Modellierung kann mit sehr genauen Lichtkurven von Weltraumteleskopen durchgeführt werden und ist unter anderem abhängig von der Effektivtemperatur des Sterns, der Oberflächenschwerkraft und Metallizität.

Mittels der Gleichung 1.3 und der Verknüpfung des dritten Keplerschen Gesetz mit dem Gravitationsgesetz:

$$P^2 = \frac{4\pi^2}{G(M_\star + M_P)} \cdot a^3 \quad (1.4)$$

kann die minimale Transitdauer in Abhängigkeit der Sternmasse M_\star abgeschätzt werden, um die Länge der erwarteten Signale abschätzen zu können. Die Planetenmasse M_P wurde dabei gegenüber M_\star vernachlässigt, der Planetenradius mit $R_P = 1 R_{\text{Jup}}$ gewählt und eine große Halbachse a von mindestens $5 R_\star$ angenommen. Kleinere Werte für den Abstand sind nicht sinnvoll, da der Planet mit zunehmender Nähe stärker aufgeheizt und damit erodiert werden und zusätzlich aufgrund der Gravitation des Sterns Materialtransfer vom Planet zum Stern stattfinden kann. Die stellaren Werte für Radius R und Masse M wurden aus Schmidt-Kaler (1982) für die verschiedenen Spektraltypen interpoliert. Es ergibt sich im Falle von maximal partieller Bedeckung

¹¹Aufgrund der kugelförmigen Gestalt legt Strahlung im Zentrum der sichtbaren Halbkugel des Sterns einen kürzeren Weg in der Sternatmosphäre zurück, als in den Randbereichen. Entsprechend sind dort tiefere, heißere Schichten sichtbar, während der Rand aufgrund des Blicks in kältere Schichten dunkler erscheint.

($b = 1$) eine minimale Transitdauer von $t_{\text{trans}} = 30$ min (für Spektraltyp M7V), beziehungsweise 60 min (F8V) oder 80 min (A0V). Im Falle $i = 90^\circ$ ($b = 0$) verlängern sich die jeweiligen Transitdauern zu 40 min, 160 min und 280 min. Die Zeitauflösung der verwendeten Teleskope ist dafür ausreichend.

Weitere Gründe für Transitsignale

Für erdgebundene Beobachtungen hat sich gezeigt, dass nur wenige Prozent aller gefundenen Transitsignale real sind (O'Donovan u. a. 2006). Zum Beispiel fanden Brown (2003) und Latham u. a. (2009), dass nur eine Planet von neun gefundenen Transitkandidaten real waren, während sich in Street u. a. (2007) sogar nur zwei von 25 Transitkandidaten bestätigten. Der Grund liegt darin, dass Transitsignale auch von anderen Quellen als von Planeten hervor gerufen werden können. Über Nachbeobachtungen müssen diese ausgeschlossen werden. Im Folgenden sind die falsch-positiven Detektionen und ihr Ausschluss kurz erläutert. Im Anhang A.2 sind zusätzlich erläuternde Abbildungen gezeigt.

- Entspricht das Radienverhältnis eines sich bedeckendem Doppelsternsystem $\frac{R_B}{R_A}$ dem eines heißen Jupiter und seines Muttersterns $\frac{R_P}{R_\star}$, so erscheinen die Transitsignale beider Systeme ähnlich tief, demzufolge ist keine Unterscheidung möglich. Der notwendige Radiusunterschied zwischen beiden Sternen kann zum einen durch ein System eines Riesensterns und eines frühen Hauptreihensterns oder zum anderen durch zwei Hauptreihensterne, bei welchem die sekundäre Komponente sehr massearm ist, erreicht werden. In beiden Fällen ist eine Abhängigkeit des Transits vom verwendeten Filter zu erwarten, da beide Komponenten unterschiedliche Effektivtemperaturen besitzen. Falls der Fluss der dunkleren Quelle nicht vernachlässigt werden kann, so ist die Tiefe der Bedeckung abhängig von beiden Quellen und Gleichung 1.1 verändert sich zu

$$\Delta m = -2,5 \log_{10} \frac{F_A(1 - \frac{R_B^2}{R_A^2}) + F_B}{F_A + F_B} \quad , \quad (1.5)$$

wobei dem Stefan-Boltzmann-Gesetz zu Folge $F \propto T_{\text{eff}}^4 R^2$ gilt. Unter Umständen wird die sekundäre Bedeckung sichtbar. Zusätzlich lassen sich Riesensterne mittels niedrig aufgelöster Spektroskopie ausschließen, da sich die Linienprofile zwischen den Leuchtkraftklassen gut unterscheiden lassen. So tritt für Riesensterne

aufgrund der geringeren Oberflächenschwerkraft kaum Druckverbreiterung und aufgrund großer Rotationsperioden eine deutlich geringere Dopplerverbreiterung auf.

- Eine weitere Ursache falsch-positiver Transitsignale ist die Degeneration der Größe von leichten Sternen (späte M-Sterne), Braunen Zwergen¹² und Planeten mit einer oder mehreren Jupitermassen. Da alle Objekte einen ähnlichen Radius besitzen, ist eine ähnliche Transittiefe zu erwarten. Mittels Spektroskopie während der Zeitpunkte der extremalen Radialgeschwindigkeiten kann die (maximale) Masse des Begleiters bestimmt werden so dass, je nach spektraler Auflösung, ein Stern oder Brauner Zwerg ausgeschlossen werden kann. Zusätzlich kann die Transittiefe für verschiedene Wellenlängenbereiche bestimmt werden; für Sterne wird diese variieren da die dunkle Komponente im roten Wellenlängenbereich einen nicht zu vernachlässigenden Anteil am Gesamtfluss beiträgt.
- Eine weitere Ursache für falsche Transitsignale sind bedeckungsveränderliche Doppelsterne, bei welchen der Orbit so stark geneigt ist, dass es nur zu einer partiellen Bedeckung kommt. Diese Konfigurationen können mit Hilfe der Spektroskopie mittlerer Auflösung ausgeschlossen werden, in welchen die Absorptionslinien beider Sterne zu sehen sind. Die Linien des einen Sterns sind jedoch gegenüber den Linien des anderen aufgrund der unterschiedlichen Radialgeschwindigkeiten verschoben.
- Mangelnde Bildauflösung kann ebenfalls zu Transitsignalen führen, wenn ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern mit ähnlichen Komponenten und ein weiterer, heller (Vordergrund-) Stern in der gleichen Punktbildfunktion¹³ liegen. Das zusätzliche Licht des Einzelsterns verringert das bis zu 0,75 mag tiefe Signal der Doppelsternbedeckung auf nur noch wenige Zehntel Magnituden. Zur Identifizierung dieser Fälle können hoch aufgelöste Bilder, welche mit Hilfe von Großteleskopen und unter Verwendung von Adaptiver Optik¹⁴ gewonnen wurden, verwendet werden. Diese Methode scheitert jedoch bei Abständen unter 0,1", das heißt Mehrfachsysteme aus

¹²Braune Zwerge sind Objekte, welche nicht genug Masse besitzen um die für die Wasserstofffusion notwendigen Kerntemperaturen zu erreichen. Allerdings besitzen sie, anders als Planeten, genug Masse, um Deuterium zu fusionieren. Ihre Masse liegt in etwa zwischen $13 M_{\text{Jup}}$ und $65 M_{\text{Jup}}$.

¹³Die Punktbildfunktion (PSF) gibt an, wie ein punktförmiges Objekt nach dem Passieren aller optischen Elemente des Teleskops und Instruments abgebildet wird. Aufgrund des großen Abstandes der Sterne können sie als punktförmig angesehen werden. Durch Beugung und Brechung in der Erdatmosphäre, und Beugung am Teleskop besitzen sie ein gaußförmiges Profil auf der CCD. Zusätzliche Verformung kann durch Abbildungsfehler auftreten.

¹⁴Bei der Adaptiven Optik wird die, durch die turbulente Erdatmosphäre induzierte, Veränderung der Wellenfronten des Lichts gemessen und mittels eines deformierbaren Spiegels korrigiert. Dadurch

einem massearmen bedeckungsveränderlichen Doppelstern und einem weiteren sonnenähnlichen Stern in wenigen 10 au Abstand können nicht aufgelöst werden. In diesem Fall ist zeitaufwendige Spektroskopie nötig, bei welcher die Spektrallinien aller drei Komponenten sichtbar gemacht werden müssen.

CCD-Detektoren

Alle Beobachtungsdaten in dieser Arbeit (Photometrie oder Spektroskopie) wurden mit CCD-Detektoren (“Charged Coupled Device”) durchgeführt. Mit diesen werden Ladungsträger in Kondensatoren, den sogenannten Pixeln, gespeichert. Bei den Pixeln handelt es sich um Potentialtöpfe, welche durch eine, hinter einer dünnen, isolierten Schicht, angelegte Spannung in dem Halbleitermaterial gebildet werden. Beim Lichteinfall findet durch die Energieübertragung eines Photons die Trennung von Ladungsträger statt, mittels angelegter Spannung werden die Elektronen in Potentialtöpfen gespeichert. Die Pixel werden beim Auslesen durch Veränderungen der angelegten Spannungen zur Ausleseelektronik transferiert und dort digitalisiert (Howell 2000).

Aufgrund der Bauweise von CCD-Elementen treten verschiedene Effekte auf, welche bei der späteren Auswertung beachtet und korrigiert werden müssen. (I.) So tritt auch ohne Lichteinfall Ladungstrennung auf, welche durch Phononenschwingungen hervorgerufen werden. Da die Anzahl der Phononenmoden mit der Temperatur zunimmt, werden CCD-Detektoren gekühlt. Die ohne Lichteinfall entstandenen Ladungsträger bilden den Dunkelstrom, welcher mittels Aufnahmen gleicher Belichtungszeit, aber geschlossenem Verschluss abgezogen werden kann. Da diese Effekte jedoch statistisch stattfinden, erhöht sich das Rauschen der Aufnahmen. (II.) Außerdem sind nicht alle Pixel gleich sensitiv, weswegen die Aufnahmen durch ein normiertes Weißlichtbild, das heißt ein gleichmäßig ausgeleuchtetes Bild, geteilt werden. Die Weißlichtbilder werden entweder durch Aufnahme des Himmels während der Dämmerung oder durch Aufnahme eines gleichmäßig beleuchteten Schirms in der Kuppel gewonnen. Da das Weißlichtbild auf eins normiert wird, werden bei der Division mit diesem nur unwesentliche Ungenauigkeiten zur Aufnahme hinzugefügt. (III.) Fällt zu viel Licht in ein einzelnes Pixel, so gelangen Elektronen von einem Pixel in die entlang der Ausleserichtung benachbarten Pixel. Aufgrund der Nichtlinearität des Effekts können Pixel in diesem Bereich nicht

kann das Abbesche Auflösungsvermögen $1,22 \frac{\lambda}{D}$ (D : Teleskopöffnung) erreicht werden, welches für Beobachtungen im Infrarotem mit 8m-Teleskopen etwa 60 mas beträgt.

ausgewertet werden. (IV.) Trifft kosmische Strahlung¹⁵ auf das Detektormaterial, so erzeugt ein Photon mehrere 1000 Elektronen-Loch-Paare in wenigen Pixeln (Groom 2002), sogenannte Würmer. Da Würmer aufgrund der längeren Belichtungszeiten vorwiegend in der Spektroskopie auftreten, müssen die extrahierten Spektren von diesen einzelnen Signalen bereinigt werden. Dazu werden die betroffenen Bereiche der Spektren ausgeschnitten und im Fall, dass mehrere Spektren aufgenommen wurden, die Einzelspektren gemittelt.

Weitere Effekte kommen beim Auslesen der Pixel hinzu. (V.) Dabei werden die vorhandenen Elektronen verstärkt und mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandler digitalisiert. Die Verstärkung (“Gain”) gibt die Anzahl der Elektronen an welche für ein ADU (Analog-Digital-Einheit) in der Aufnahme gezählt werden. (VI.) Um negative Werte zu vermeiden, wird eine konstante Anzahl an Elektronen hinzu gefügt, das Bias-Niveau. Zur Korrektur des Bias-Niveaus wird der Detektor ohne Belichtung ($t = 0$ s) ausgelesen und diese Aufnahme von allen anderen Aufnahmen abgezogen. (VII.) Beim Auslesen wird technisch bedingt Rauschen zu den Daten hinzugefügt, das Ausleserauschen.

Für helle Sterne treten die bisher aufgezählten Ursachen für das Rauschen im Vergleich zum Photonenrauschen in den Hintergrund. Da Photonen in Paketen abgestrahlt werden, lässt sich der Fehler mit der Poisson-Statistik abschätzen.

¹⁵Hoch energetische Strahlung ($E > 1$ GeV) der Sonne oder der Galaxie.

Photometrische Daten

YETI-Kampagne

Um die Nachteile der Beobachtung mit einem einzigen Teleskop zu vermeiden, wurde die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Observatorien angestrebt. Es war das Ziel, durch ein Netzwerk von Teleskopen eine möglichst kontinuierliche Beobachtung für mehrere Tage ohne Beobachtungslücken zu erreichen. Damit wäre die vollständige Erfassung aller kurzperiodischen Transitplaneten möglich. Außerdem kann dadurch auch die Rate an Falsch-Detektionen verringert werden (Brown 2003).

Das YETI-Netzwerk für die Beobachtung von Trumpler 37 besteht aus Teleskopen mit 0,25 m bis 2 m Spiegeldurchmesser auf den Kontinenten Asien, Europa und Nordamerika (Abbildung 2.1). Mehr Informationen zu den Teleskopen und verwendeten CCD sind in Tabelle 2.1 aufgelistet. Von den dort gelisteten Teleskopen wurden die Daten der Teleskope Gunma, Toruń und teilweise Stará Lesná nicht in dieser Arbeit ausgewertet. Gunma besitzt ein sehr kleines Gesichtsfeld, in welchem nur 40 der in der Jenaer STK beobachteten Sterne liegen. Das Teleskop von Toruń liegt in einem Gebiet starker Lichtverschmutzung, wodurch ein höheres Rauschen in die Daten induziert wird. Außerdem wurden nur in zwei Nächten Daten gewonnen. Die Beobachtungsdaten von Stará Lesná sind zum Teil in sich inkonsistent. So wurde in den Beobachtungen von 2010 der Detektor zwischen verschiedenen Beobachtungsnächten gedreht, weswegen die Ausrichtung der Aufnahmen zufällig ist. Außerdem wurden in verschiedenen Nächten weit verschobene Bildfelder aufgenommen, welche sich nur minimal überschneiden. Dieser Teil der Daten wurden aufgrund des geringen Nutzens gegenüber den restlichen Beobachtungen nicht weiter verwendet.

Um trotz kleiner Gesichtsfelder dennoch die meisten Sterne von Trumpler 37 zu beobachten, wurde ein Teil der Beobachtungen im Mosaikmodus aufgenommen. Dabei kamen Mosaiks mit 4 und 9 Feldern zum Einsatz. Nach jeder oder jeder zweiten Belichtung wurde das Teleskop um ein Bildfeld weiter bewegt. In maximal 20 Minuten wurde das komplette Feld abgerastert. Mit dieser zeitlichen Auflösung konnten Transitereignisse der erwarteten Transitdauern von minimal 30 min (\rightarrow Kapitel 1.4) zwar aufgelöst

Tabelle 2.1: Eigenschaften der an YETI beteiligten Teleskope (von Ost nach West) und Instrumente (nach Tabelle 2 aus Neuhäuser u. a. 2011). Aufgelistet sind nur die Kameras, von welchen Daten für Trumpler 37 aufgenommen wurden. Diese Teleskope befinden sich alle auf der Nordhalbkugel. Mit \varnothing ist der Spiegeldurchmesser bezeichnet, mit Skala die Pixelskala. Die Bildgröße ist in Bogenminuten angegeben. In der letzte Spalte sind die Quelle der Werte angegeben, soweit diese nicht privat kommuniziert wurden.

Observatorium	Länge	Breite	\varnothing	CCD Typ	Skala	Bildfeld
	[°]	[°]	[m]	(Kamera)	$[\frac{''}{px}]$	[' x ']
Gunma/Japan	139,0 E	36,6	1,50	Andor DW432	0,6	12 x 12 ^f
Lulin/Taiwan	120,5 E	23,3	1,00	Marconi CCD36-40 PI1300B	1,0	22 x 22 [*]
			0,41	E2V 42-40 (U42)	0,8	28 x 28 [*]
Xinglong/China	117,6 E	40,4	0,90 ^a	E2V CCD203-82	1,4	94 x 94 ⁱ
Byurakan/Armenien	44,3 E	40,3	2,60	SCORPIO Loral	0,4	14 x 14 [*]
Rozhen/Bulgarien	24,7 E	41,7	0,60 ^b	FLI ProLine 09000	0,5	27 x 27 [*] ^g
			0,70 ^c	FLI ProLine 16803	1,1	73 x 73 ^g
Stará Lesná	20,3 E	49,2	0,50	SBIG ST10 MXE	0,6	20 x 14
(Slowakische Rep.)			0,60	SITe TK1024	0,6	11 x 11
			0,25	SBIG ST10 MXE	1,2	43 x 29
Toruń/Polen	18,6 E	53,1	0,90 ^a	SBIG STL-11000	1,1	48 x 72
Jena/Deutschland	11,5 E	50,9	0,90 ^a	E2V CCD42-10	1,6	53 x 53 ^k
			0,25 ^d	SITe TK1024	2,2	38 x 38 ^l
			0,25 ^e	E2V CCD47-10	1,2	21 x 20 ^m
Sierra Nevada/ Spanien	3,4 W	37,1	1,50	EEV VersArray:2048B	0,2	8 x 8 [†]
Swarthmore/USA	75,4 W	39,9	0,62	Apogee U16M KAF-16803	0,4	26 x 26 [*]
Gettysburg/USA	77,2 W	39,8	0,40	SITe 003B	1,1	18 x 18 [*] ^h
Tenagra 2/USA	110,5 W	31,3	0,81	SITe SI003 AP8p	0,9	15 x 15 ⁺

Erläuterungen: ^{*} Mosaikmodus mit 2 x 2 Feldern; [†] Mosaikmodus mit 3 x 3 Feldern, wobei das zentrale, das nordwestliche und das südwestliche Feld nicht belichtet wurden; ⁺ Mosaikmodus mit 3 x 3 Feldern; ^a 0,60 m im Schmidt Modus; ^b mit Fokus-Reduzierer; ^c 0,50 m im Schmidt Modus; ^d bis Juli 2010; ^e ab August 2010; ^f www.astron.pref.gunma.jp/e/inst_ldsi.html; ^g www.nao-rozhen.org/telescopes.fr_en.htm; ^h www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/obshome.html

Referenzen: ⁱ Wu u. a. (2007), ^k Mugrauer & Berthold (2010), ^l Mugrauer (2009), ^m Mugrauer (2016)

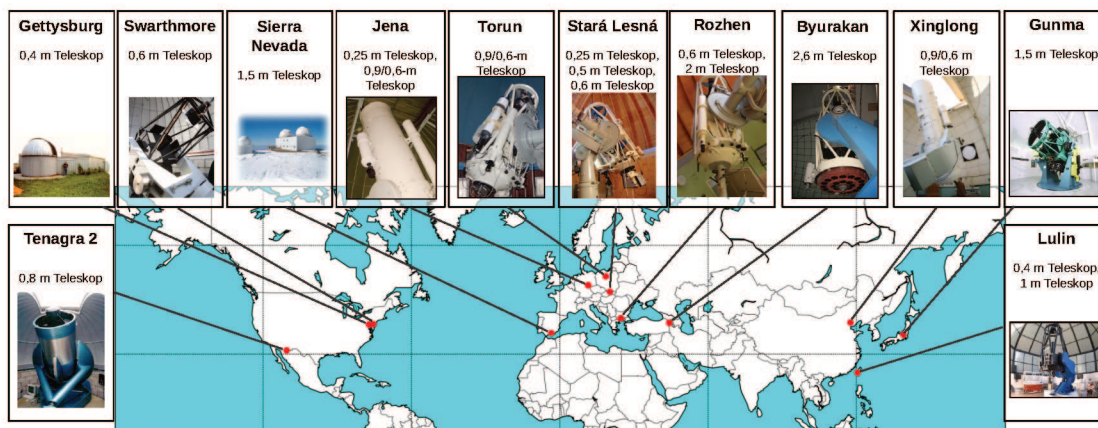


Abbildung 2.1: Karte mit den YETI-Teleskopen, welche den offenen Sternhaufen Trumpler 37 beobachtet haben. Die Karte zeigt die nördliche Halbkugel, alle Teleskope liegen zwischen 23° und 53° nördlicher Breite.

werden, bei der Suche nach Transits können jedoch für diese Teleskope die kürzesten erwarteten Transitsignale nicht gefunden werden, da mindestens 3 Datenpunkte im Transit liegen müssen (\rightarrow Kapitel 2.5.2).

Zusammenfassung der Kampagnen

In Tabelle 2.2 sind die Zeiträume der Beobachtungskampagnen, die Anzahl der teilnehmenden Teleskope, sowie die Anzahl der einzelnen Beobachtungsnächten aufgelistet. Dabei zeigte sich, dass trotz der durchschnittlichen Beteiligung von 8 Teleskopen an den Kampagnen nur 2,6 Teleskope pro Nacht beobachten konnten. Dabei war das erste Jahr deutlich effektiver, als das Zweite. Das relativ geringe Verhältnis ist vorwiegend im Wetter begründet, in einzelnen Fällen in technischen Problemen (insbesondere im Fall von Byurakan), sowie in der Vereinbarkeit mit anderen Beobachtungsprojekten. An einigen Teleskopen wurden nicht alle gestellten Beobachtungsanträge bewilligt.

Die Beobachtungen wurden vorwiegend im R -Band durchgeführt. Für viele Teleskope ist dieser Wellenlängenbereich derjenige mit der höchsten Sensitivität (Maciejewski u. a. 2013). Dadurch sind die Beobachtungen im gleichen Filter miteinander vergleichbar, was für die Erstellung und Auswertung der Lichtkurven von Bedeutung ist. Neben den Beobachtungen im R -Band wurden auch Aufnahmen in den Filtern I , B und V aufgenommen (\rightarrow Kapitel 2.1.4). Diese Beobachtungen erfolgten vorwiegend außerhalb der YETI-Kampagnen oder während der simultanen Beobachtung verschiedener Teleskope. Mittels diesen Daten ist die Untersuchung der spektralen Abhängigkeit der

Tabelle 2.2: Zusammenfassung der Beobachtung während der YETI-Kampagnen. Angegeben sind die Anzahl der teilnehmenden Teleskopen und die Anzahl der Beobachtungsnächte des entsprechenden Zeitraums. Ein Datensatz entspricht dabei einer Beobachtungsnacht eines Teleskops. Der Zeitraum reicht dabei vom Beginn der ersten Nacht (in lokaler Zeit) bis zum Morgen der letzten Nacht. Die Gesamtzahl der Kampagnennächte ist für 2010 und 2011, sowie für beide Jahre gemeinsam gegeben.

2010	Teleskope Datensätze		2011	Teleskope Datensätze	
03. - 12. Aug.	10	37	11. - 22. Juli	6	20
26. Aug. - 12. Sep.	8	37	10. - 22. Aug.	6	21
24. - 30. Sep.	9	34	09. - 20. Sep.	8	39
35 Nächte	108		37 Nächte	80	
Kampagnennächte 2010 und 2011:			72 Nächte	188	

Veränderungen in der Lichtkurve möglich. Im ersten Jahr wurden die Beobachtungen mit abwechselnd 10 s und 60 s Belichtungszeit durchgeführt. Da nach Auswertung der Daten des ersten Jahres festgestellt wurde, dass die photometrische Genauigkeit für die Mitgliedssterne zu gering ist, wurden im zweiten Jahr 10 s und 120 s verwendet.

Beobachtungen außerhalb der YETI-Kampagnen mit der Schmidt Teleskop Kamera (STK)

Außerhalb der YETI-Kampagnen wurde Trumpler 37 in 156 Nächten mit der Schmidt Teleskop Kamera (STK) der Universitätssternwarte Großschwabhausen nahe Jena beobachtet. Die Aufschlüsselung nach Jahren ist in Tabelle A.1 angegeben. Dabei wurden nur Aufnahmen bei klarem Wetter (ohne Wolkendurchzug) berücksichtigt. Eine genaue Beschreibung, wie das Aussortieren von Aufnahmen mit Wolken oder anderen problematischen atmosphärischen Effekten erfolgte, befindet sich in Kapitel 2.2. Neben den Daten im Bessel- R wurden auch Daten in den Besselfiltern B , V und I aufgenommen.

Insgesamt wurde Trumpler 37 während ≈ 550 Stunden mit der STK belichtet. Dabei wurde fast ausschließlich im Wechsel zwischen kurzen und langen Belichtungszeiten beobachtet. Während die kurze Belichtungszeit immer 10 s war, wurde die lange Belichtungszeit zwischen den Jahren variiert. Um das Signal-zu-Rausch Verhältnis für die masseärmeren und damit dunkleren Mitgliedssterne in Trumpler 37 zu verbessern,

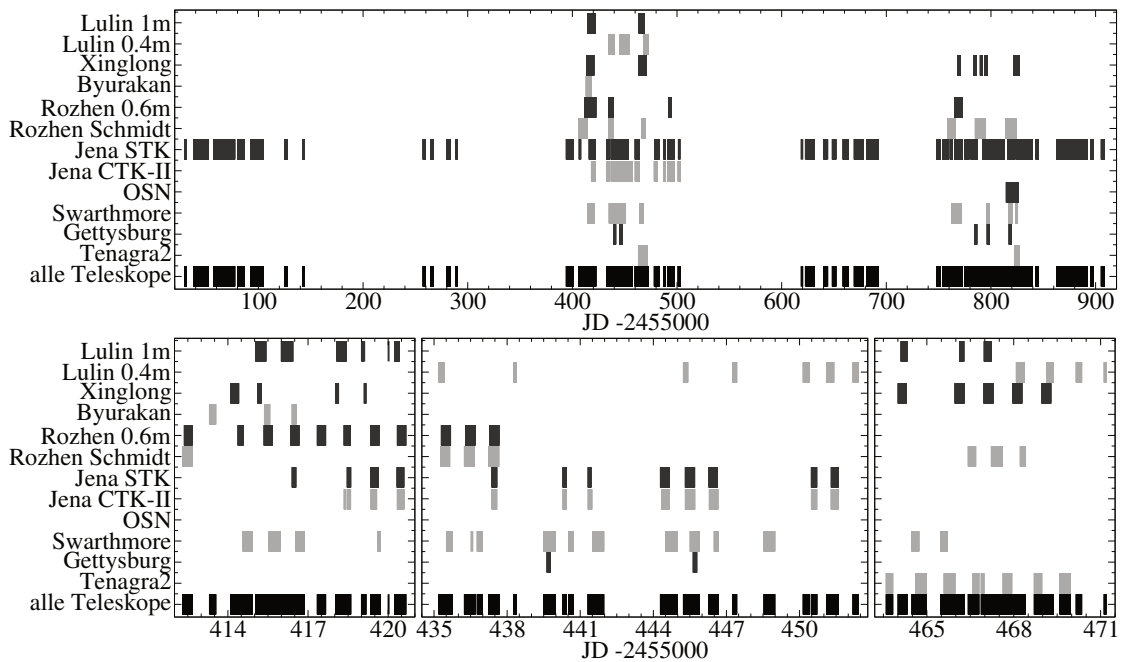


Abbildung 2.2: Zeiten, zu welchen die verschiedenen Teleskope die in der Arbeit genutzten Daten im R -Band aufgenommen haben. Der obige Graph zeigt alle Beobachtungen, der untere den Ausschnitt der drei YETI-Kampagnen im Jahr 2010.

wurde die Belichtungszeit im zweiten Jahr von 60 s auf 120 s erhöht. Da der Primärspiegel im Herbst 2011 neu beschichtet wurde, konnte danach die Belichtungszeit bei gleichbleibender Lichtausbeute auf 105 s herab gesetzt werden.

Erfasste Beobachtungszeiträume und Phasenabdeckung

Mit Hilfe der YETI-Teleskope konnten zwischen 2009 und 2011 im R -Band insgesamt 62153 nutzbare Aufnahmen gewonnen werden. Die totale Belichtungszeit beträgt 793 h, davon 707 h in der langen Belichtungszeit. In Abbildung 2.2 sind die Zeiträume dargestellt, in welchen nutzbare Daten für Trumpler 37 aufgenommen wurden. Während der Kampagnen konnten, dank des YETI-Netzwerks, zum Teil fast ununterbrochene Beobachtungen über wenige Tage durchgeführt werden.

In Abbildung 2.3 ist die Phasenabdeckung für den Periodenbereich 0,5 d bis 1000 d dargestellt, welche unter der Nutzung aller Beobachtungsdaten erreicht werden kann. Zur Ermittlung der Phasenabdeckung wurden die Daten zum Beobachtungszeitpunkt t_i mit Periode P in Phase φ_i gefaltet:

$$\varphi_i = \text{mod} \left(\frac{t_i - t_0}{P} \right), \quad (2.1)$$

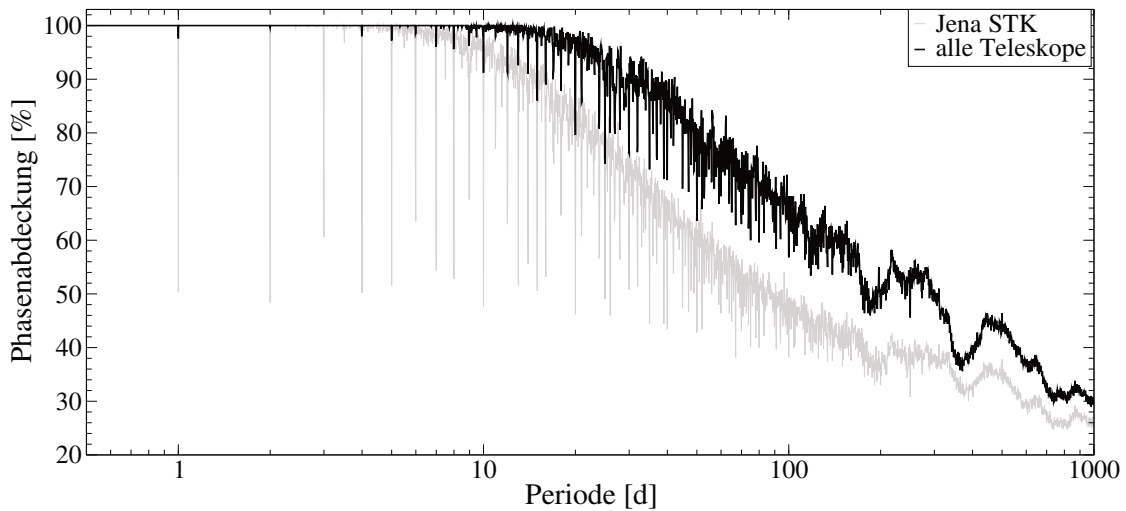


Abbildung 2.3: Phasenabdeckung der R -Band Aufnahmen für die STK und alle YETI-Teleskope. Mit nur einem Teleskop treten erhebliche Lücken in den phasengefalteten Daten für Perioden auf, welche ein vielfaches eines Tages betragen. Mittels der Beobachtung von anderen Längengraden aus, können diese Lücken gut geschlossen werden. Es bleibt nur eine kleine Lücke aufgrund eines fehlenden Teleskops im Pazifik.

wobei t_0 den Zeitpunkt für Phase 0 angibt (im weiteren Verlauf wird für diesen Wert die Bedeckungsmitte verwendet). Der phasengefaltete Raum wurde in 500 Intervalle unterteilt und die Intervalle mit mindestens einem Datenpunkt gezählt. Auf diese Weise wird sicher gestellt, dass für Planetenorbits mit $a = 50 R_\star$ und $b = 0,5$ der Transit in 3 Intervalle fällt. Da der Transit bei $a \gtrsim 50 R_\star$ nur $\lesssim 0,7\%$ des Orbits ausmacht, sind mit der gewählten Anzahl an Kampagnennächten Detektionen entsprechend unwahrscheinlich, so dass das Limit von $a = 50 R_\star$ eine sinnvolle obere Grenze darstellt. Zum Vergleich ist die Abdeckung durch die STK gezeigt. Bei der Periode von einem Tag, oder vielfachen davon, wird nur etwa die Hälfte der Phase abgedeckt. Allerdings ist dank der Beobachtungen über drei Jahre dabei nur der Periodenbereich betroffen, welcher wenige Sekunden vom ganzen Tag abweicht. Werden alle anderen YETI-Teleskope von den verschiedenen Längengraden mit einbezogen, so wird der nicht abgedeckte Phasenbereiche der STK nahezu komplett gefüllt. Für die fehlenden 2.5% bei einer Periode von $P = 1$ d wird ein Teleskop im Pazifik benötigt. Bis zu einer Periode von 15 Tagen ist eine nahezu vollständige Phasenabdeckung gewährleistet, für Perioden von einem Monat beträgt sie noch etwa 90%, für 50 Tage noch 80%. Unter ausschließlicher Nutzung der langen Belichtungszeiten, welche für die meisten Sterne die sinnvolleren sind, wurde eine etwa durchschnittlich 2% schlechtere Phasenabdeckung berechnet.

Kalibration der Helligkeiten und Farbindices

In der Nacht 2009-09-21 wurden mit der STK Aufnahmen in allen vier für die STK verfügbaren Filtern gewonnen: B , V , R und I . Diese Filter entsprechen denen des Bessel Systems (Bessell 1990; Mugrauer & Berthold 2010). Nach der differentiellen Photometrie (\rightarrow Kapitel 2.2) wurden die Daten mit der Literatur verglichen. Da sich je nach Filtersystem unterschiedliche Helligkeiten und Farbindices ergeben, ist zum Vergleich mit den Literaturwerten eine vorherige Korrektur nötig, welche im Folgenden erläutert wird.

Zwischen den eigenen Beobachtungen und den Literaturangaben gilt dabei ein linearer Zusammenhang, sowohl in einem Band, als auch in einem Farbindex, also der Helligkeitsdifferenz zwischen zwei Bändern (Bessell 1990). Als Referenzwerte wurden dazu die V , $V - R$ und $V - I$ Daten aus Sicilia-Aguilar u. a. (2004), welche im Cousins-System gewonnen wurden (Cousins 1976), sowie V und $B - V$ aus den UBV photoelektrischen Beobachtungen aus Kun (1986) im Johnson-System (Johnson & Morgan 1953) verwendet. Für den Vergleich mit dem Johnson-System (B , V) gab es 109 Überschneidungen zwischen den STK-Sternen und der Literatur, für das Cousins-System (V , R , I) waren es 51 Überschneidungen. Abbildung A.5 im Anhang zeigt den Vergleich der Helligkeiten und Farbindices zwischen Literatur und den Beobachtungen. Zwischen den Werten der Literatur und den gemessenen Helligkeit besteht ein linearer Zusammenhang, daher wurde anhand der sich überschneidenden Sterne jeweils eine lineare Gleichung für V und für $B - V$, sowie für V , für $V - R$ und für $V - I$ angepasst. Die gefundenen Parameter wurden auf die Helligkeiten und Farbindices der STK Beobachtungen angewendet, um den Vergleich mit der Literatur zu ermöglichen. Es ergab sich, dass die Anstiege in den V -Band Helligkeiten mit $\frac{dV_{\text{Lit}BV}}{dV_{\text{Beob}}} = 0,987 \pm 0,003$ und $\frac{dV_{\text{Lit}VRI}}{dV_{\text{Beob}}} = 0,985 \pm 0,036$ nahezu identisch waren, während die Anstiege in den Farbindices deutlich abwichen: $\frac{d(B-V)_{\text{Lit}}}{d(B-V)_{\text{Beob}}} = 1,291 \pm 0,007$, $\frac{d(V-R)_{\text{Lit}}}{d(V-R)_{\text{Beob}}} = 0,844 \pm 0,099$ und $\frac{d(V-I)_{\text{Lit}}}{d(V-I)_{\text{Beob}}} = 0,872 \pm 0,067$ (Lit steht für die Literaturwerte, Beob für die eigenen Beobachtungen). Die Ursache für die Unterschiede liegen in leichten Differenzen zwischen den STK-Filtern und den Literaturfiltern (\rightarrow Abbildung 2.4), als auch den Effekten der Erdatmosphäre (\rightarrow Kapitel 2.3) begründet. Die an die Filtersysteme der Literatur angepassten Farbindices und Helligkeiten wurden im weiteren Rahmen dieser Arbeit verwendet.

Bestimmung des Spektraltyps aus den Farbindizes

Aus den beobachteten Helligkeiten und den daraus bestimmten Farbindizes mit der Korrektur für die Literatur (Kapitel 2.1.4) kann über den Vergleich mit den intrinsischen Farbindizes für jeden Stern Spektraltyp und Extinktion A_V bestimmt werden. Daraus kann weiterhin mit Hilfe des Vergleichs der scheinbaren Helligkeiten zu den absoluten Helligkeit die Entfernung berechnet werden. Für die intrinsischen Farbindizes $FI_{\text{intrinsisch}}$ gilt:

$$FI_{\text{intrinsisch}} = (m_i - m_j)_{\text{intrinsisch}} = (m_i - m_j)_{\text{beobachtet}} - (A_i - A_j) \quad , \quad (2.2)$$

wobei i und j zwei verschiedene Filter bezeichnen und die Extinktion sich mit $A_i - A_j = A_V \cdot \left(\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V} \right)$ ausdrücken lässt. Dabei steht das V für das V -Band. Für die Rechnungen wurden die intrinsischen Farbindizes aus Kenyon & Hartmann (1995) (für Leuchtkraftklasse V) und Currie u. a. (2010) (für Leuchtkraftklasse III und I) entnommen. Die Verhältnisse der Extinktionen $\left(\frac{A_i}{A_V} \right)$ wurden aus den Werten von Rieke & Lebofsky (1985), Savage & Mathis (1979) und Cardelli u. a. (1989) per Mittelwertbildung bestimmt. Für jeden Spektraltyp wurden die Extinktion $(A_V \pm \Delta A_V)_{i,j}$ für alle Kombinationen der vorhandenen Filtern (i, j) mittels

$$A_{V,i,j} = \frac{(m_i - m_j)_{\text{beobachtet}} - (m_i - m_j)_{\text{intrinsisch}}}{\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V}} \quad (2.3)$$

$$\Delta A_{V,i,j} = \frac{\sqrt{(\Delta m_i)_{\text{intrinsisch}}^2 + (\Delta m_j)_{\text{intrinsisch}}^2}}{\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V}} + A_{V,i,j} \cdot \frac{\Delta \left(\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V} \right)}{\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V}} \quad (2.4)$$

berechnet. Dabei entspricht $\Delta \left(\frac{A_i}{A_V} - \frac{A_j}{A_V} \right) = \sqrt{\left(\Delta \frac{A_i}{A_V} \right)^2 + \left(\Delta \frac{A_j}{A_V} \right)^2}$ der Standardabweichung der Literaturangaben. Der Fehler der intrinsischen Farbindizes wurde zu Null angenommen. Aus diesen Werten für $A_{V,i,j}$ wurde die anhand der Fehler gewichtete Extinktion A_V und das reduzierte χ^2 bestimmt. Nach der Wiederholung der Rechnung für alle Spektraltypen wurde das minimale χ^2 gesucht, sowie die 1σ Bereiche darum bestimmt. Die Spektraltypen, Extinktionen und Distanzen werden für das Minimum sowie die Grenzen des 1σ Bereiches ausgegeben. Dabei berechnen sich die Distanz über das Entfernungsmodul

$$m_V - \mathcal{M}_V = 5 \log_{10} \frac{d}{10 \text{pc}} + A_V \quad , \quad (2.5)$$

wofür die absoluten Helligkeiten \mathcal{M}_V aus Schmidt-Kaler (1982) zum Einsatz kamen. Alle Berechnungen wurden automatisiert durchgeführt, das im Rahmen dieser Arbeit

entwickelte Programm ist im Anhang B.1 gezeigt. Die Methode der Bestimmung der Spektraltypen aus den Farbindizes ist jedoch mit Unsicherheiten behaftet und wird nur für eine erste Schätzung verwendet. Beim Vergleich der aus den *BVRIJHK* Helligkeiten berechneten, am besten passenden Spektraltypen mit denen der Literatur (→ Errmann u. a. 2013) stimmten in 85% der Fälle die Spektraltypen innerhalb einer Hauptgruppe überein. Innerhalb von 5 Untergruppen (zum Beispiel G2 und G7) waren es nur 58% Übereinstimmung, innerhalb von drei Untergruppen 38%. Im weiteren Verlauf kann Leuchtkraftklasse *I* für alle betrachteten Sterne ausgeschlossen werden, da die Sterne eine so hohe scheinbare Helligkeit besitzen, dass sie sich außerhalb der Milchstraße befinden müssten, um Gleichung 2.5 zu erfüllen.

Auswertung der YETI-Daten

Die Daten der YETI-Teleskope wurden für jede Nacht einzeln bearbeitet. Im Falle kleiner Gesichtsfelder, welche im Mosaikmodus aufnahmen, wurde jedes Mosaikfeld einzeln ausgewertet. Im folgenden sind die einzelnen Reduktionsschritte aufgelistet, welche im Anschluss erläutert werden.

1. Korrektur der CCD-induzierten Ungenauigkeiten
2. Bestimmung des Versatzes der Gesichtsfelder zwischen einzelnen Aufnahmen
3. Bestimmung der optimalen Apertur
4. Aperturphotometrie
5. Aussortieren der Aufnahmen mit schlechter Photometrie
6. Differentielle Photometrie
7. (Erstellung der Lichtkurven)

Dabei wurden die Schritte 2 bis 7 mit einer im Rahmen dieser Arbeit erstellten Auswerterroutine (Quelltext im Anhang B.3) automatisiert durchgeführt. Es wurde auf bereits vorhandene Programme zurück gegriffen und diese zum Teil ergänzt. Somit konnten ohne Benutzereingabe aus den reduzierten Aufnahmen Lichtkurven erzeugt werden.

1. Korrektur der CCD: Aufgrund der Beobachtung mit CCD-Detektoren müssen die Rohaufnahmen vor der Auswertung bearbeitet werden (→ Kapitel 1.6). Die Korrektur mit Dunkelstrombild und Weißlichtaufnahme erfolgte zum Teil bereits an den YETI-Teleskopen (Rozhen, Gettysburg, Swarthmore und teilweise Stará Lesná). Von

diesen Teleskopen wurden nur die reduzierten Aufnahmen zugeschickt. Zum Großteil wurden jedoch die Rohdaten gesendet und die beiden obigen Korrekturschritte im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt. Mit Hilfe der IRAF-Routinen (“Image Reduction and Analysis Facility”, Tody 1993) COMBINE, FLATCOMBINE und CCDPROC erfolgten Weißlicht- und Dunkelstromkorrektur. Dabei wurde der Median aller Dunkelstrombilder einer Belichtungszeit bestimmt und zu einem “Masterdark” zusammengefasst. Dieses “Masterdark” wurde von allen Weißlichtaufnahmen der selben Belichtungszeit abgezogen. Alle korrigierten Weißlichtbilder werden anhand ihres mittleren Flusses normiert und dann ebenfalls mittels Median zu einem Bild zusammengefasst. Im letzten Schritt wird von jeder Beobachtung das “Masterdark” der gleichen Belichtungszeit abgezogen und durch das normierte, gemittelte Weißlichtbild dividiert. Für die auf diese Weise vom Dunkelstrom und unterschiedlichen Empfindlichkeiten verschiedener Pixel korrigierten Aufnahmen wurde das Julianische Datum für die Mitte der Belichtungszeit mit Hilfe der IRAF-Routine SETJD berechnet. Aus diesem wird für die Analyse der Lichtkurven und zur Darstellung das heliozentrische Julianische Datum bestimmt (→ Kapitel 2.3).

Vorbereitung für 2. Erstellung der Referenzlisten: Die Photometrie wurde anhand einer Liste von Bildkoordinaten der Sterne durchgeführt. Zur Erstellung der Liste wurde mittels der Objekt-Detektierung von *GAIA*¹⁶ in einem Mosaik von STK-Aufnahmen alle Sterne gesucht. Diese Listen von Pixelkoordinaten und instrumentellen Helligkeiten wurden zusammengefügt und von Artefakten bereinigt. Artefakte waren zum Beispiel Detektion des Beugungsmuster, welches von hellen Sterne an der Kameralhalterung erzeugt wird oder gestreutes Licht der hellen Sterne. Für den späteren Vergleich mit der Literatur wurde diese Liste mit bekannten Katalogen korreliert. Die Sterne wurden nach instrumentellen Helligkeit sortiert und nummeriert. Diese internen Nummern dienten als Namen der Sterne und wurden in dieser Arbeit als eindeutige Bezeichnung verwendet.

Für jedes Instrument wurde eine eigene Referenzliste verwendet. Die Liste der Sterne aus dem STK-Aufnahmen diente als Grundlage für die anderen Teleskop-Kameras. Dazu wurden die Bildkoordinaten anhand der unterschiedlichen Pixelskalen zueinander umgerechnet. Falls die Aufnahme gespiegelt war, wurde die y-Achse gespiegelt und die Koordinaten bei Rotation der Kamera mit diesem Winkel transformiert. Für Teleskop-Kameras mit großen Gesichtsfeldern wurden die Sterne aus dem äußeren Bereich zur

¹⁶<http://star-www.dur.ac.uk/~pdraper/gaia/gaia.htx/>

Liste hinzugefügt. Im Falle sehr kleiner Pixelskalen konnten Sterne aufgelöst werden, welche in der STK nur als Einzelstern zu erkennen sind. In diesem Fall wurden alle Einzelsterne ebenfalls zur Liste hinzugefügt. Im letzten Schritt wurden alle Sterne maskiert, welche in den meisten Beobachtungen außerhalb des Bildfelds lagen, so dass die neue Referenzliste nur beobachtbare Sterne enthielt.

2. Bestimmung des Versatzes der Gesichtsfelder zwischen einzelnen Aufnahmen: Durch ungenaue Nachführung, aber auch durch um einige Pixel abweichenden Aufnahmefelder, ist eine Ausrichtung der Referenzlisten an jede Aufnahme nötig. Mit Hilfe der Auswerterroutine wurde eine Kreuzkorrelation zwischen den Koordinaten der Referenzlisten und denen der Objekt-Detektierung dem Programm SEXTRACTOR (Bertin & Arnouts 1996) durchgeführt. Somit konnte die Verschiebung und eventuelle Drehung von jeder Aufnahme bzgl. der Referenzkoordinaten bestimmt werden. Daraus wird eine Datei mit den berechneten neuen Pixelkoordinaten erstellt, welche für die Photometrie der entsprechenden Aufnahme verwendet wird. Außerdem wird die mittlere Halbwertsbreite (FWHM) der Sterne für jeweils eine Nacht bestimmt.

3. Bestimmung der optimalen Apertur: Im nächsten Schritt wird die beste Apertur für die Aperturphotometrie bestimmt. Dafür wurde die IRAF-Routine PHOT (Davis 1987) verwendet. Ausgehend von der mittleren FWHM der Sterne wurde die Photometrie mit 15 verschiedenen Aperturen mit Radien zwischen $1 \cdot \text{FWHM}$ und $2,5 \cdot \text{FWHM}$ auf eine Auswahl von 100 Bildern und den ersten (hellsten) 600 Sternen durchgeführt. Für jede Apertur wird zwischen jeweils zwei Sternen die Helligkeitsdifferenz in allen Bildern und von dieser Differenz die Standardabweichung berechnet. Der Median der Standardabweichungen aus allen Kombinationen der Sterne einer Apertur wird bestimmt. Jene Apertur, in welcher dieser Wert minimal ist, wird im weiteren Schritt verwendet. Im Mittel aller ausgewerteten Nächte wurde eine Apertur von $(1,4 \pm 0,3) \cdot \text{FWHM}$ verwendet.

4. Aperturphotometrie: Für Aperturphotometrie muss die Himmelshelligkeit in der Nähe eines jeden Sterns bestimmt werden um anschließend die Helligkeit des Sterns zu korrigieren. Dazu wird der Fluss innerhalb eines Rings, welcher den Stern umgibt, gemessen. Dieser so genannte Annulus wurde nur zwischen verschiedenen Instrumenten variiert, dann jedoch für alle Nächte konstant gehalten. Der Radius wurde anhand der Größe der Sterne auf dem CCD gewählt und so bestimmt, dass kein Licht des Sterns in den Ring fällt. Da nicht nur die Pixelskala, sondern auch die Punktbildfunktion der Sterne variiert, konnte nicht der selbe Abstand im Bogenmaß für alle Teleskope ver-

wendet werden. Je nach Pixelskala wurde ein innerer Radius von 8...40 px (7''...20'') gewählt. Die Breite des Rings betrug 5 px. Aufgrund der Größe des Rings und dem dichten Feld im Bereich von Trumpler 37 können jedoch andere Sterne im Annulus liegen. Die Pixel eines Sterns im Annulus, welche viel heller als der Hintergrund sind, wurden jedoch durch eine Begrenzung von 3σ aussortiert. Dabei erfolgte das Aussortieren iterativ. Eine Darstellung von Apertur und Annulus zeigt Abbildung 2.5 in Kapitel 2.3. Der instrumentelle Fluss F in der Apertur, die Helligkeit m und ihre Fehler berechnen sich nach der in IRAF gegebenen Formel

$$\begin{aligned}
 F &= \tilde{F}_{\text{Apertur}} - A_{\text{Apertur}} \cdot \bar{\tilde{F}}_{\text{Annulus}} \\
 m &= z_{\text{mag}} - 2,5 \log_{10} \left(\frac{F}{t_{\text{Belichtung}}} \right) \\
 \Delta F &= \sqrt{\frac{F}{\delta} + A_{\text{Apertur}} \cdot \sigma^2 + \frac{A_{\text{Apertur}}^2 \cdot \sigma^2}{N_{\text{Annulus}}}} \\
 \Delta m &= \frac{2,5}{\ln 10} \frac{\Delta F}{F} \quad ,
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

wobei $\tilde{F}_{\text{Apertur}}$ den Gesamtfluss in der Apertur mit der Fläche A_{Apertur} und $\bar{\tilde{F}}_{\text{Annulus}}$ den durchschnittlichen Fluss pro Pixel im Hintergrund angibt. Sowohl der willkürlich gewählte Wert $z_{\text{mag}} = 25$ mag als auch die Belichtungszeit $t_{\text{Belichtung}}$ spielen aufgrund der später folgenden differentiellen Photometrie keine Rolle. In die Fehler gehen weiterhin die Verstärkung δ ("Gain") beim Auslesen, die Standardabweichung σ des Flusses im Annulus, und die Anzahl der verwendeten Pixel des Annulus N_{Annulus} ein.

Die Aperturphotometrie mit der optimalen Apertur wurde für alle Sterne der Referenzliste durchgeführt. Dabei wurde durch IRAF für jeden Stern innerhalb eines Quadrates von 3...5 px Kantenlänge (je nach Pixelskala) das Zentrum bestimmt, die Apertur und Annulus darum gelegt und damit die Helligkeit bestimmt. Für einige Sterne konnte in einigen Aufnahmen keine Helligkeit bestimmt werden, da sie entweder saturierten oder außerhalb des Bildfelds lagen. Für diese Sterne wurden im Anschluss die Werte für die instrumentelle Helligkeit abwechselnd auf + oder -100000 , die dazugehörigen Fehler auf Werte von 100000 gesetzt. Dies ist notwendig, damit diese Sterne bei der differentiellen Photometrie nicht für den künstlichen Vergleichssterne verwendet werden und auch später immer aussortiert werden können.

5. Aussortieren der Aufnahmen mit schlechter Photometrie: In vereinzelt Nächten wurde während des Durchzugs von dünnen Wolken beobachtet. Diese sorgen für eine erhöhte Extinktion, welche zeitlich und örtlich variabel ist. Entsprechend

verursachen Datenpunkte aus diesen Bereichen eine erhöhte Streuung in den Lichtkurven. Anhand der instrumentellen Helligkeiten aus der Aperturphotometrie wurden Aufnahmen aussortiert, welche unter signifikant schlechteren atmosphärischen Bedingungen aufgenommen wurden. Aufnahmen, bei welchen 80% der 200 hellsten Sterne um 0,5 mag oder 3σ dunkler als der Mittelwert waren, wurde nicht weiter verwendet. Die Grenzwerte wurden aus dem Vergleich mit der manuellen Bewertung der Lichtkurven gewonnen. Nach dem automatischen Aussortieren wurden nach Erstellung der Lichtkurven manuell weitere Aufnahmen aussortiert, wenn in den Lichtkurven mehrerer Sterne eine große Streuung der Daten eines Zeitpunktes sichtbar war.

6. Differentielle Photometrie: In den letzten beiden Schritten wurden die differentiellen Helligkeiten unter der Nutzung des Programms PHOTOMETRY (Broeg u. a. 2005) bestimmt. Dazu wird aus den Daten aller Sterne ein künstlicher Vergleichssterne gebildet, indem für jeden Zeitpunkt der Mittelwert der Helligkeit des Vergleichssterne aus den gewichteten Daten aller Sterne bestimmt wird. Dabei werden iterativ die Wichtungen neu bestimmt, so dass vorwiegend die konstantesten Sterne in die Bildung des Vergleichssterne eingehen. Im ersten Schritt werden die Sterne anhand ihres mittleren Fehlers Δm aus der Aperturphotometrie gewichtet, um die Helligkeit des künstlichen Vergleichssterne für jede Aufnahme zu bestimmen. Für jeden Stern wird die differentielle Photometrie durchgeführt, das heißt die Helligkeitsdifferenz der instrumentellen Magnituden zum Vergleichssterne berechnet. Ab den folgenden Schritten dient die Streuung der differentiellen Helligkeiten als Wichtung der Sterne. Dadurch erhalten Sterne, welche einen Helligkeitsverlauf ähnlich zum künstliche Vergleichssterne haben, höhere Wichtungen. Unter der Annahme, dass die überwiegende Zahl der Sterne konstant ist, beeinflussen die variablen Sterne mit geringen Wichtungen den künstlichen Vergleichssterne nicht. In jedem Schritt wird erneut die Helligkeit des künstlichen Vergleichssterne berechnet und differentielle Photometrie durchgeführt. Die Iterationen erfolgten bis zu einer relativen Änderung von weniger als 10^{-10} , bzw. über maximal 30 Schritte. Letztere Bedingung war notwendig, da in vereinzelt Nächten eine Konvergenz nur bis etwa 10^{-9} erreicht wurde, vermutlich da die Maschinengenauigkeit der Variablen nicht ausreichend groß gewählt wurde.

Aufgrund des Verfahrens kann keine Fehlerfortpflanzung durchgeführt werden, daher werden die Ungenauigkeiten der Helligkeiten aus der Aperturphotometrie von PHOTOMETRY unter Verwendung eines Multiplikators A und additiven Terms B reskaliert.

Damit wird erreicht, dass für konstante Sterne weiterhin die Streuung der Lichtkurven in etwa den Fehlern der Datenpunkte entspricht.

$$\Delta m_{\text{differenziell}} = A \cdot \Delta m_{\text{instrumentell}} + B \quad (2.8)$$

Zur Bestimmung wurden für 400 Sterne beide Parameter variiert und überprüft, in welchem Fall für jeden Stern der mittlere Helligkeitsfehler mit der Standardabweichung der Lichtkurve übereinstimmt. Durchschnittlich haben sich für den Multiplikator $A = 1,0 \pm 0,3$ und für den additiven Term $B = (0,006 \pm 0,003)$ mag ergeben. Das bedeutet, die mittlere Streuung der Lichtkurven ist nur geringfügig größer als der aus der Aperturphotometrie bestimmte Fehler.

7. Erstellen der Lichtkurven einer Nacht: Im letzten Schritt wurden die Lichtkurven für alle Sterne graphisch dargestellt, das heißt Helligkeit über die Zeit ausgegeben. Diese wurden stichprobenartig auf Auffälligkeiten, wie signifikant streuende Datenpunkte, untersucht. Dabei fiel auf, dass die Lichtkurven vom Schmidt-Teleskop Rozhen und von Xinglong Trends enthielten. Da diese beiden Teleskope die größten Gesichtsfelder von deutlich mehr als einem Quadratgrad besitzen, treten Effekte (wie differentielle Luftmasse, Feldverzerrungen) auf, welche auch in Abschnitt 2.3 besprochen werden. In einem ersten Versuch die Lichtkurven dieser Teleskope zu optimieren, wurde das Gesichtsfeld in ein 5×5 Mosaik unterteilt und dann die differentielle Photometrie nur für jedes Mosaikfeld einzeln durchgeführt. Die Trends in den Lichtkurven konnten dadurch tatsächlich verringert werden, allerdings brachte diese Methode keine Vorteile beim Verknüpfen dieser Daten mit denen anderer Teleskope.

Verknüpfung der Daten verschiedener Teleskope

Aufgrund der großen Anzahl von Beobachtern an verschiedenen Teleskopen war eine gleichmäßige Bewertung der Wettersituation während der Beobachtungen nicht erreichbar. Außerdem sollte die Beobachtung in allen Nächten und nicht nur in photometrischen Nächten durchgeführt werden, so dass keine absolute Kalibration zur Verfügung stand. Aus diesen Gründen war es nötig, die Lichtkurven von mehreren Teleskopen oder verschiedenen Nächten anhand der Beobachtungsdaten und ohne zusätzlichen Informationen zusammensetzen. Dabei wurden verschiedene Ansätze getestet, auf welche im folgenden eingegangen wird.

I: Da die Wichtungen zur Erstellung des künstlichen Vergleichsterns in jeder Nacht variierten, trat ein Versatz zwischen den Lichtkurven verschiedener Nächte (nach der differentiellen Photometrie) auf. Dieser Versatz sollten für alle (konstanten) Sterne gleich groß sein. Zur Bestimmung des Versatzes wurden die differentiellen Helligkeiten jedes Sterns zwischen den verschiedenen Nächten verglichen. Der Median jeder Lichtkurve wurde erstellt und die Differenzen dieser Werte zwischen zwei Nächten für jeden Stern bestimmt. Der Median dieser Differenzen wurde auf jeden Datenpunkt der zweiten Nacht aufaddiert. Aufgrund der großen Anzahl an konstanten Sternen und der Medianbildung haben die variablen Sterne ($< 5\%$ der Gesamtzahl) kaum Einfluss auf den Wert des Versatzes. Mathematisch ergibt sich der Versatz aus

$$\Delta m_{1-2} = \langle m_{i,1} - m_{i,2} \rangle_i \quad , \quad (2.9)$$

wobei $m_{i,1}$ den Median der Helligkeit des i -ten Sterns der ersten und $m_{i,2}$ der zweiten Nacht angibt, während $\langle \rangle_i$ die Medianbildung über i bedeutet.

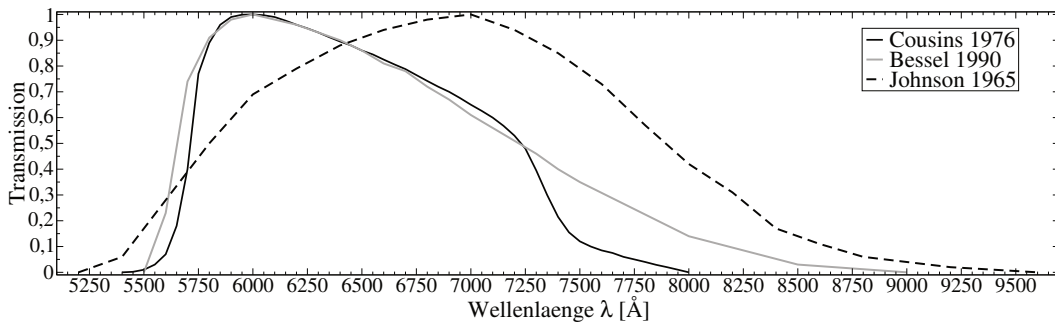


Abbildung 2.4: Filterkurven verschiedener R -Filter. Die Daten wurden in Moro & Munari (2000)¹⁷ zusammengetragen und stammen von Cousins (1976), Bessell (1990) und Johnson (1965).

Während diese Methode beispielsweise sehr gut für die Verknüpfung der Daten der einzelnen Teleskope funktioniert (für die STK sind verschiedene Lichtkurven in Errmann (2010) gezeigt), scheitert sie bei der Verknüpfung verschiedener Teleskope. Im letzten Fall gibt es zwischen den Datensätzen einen Versatz von bis zu 100 Millimagituden. Die Gründe für diesen Versatz liegen zum einen in der technischen Ausstattung der verschiedenen Teleskope und zum anderen an den Effekten durch die Erdatmosphäre. An den YETI-Teleskopen wird kein einheitlicher R -Filter verwendet, weswegen sich die Transmissionskurven unterscheiden können. In Abbildung 2.4 sind die Filterkurven verschiedener R -Band Filter dargestellt. Je nach spektraler Energieverteilung der Sterne können diese ihre relative Helligkeit zueinander ändern, entsprechend ist die

Bestimmung eines einzigen Versatzes für alle Sterne untauglich. Weiterhin können die im Teleskop verwendeten optischen Komponenten die Transmissionskurve beeinflussen, so zum Beispiel das Reflexionsverhalten der verwendeten Spiegel. Der verwendete CCD kann ebenfalls einen großen Anteil an den unterschiedlichen relativen Helligkeiten der Sterne besitzen, da je nach Dotierung und Antireflexionsbeschichtung die Empfindlichkeit in unterschiedlichen Wellenlängenbereichen verschieden sein kann. Feldverzerrungen, wie sie in Abbildung 2.5 dargestellt sind, können ebenfalls Helligkeitsdifferenzen zwischen verschiedenen Teleskopen verursachen. Ein weiterer Effekt wird durch die Erdatmosphäre induziert. Beim Passieren des Sternenlichts durch die Erdatmosphäre wird kurzwelliges Licht stärker gestreut als langwelliges. Dieser Effekt ist abhängig von der Luftmasse. Daher können sich die relativen Helligkeiten zwischen zwei Sternen im Laufe einer Beobachtungsnacht durch Auf- und Untergehen von Trumpler 37 ändern. Hinzu kommen bei großen Gesichtsfeldern noch Effekte durch unterschiedliche Luftmasse im höher und niedriger gelegenen Bereich des Bildes, bei welchen deutlich mehr Licht der niedrigeren Sterne gestreut wird. Dieser Effekt ist verantwortlich für die Trends in den Lichtkurven vom Schmidt-Teleskop Rozhen und von Xinglong. Im Bild 2.6 ist zu sehen, wie die instrumentellen Helligkeiten der Sterne 893, 941 und 945 mit der Zeit abnehmen, da Trumpler 37 untergeht. In den differentiellen Helligkeiten ist dieser Effekt korrigiert. Da die instrumentellen Helligkeiten von Stern 941 jedoch weniger schnell abnehmen als die von 945, bleiben Trends in den differentiellen Lichtkurven erhalten. Beide Sterne liegen $1,06^\circ$ voneinander entfernt in gegenüberliegenden Ecken auf dem CCD und werden daher am Ende der Nacht ($sJD = 620,125$ d) bei einem Luftmassenunterschied von $\Delta(AM) = 0,06$ beobachtet.

II: Um die oben genannten Schwierigkeiten zu umgehen und die daraus resultierenden Fehler zu minimieren, wurden die Sterne, welche für den künstlichen Vergleichssterne der differentiellen Photometrie zusammengesetzt werden, anhand von Auswahlkriterien selektiert. Für jeden Stern wurde eine eigene Gruppe von Vergleichssterne gewählt, welche sich durch geringen radialen Abstand, sowie ähnlicher Farbe und Helligkeit auszeichneten. Damit soll erreicht werden, dass die spektrale Energieverteilung im Wellenlängenbereich des Filters möglichst gleich für Stern und Vergleichssterne ist. Außerdem wurde damit der Einfluss der differentielle Luftmasse stark reduziert. Als Ausgangspunkt dienten die aus der Aperturphotometrie gewonnenen instrumentellen Helligkeiten, mit welchen die endgültigen Lichtkurven berechnet wurden. Dabei wurden verschiedene Varianten getestet, welche sich vorwiegend im Datenbereich, welcher

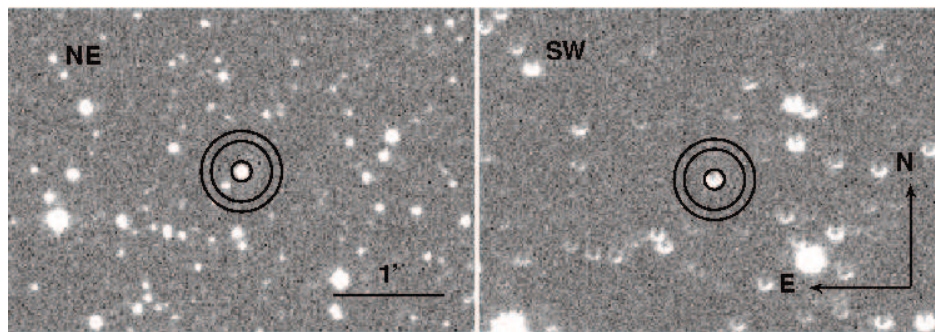


Abbildung 2.5: Zwei verschiedene Ausschnitte eines typischen Bildes des Rozhen Schmidt Teleskops. Im südwestlichen Bereich ($42'$ entfernt von HD 206267) treten starke Abbildungsfehler auf, so dass die Sterne sichelförmig aussehen. In beiden Ausschnitten ist die Apertur (Radius: 4,8 px), und der Annulus (15 . . . 20 px) eingezeichnet. Für die vergrößerten, sichelförmigen Sterne liegt nicht das gesamte Licht in der Apertur

mittels differentieller Photometrie zusammengefasst wurde, unterscheiden. Nachfolgend sind die Methoden vorgestellt, der Quelltext ist in Anhang B.2 gegeben.

- (a) Die instrumentellen Helligkeiten der Aperturphotometrie für alle Teleskope und Nächte wird für Stern und die mittels der obigen Methode ausgewählten Vergleichssterne gesammelt und darauf die differentielle Photometrie durchgeführt. Das heißt, Vergleichssterne, welche über den gesamten Zeitraum konstant sind, erhalten eine hohe Wichtung. In Greif (2015) wurden die Lichtkurven aller Sterne in allen Filtern mit dieser Methode zusammengesetzt und die Ergebnisse analysiert. Es zeigt sich weiterhin ein Versatz in den Lichtkurven zwischen den Teleskopen, welche nicht erklärt werden konnten.
- (b) Ähnlich zur in Kapitel 2.2 beschriebenen Methode wird die differentielle Photometrie für jede Nacht einzeln durchgeführt, allerdings unter Verwendung der wenigen ausgewählten Vergleichssterne. Danach wurden die Helligkeitsdifferenzen zwischen den Nächten und Teleskopen anhand der Vergleichssterne bestimmt und der Versatz zwischen den Nächten nach Gleichung 2.9 korrigiert.
- (c) Die differentielle Photometrie wird für jedes Teleskop einzeln auf den Stern und die Vergleichssterne angewendet. Danach werden durch Medianbildung für die ausgewählten Vergleichssterne die Helligkeitsunterschiede zwischen den verschiedenen Teleskopen nach Gleichung 2.9 bestimmt und korrigiert (\rightarrow Abbildung 2.7(a)).
- (d) Eine weitere Methode ist, anhand sich überschneidender Beobachtungen die Helligkeit zu skalieren. Dazu werden alle Beobachtungsnächte eines Teleskops mittels

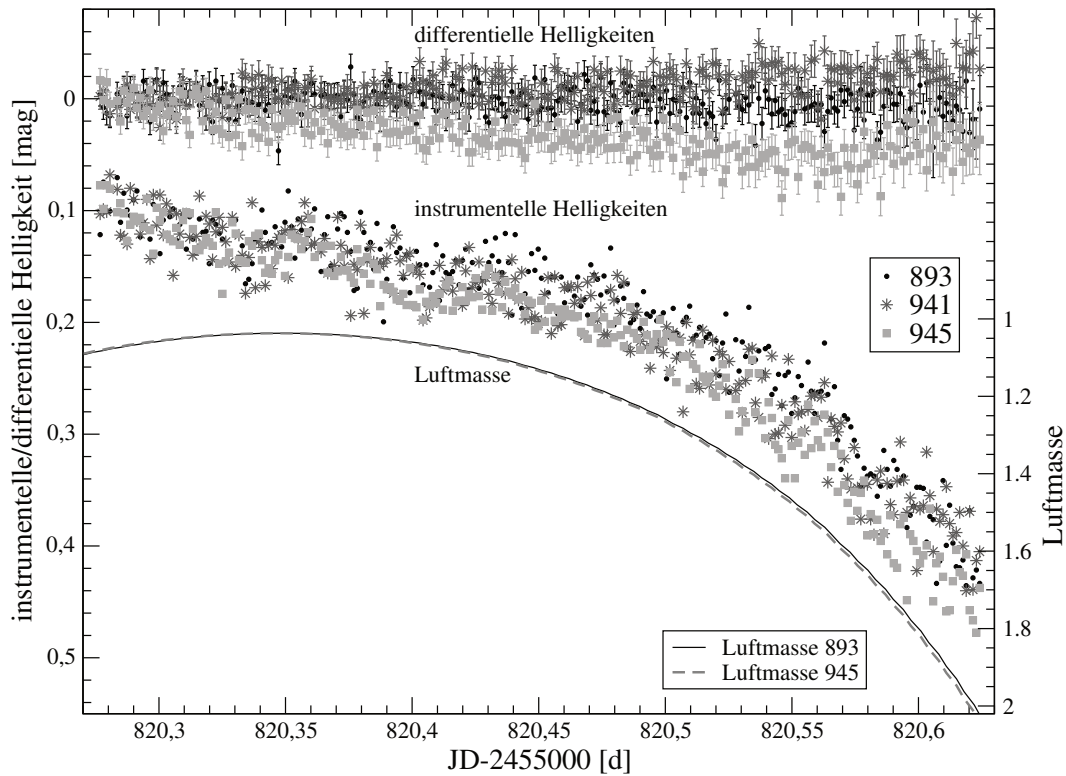


Abbildung 2.6: Lichtkurven für drei verschiedene konstante Sterne während der Nacht vom 2011-09-15 mit dem Rozhen Schmidt-Teleskop. Die unteren Kurven zeigen den Verlauf der instrumentellen Helligkeiten für die drei Sterne 893, 941 und 945, während die oberen Lichtkurven die differentiellen Helligkeiten für die selben Sterne abbilden. Alle Kurven wurden mit einer konstanten Helligkeit auf ähnliche Helligkeit zum Beginn der Nacht korrigiert, für die instrumentellen Helligkeiten wurden zur besseren Lesbarkeit die Fehlerbalken, welche ähnlich groß wie die der differentiellen Helligkeiten sind, weggelassen. Unterhalb ist der Verlauf der Luftmasse für die Sterne 893 und 945 dargestellt. Zum Ende der Nacht zeigen sich Unterschiede von 0,03.

differentieller Photometrie zusammengefasst (Variante (c)) und im Anschluss anhand zeitgleicher Beobachtungen mit anderen Teleskopen der Versatz zwischen den Teleskopen für den Stern bestimmt. Der Vorteil dieser Methode gegenüber den Anderen ist, dass es verschiedene Vergleichssterne für die einzelnen Teleskope geben kann und damit genauere Lichtkurven bei der differentiellen Photometrie erstellt werden können, während für das Zusammensetzen die durch die Vergleichssterne induzierten Effekte wegfallen. Eine Überscheidung der Lichtkurven ist jedoch notwendig, weswegen diese Methode nur gut für zentral gelegene Sterne in Trumpler 37 funktioniert. Zu weit außerhalb liegende Bereiche wurden von zu wenig Teleskopen abgedeckt, so dass dort einige Teleskope niemals zeitgleich mit anderen beobachtet

haben. Diese Methode funktioniert deshalb ebenfalls nur für das R -Band optimal. Eine Beispiellichtkurve befindet sich in Abbildung 2.7(b). Diese Variante wurde für alle Lichtkurven in B , V und R in dieser Arbeit verwendet. Für das I Band wurde erst diese und danach die folgende Methode verwendet.

- (e) Im Falle eines periodischen Signals ist eine Korrektur des Helligkeitsversatzes über die phasengefaltete Lichtkurve möglich, indem der Bereich gleicher Phase zum Korrigieren der Verschiebungen zwischen den Datenblöcken verwendet wird.

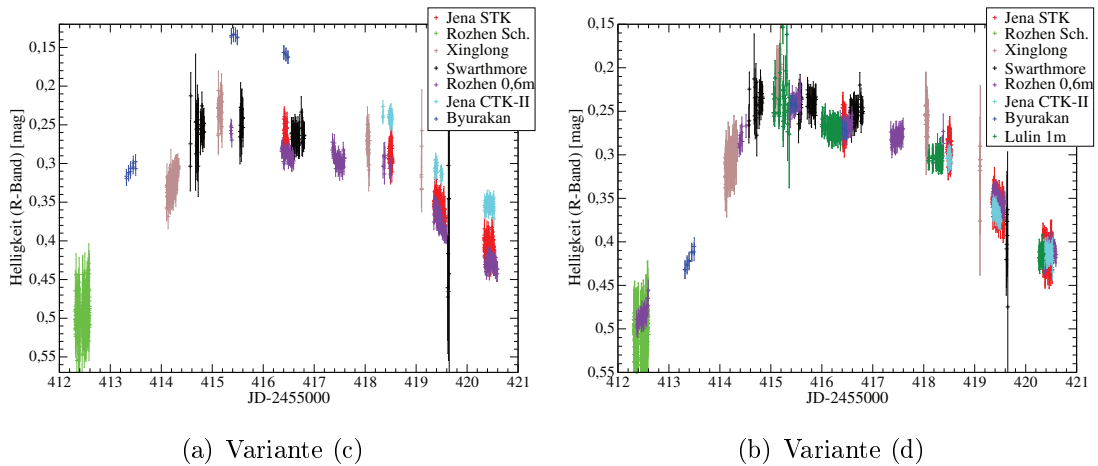


Abbildung 2.7: Ausschnitt aus der Lichtkurve des Sterns GM Ceph. In der linken Abbildung wurden die Lichtkurven der verschiedenen Teleskope anhand fünf naher konstanter Sterne mit ähnlicher Farbe und Helligkeit zusammengesetzt (a). In der rechten Abbildung wurden zur Zusammenfassung sich überschneidende Bereiche der Lichtkurven verwendet (d).

Für die Auswertevarianten (c) und (d) sind die Lichtkurven des Sterns GM Ceph in Abbildung 2.7 gezeigt. Dabei zeigen sich die Vorteile der Anpassung anhand sich überschneidender Lichtkurven. In diesem Fall sind Sprünge deutlich geringer. In Abbildung 2.7(a) fehlen die Daten des 1 m-Teleskops von Lulin, da aufgrund der Nutzung des Mosaikmodus für Variante (a, b oder c) nicht genug Überschneidungen der Vergleichssterne für dieses Teleskop existieren. In Abbildung 2.8 ist zu sehen, wie es bei der Verknüpfung von Daten verschiedener Teleskope zu Differenzen in den Messungen des selben Sterns kommen kann. So variiert die Helligkeit vom konstanten Stern 874 in den Daten der CTK-II zwischen verschiedenen Nächten, während in den Daten der STK keine Änderungen erkennbar sind. Diese leichten Variationen sind auch für einige andere Teleskope aufgetreten, jedoch fallen sie dort nicht so stark aus, wie bei der CTK-II. Aufgrund dieser Effekte lassen sich Sprünge zwischen verschiedenen Nächten

nicht ganz vermeiden, so dass die Lichtkurven nicht bündig ineinander übergehen. Dies ist eine der Ursachen, weswegen die photometrische Präzision, wie im nächsten Kapitel beschrieben, nach dem Zusammensetzen der Lichtkurven leicht abnimmt.

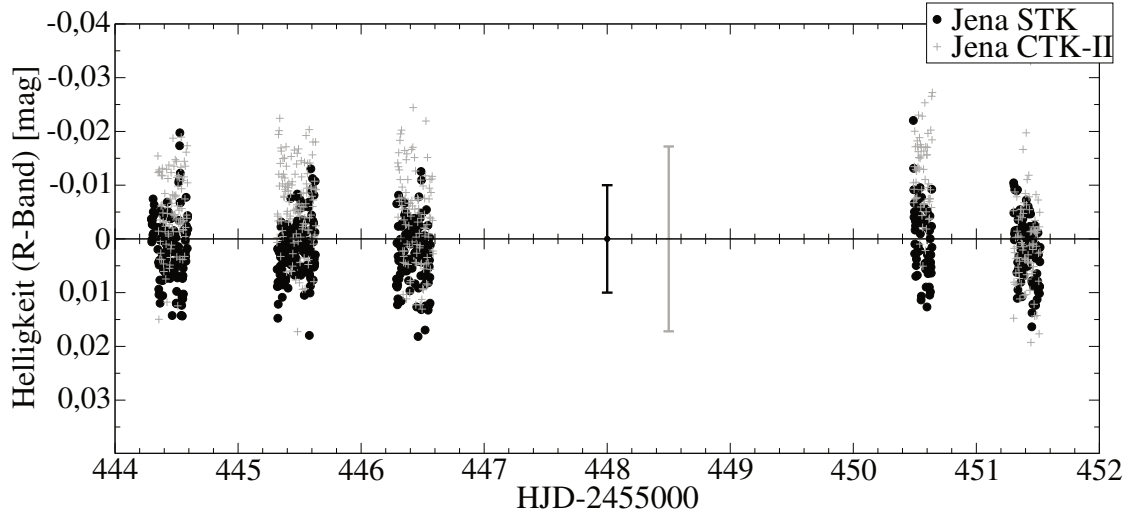


Abbildung 2.8: Lichtkurve des konstanten Sterns 874. Dargestellt sind die Daten von STK und CTK-II. Die Fehler zu den Datenpunkten wurden zur besseren Verständlichkeit weggelassen, die mittleren Fehler sind bei $sJD \approx 448$ d gegeben. Während die STK-Daten einen konstanten Verlauf zeigen, ändert sich für CTK-II die Helligkeit zwischen verschiedenen Nächten (insbesondere bei $sHJD = 450,5$ d).

Aufgrund des Erdborbits ergeben sich Laufzeitdifferenzen für das beobachtete Licht von Trumpler 37. Diese müssen bei der Verknüpfung der Daten verschiedener Beobachtungszeiträume heraus gerechnet werden, indem die Zeiten auf die Zeiten auf der Position der Sonne (heliozentrisch), bzw. das Zentrum des Sonnensystems (baryzentrisch) zurück gerechnet werden. Das heliozentrische Julianische Datum HJD kann aus dem Julianischen Datum JD unter Kenntnis der Koordinaten vom Sonne und Objekt nach

$$HJD = JD - \frac{a}{c} \cdot [\sin(\delta) \cdot \sin(\delta_{\odot}) + \cos(\delta) \cdot \cos(\delta_{\odot}) \cdot \cos(\alpha - \alpha_{\odot})] \quad (2.10)$$

berechnet werden (a : Abstand Erde–Sonne). Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Algorithmus aus Bruton (2004)¹⁸ genutzt und an die damit für den Beobachtungszeitraum berechneten Werte ein Sinusoid angepasst. Für die nachfolgenden Untersuchungen ist die Präzision der beschriebenen heliozentrischen Korrektur ausreichend, im Beobach-

¹⁸<http://www.physics.sfasu.edu/astro/javascript/hjd.html>

tungszeitraum beträgt der Unterschied zur baryzentrischen Korrektur (Eastman u. a. 2010)¹⁹ nur $\Delta t = 5$ s.

Photometrische Genauigkeit

In Abbildung 2.9 ist die Genauigkeit der Lichtkurven für eine einzelne Nacht der STK dargestellt. Dazu wurde die Standardabweichung jeder Lichtkurve gegenüber der scheinbaren Helligkeit des Sterns aufgetragen. Der Vergleich mit den durchschnittlichen Fehlern der Datenpunkte der Lichtkurve liefert konsistente Ergebnisse, wie es aufgrund des Reskalierens der Fehler während der differentiellen Photometrie zu erwarten war. Die Skalierung erfolgte analog zu Gleichung 2.8 mit $\Delta m' = 0,95 \cdot \Delta m + 0,0015$ (120 s Belichtungszeit). Für die kurze Belichtungszeit war der additive Term $B = 0,0030$. Mittels der langen Belichtungszeit sind Transitsignale detektierbar, wie sie von einem Planeten mit dem Radius $1 R_{\text{Jup}}$ um einen sonnenähnlichen Stern in der Entfernung von Trumpler 37 erzeugt werden (Abbildung A.6).

Die photometrische Genauigkeit für die zusammengesetzten Lichtkurven aller Teleskope ist in Abbildung 2.10 dargestellt. Die mittels überlappender Beobachtungszeiten erstellten Lichtkurven (Variante (d)) streuen geringfügig weniger (10%), im Mittel aller Lichtkurven ist der Unterschied zwischen beiden Methoden jedoch nicht signifikant. Dies impliziert, dass beide Auswertevarianten Lichtkurven ähnlicher Qualität erzeugen. Die Standardabweichung für die kompletten Lichtkurven ist im Median 3,4 fach größer als die einer Einzelnacht, wobei der 1σ Bereich von 1,9 fach bis 4,9 fach reicht. Für Sterne, welche innerhalb einer Nacht konstant, innerhalb mehrerer Tage oder Monate jedoch stark variieren, ist das Verhältnis der photometrischen Präzisionen stark unterschiedlich. Diese Sterne wurden für obige Werte aussortiert.

Die deutlich größere Streuung der zusammengesetzten Lichtkurven ergibt sich daher, dass kleinere Teleskope im Vergleich zur STK weniger Licht in 120 s sammeln, wodurch das Signal-zu-Rausch Verhältnis für die Apertur- und somit auch für die differentielle Photometrie geringer wird. Längere Belichtungszeiten könnten diesem Problem entgegen wirken, allerdings reduziert sich dabei die zeitliche Auflösung. Im Falle photometrisch interessanter Sterne kann nachträgliches Mitteln von drei oder fünf Datenpunkten zu einem Punkt von Nutzen für die weitere Analyse sein. Viele der YETI-Teleskope benutzen ältere CCD als in der STK verbaut wurden. Dadurch ist zum einen

¹⁹<http://astrutils.astronomy.ohio-state.edu/time/utc2bjd.html>

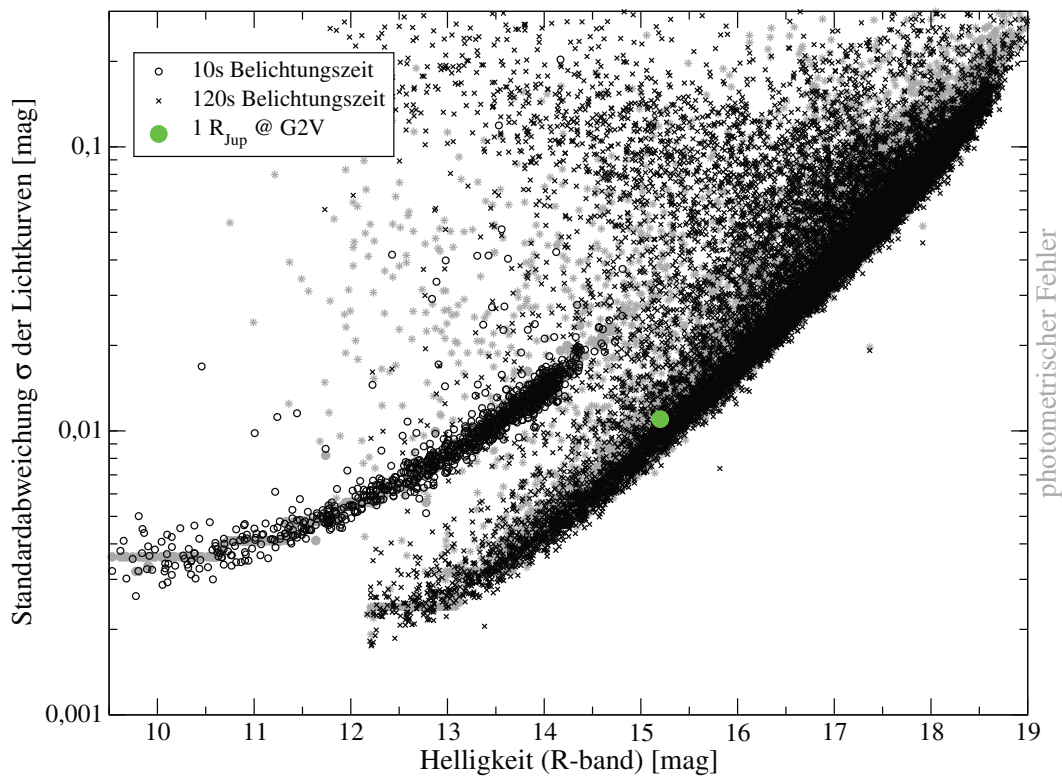


Abbildung 2.9: Photometrische Genauigkeit (schwarz) und durchschnittlicher Fehler (grau) der Lichtkurven für beide Belichtungszeiten. Zusätzlich ist das theoretische Transitsignal eines Planeten mit Jupiterradius vor einem sonnenähnlichen Stern im Sternhaufen Trumpler 37 dargestellt.

die Sensitivität des Detektors und damit das gewonnene Signal geringer, zum anderen kann die Elektronik ein höheres Ausleserauschen verursachen. Beide Effekte erzeugen daher auch eine erhöhte Streuung der Daten in den Lichtkurven.

Für die Suche nach Planetentransits sind etwas näher gelegene Sternhaufen als Trumpler 37 geeigneter, da für diese die Mitgliedssterne heller sind und bei moderater Belichtungszeiten die photometrische Präzision die Suche nach flacheren Transitsignalen ermöglicht. Die im YETI-Netzwerk nach Trumpler 37 beobachteten Sternhaufen erfüllen diese Bedingung.

Suche nach veränderlichen Sternen

Sowohl in den Lichtkurven einzelner Nächte, als auch in den Lichtkurven mit allen Daten wurden nach veränderlichen Sternen gesucht. Während anfangs für die hellsten 6000 Sterne die außerhalb der 1σ Fehlerbalken variablen Lichtkurven einzelner Näch-

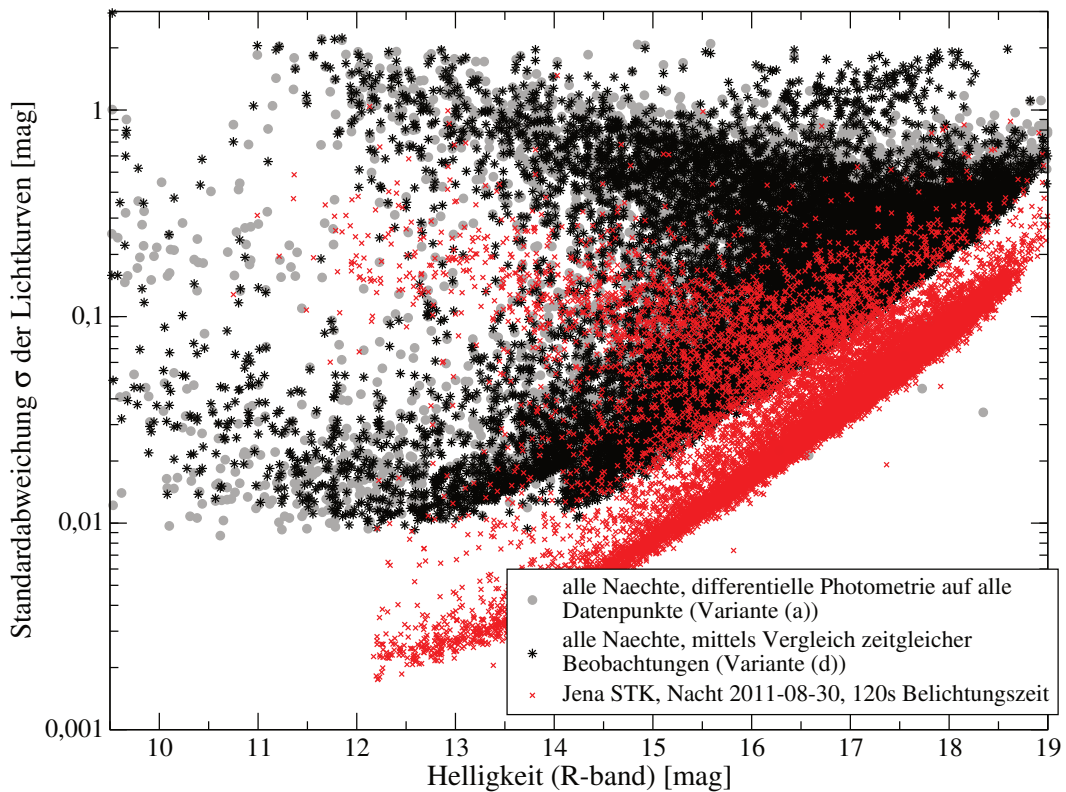


Abbildung 2.10: Photometrische Genauigkeit der Lichtkurven aller Teleskope. Zwei verschiedene Varianten zum Zusammensetzen der Daten wurden verwendet ((a) und (d), \rightarrow Kapitel 2.3). Zum Vergleich ist die photometrische Präzision einer Einzelnacht der STK gezeigt.

te durchgeschaut wurden, kamen später automatisierte Verfahren zum Einsatz. Diese Verfahren nutzen entweder die periodische Veränderung der Daten oder suchen nach speziellen Formen der Lichtkurve. Im folgenden wird auf die verschiedenen Verfahren eingegangen, welche für Trumpler 37 genutzt wurden. Zu beachten ist, dass bei den verschiedenen Untersuchungsmethoden in den Lichtkurven eine hohe Anzahl an Signalen gefunden wurden, welche keine stellare Ursache haben. Im Anhang A.1 werden deren Ursachen erläutert.

Suche nach periodischen Signalen

Viele astronomische Prozesse wiederholen sich regelmäßig. So treten Transits einmal pro Orbitperiode auf. Bei bedeckungsveränderlichen Sternen wiederholen sich Primär- und Sekundärbedeckung nach jedem Orbit. Auch Helligkeitsmodulation der Sterne durch Flecken sind quasiperiodisch, da die Sternenflecken, je nach Spektraltyp, eine Lebensdauer von einigen Wochen bis einigen Jahren (zum Beispiel für den T Tauri

Stern V410 Tauri Hatzes 1995) haben, während die Rotationsperiode für junge Sterne nur wenige Stunden und mit zunehmenden Alter einige Tage bis Wochen beträgt. Auch Pulsationen in Sternen sind für die meisten Sterne über Jahre stabil. Entsprechend können über die Suche nach Periodizität in den Daten variable Sterne gefunden werden.

Generalisiertes Lomb-Scargle Periodogramm (*GLS*)

Aufgrund der unvollständigen Lichtkurven, welche aus Teilen von unterschiedlichen zeitlichen Auflösung bestehen, ist die Verwendung von Fourieranalyse nur unter Annahmen des zu erwartenden Signals möglich. Daher kam die Periodensuche von Lomb und Scargle (Scargle 1982) zum Einsatz. Der in dieser Arbeit eingesetzte Algorithmus verwendet sinusoidale Funktionen der Art $y(t) = a \cos \omega t + b \sin \omega t + c$ mit $\omega = 2\pi \frac{1}{P}$, wobei die Konstante c den generalisierten Fall angibt (Zechmeister & Kürster 2009). Die quadratischen Abweichungen $\chi^2(\omega)$ der Datenpunkte zu der an die Lichtkurve angepasste Funktion wird berechnet. Zusammen mit dem gewichteten Durchschnitt der quadratischen Abweichungen χ_0^2 berechnet sich das Periodogramm $p(\omega)$ mittels

$$p(\omega) = \frac{\chi_0^2 - \chi^2(\omega)}{\chi_0^2} \quad . \quad (2.11)$$

Dieser Schritt wird für jede zu testende Frequenz wiederholt. Das verwendete Programm stammt von Mathias Zechmeister, der Algorithmus ist in Zechmeister & Kürster (2009) veröffentlicht. Neben dem Periodogramm werden die beste Periode der sinusoiden Anpassung, der höchste Wert im Periodogramm und die FAP ausgegeben. Bei der Auswertung muss beachtet werden, dass sich für periodische Signale Aliasfrequenzen bei ganzzahligen Vielfachen ergeben. Bei ganzzahligen Teilern können ebenfalls Aliasfrequenzen sichtbar sein, welche für gewöhnlich eine kleinere Signalhöhe im Periodogramm besitzen. Zusätzliche Signale im Periodogramm können aufgrund der Periodizität der Beobachtungen (jede Nacht, YETI-Kampagnen von etwa einer Woche pro Monat) bei diesen Frequenzen, oder Vielfachen davon auftreten (\rightarrow Abbildung 2.11).

Methode der kürzesten Pfadlänge (“Stringlength”)

Eine weitere Methode ist die Suche nach der kürzesten Pfadlänge. Während Methoden der Fouriertransformation oder *GLS* nach sinusoiden Signalen suchen, ist diese Methode unabhängig vom Verlauf der Lichtkurve. Für jede zu testende Periode werden die Daten in Phase gefaltet und danach der Abstand der in Phase benachbarten Daten-

punkte berechnet (Dworetsky 1983). Die Pfadlänge L ergibt sich aus der Summe dieser Abstände zu:

$$L_{mess} = \sqrt{(m_1 - m_N)^2 + (\varphi_1 - \varphi_N)^2} + \sum_{i=1}^{N-1} \sqrt{(m_{i+1} - m_i)^2 + (\varphi_{i+1} - \varphi_i)^2} \quad (2.12)$$

mit der Helligkeit m_i und Position im phasengefalteten Raum φ_i des i -ten Datenpunktes bei insgesamt N Datenpunkten. Die erwartete Pfadlänge berechnet sich mittels

$$L_{erw} = L_0 + 0,34 \left(\epsilon - \frac{\epsilon^2}{2} \right) \left(N - \sqrt{\frac{10}{\epsilon}} \right) \quad , \quad (2.13)$$

wobei N die Anzahl der Datenpunkte und ϵ den Mittelwert der Messfehler (Fehler der einzelnen Datenpunkte der Lichtkurve) bezeichnen. L_0 ist die zu erwartende Pfadlänge für fehlerlose Daten und abhängig von der Form des Signales (Dworetsky 1983). Die Publikation gibt für den Fall einer Sinuskurve $L_0 = 1,4637$ und für einen Sägezahn $L_0 = 2,0$ an.

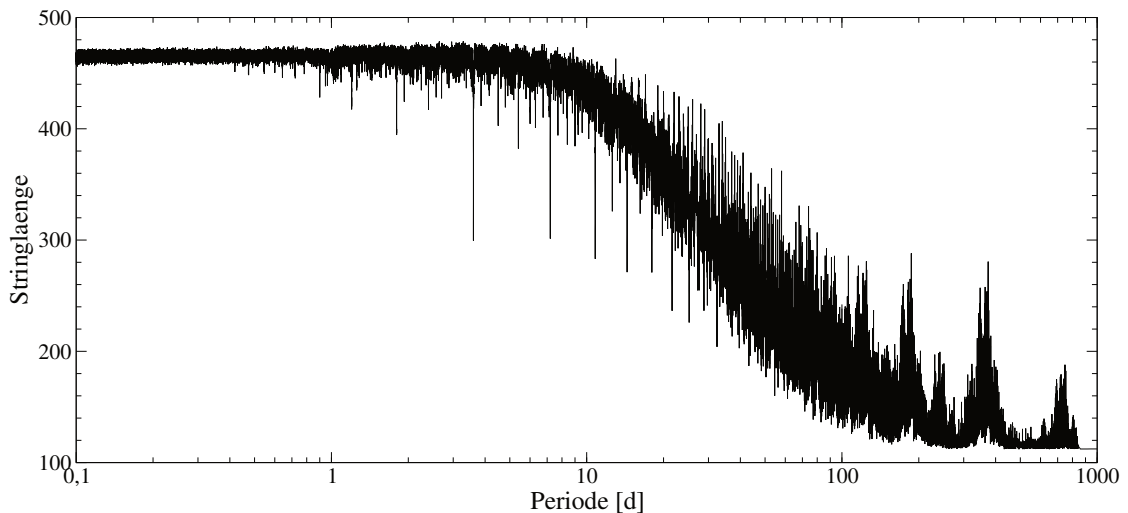


Abbildung 2.11: Die Pfadlänge in Abhängigkeit der zur Faltung verwendeten Periode für Stern 1110, ein bedeckungsveränderlicher Stern mit einer Orbitperiode von 3,6012 Tagen. Das Minimum bei dieser Periode, aber auch die Aliasperioden bei Vielfachen und ganzzahligen Teilern sind gut zu erkennen. Für Perioden größer als 10 Tage fällt die Kurve aufgrund geringerer Datenabdeckung ab, wobei die Perioden bei etwa $\frac{1}{2}$, 1 und 2 Jahren aufgrund der sich jährlich wiederholenden Beobachtungskampagnen wieder etwas höhere Signale zeigen. Die minimale Pfadlänge von 112 ergibt sich, wenn sich keinerlei Beobachtungszeiträume (unterschiedliche Nächte) im phasengefalteten Raum überlagern.

Das verwendete Programm stammt von Christopher Broeg (private Kommunikation). Die Pfadlänge in Abhängigkeit der Periode wurde automatisch analysiert. Ab-

bildung 2.11 zeigt dabei ein typisches Pfadlängen-Periodogramm. Die geringere Pfadlänge für größere Perioden ergibt sich daher, dass Daten verschiedener Nächte sich im phasengefalteten Raum nicht mehr überschneiden, sondern vorwiegend nebeneinander liegen und dadurch die Pfadlänge kürzer wird. Die Minima konnten daher nicht global gesucht werden, sondern es wurde nach signifikanten Minima relativ zur Umgebung gesucht. Dazu wurde das Periodogramm in Intervalle mit einer Breite von 5% der Periode eingeteilt und nach dem Minimum in diesem Intervall gesucht. In der Umgebung außerhalb des Minimums wurden Mittelwert und Standardabweichung bestimmt und darüber die Tiefe und Signifikanz dieser Periode bestimmt. Aliasperioden wurden ignoriert. Für die signifikanten Perioden wurden die Lichtkurven in Phase gefaltet und diese Diagramme manuell bewertet.

Suche nach Transitsignalen - Kasten-Anpassung

Transitsignale können in erster Näherung mittels eines Kastenprofils genähert werden. Das heißt innerhalb einer konstanten Lichtkurve gibt es einen Bereich, in welchem die Helligkeit auf einen niedrigeren Wert abfällt. Für jeden Stern wurde nach solchen Stellen gesucht. Dabei wurden sowohl der Beginn als auch die Dauer des möglichen Transits variiert. Das im Rahmen dieser Arbeit geschriebene Programm passt dabei die konstanten Bereiche des Kastens (innerhalb und außerhalb des Transits) an die Daten an, das heißt die Helligkeit dieser Bereiche wird bestimmt und die Signifikanz des Helligkeitsunterschiedes berechnet. Gesucht wurde nach Signalen mit einer Länge zwischen 30 min und 5 h, welche mindestens 3σ Tiefe besaßen. Mindestens 3 Datenpunkte mussten im Transit liegen. Wurden mehrere, sich überschneidende Transits gefunden, so wurde derjenige mit dem minimalen χ^2 ausgegeben.

Die Lichtkurven aller signifikanten Signale wurden daraufhin dargestellt und manuell bewertet. Die meisten gefundenen Signale wurden von bedeckungsveränderlichen Sternen hervorgerufen. Aber auch einige rotations- und pulsationsveränderliche Sterne konnten mit Hilfe der Kasten-Anpassung gefunden werden. Die beiden, später in der Arbeit vorgestellten Transitkandidaten wurden mittels der Kasten-Anpassung gefunden, wobei der Kandidat mit dem tieferen Helligkeitseinbruch (\rightarrow Kapitel 3) schon zuvor bei der manuellen Betrachtung der Lichtkurven gefunden wurde (Errmann 2010).

Transitkandidat 1 – Stern 3218

Der erste Transitkandidat in Trumpler 37 wurde 2009 von Gracian Maciejewski und dem Autor dieser Arbeit unabhängig von einander in den STK-Daten gefunden. Bis zum Zeitpunkt dieser Arbeit war der das Signal zeigende Stern 2M21385603+5711345 mit einer scheinbaren Helligkeit von $R \approx 15$ mag noch nicht näher untersucht worden, allerdings fanden sich Daten in den Himmelsdurchmusterungen. So wurden die Werte für die Eigenbewegung aus den Katalogen UCAC4 (Zacharias u. a. 2013) und PPMXL (Roeser u. a. 2010), sowie jene der Photometrie im Infraroten aus dem 2MASS Katalog (Skrutskie u. a. 2006) verwendet.

Untersuchungen zur Mitgliedschaft in Trumpler 37, Spektraltyp und Alter

Die Werte für die Eigenbewegung sind in Tabelle 3.1 aufgelistet. Dabei wurden die Werte des UCAC4 und PPMXL Katalogs mit der Eigenbewegung des Sternhaufens aus Marschall & van Altena (1987) verglichen. Letztere geben die Eigenbewegung von Trumpler 37 in Richtung der Hauptachsen der Verteilung an, welche um 48° gegenüber des Himmelsnordpols gedreht ist. Daher wurden die Katalogeigenbewegungen ebenfalls um diesen Winkel gedreht. Die Werte von beiden Katalogen sind konsistent mit Mitgliedschaft im Sternhaufen, aber aufgrund der Unsicherheiten der Eigenbewegung könnte der Stern auch eine Eigenbewegung von Null haben und ein Hintergrundobjekt sein.

Anhand der Beobachtungen in B , V , R , I und den infraroten Helligkeiten aus dem 2MASS Katalog (Skrutskie u. a. 2006) wurde mit der in Kapitel 2.1.5 gegebenen Methode der Spektralbereich des Sterns 3218 bestimmt. Es ergibt sich ein Bereich zwischen F3V und K0V, wobei ein F5V Stern mit $A_V = (1,773 \pm 0,048)$ mag und $d = (1190 \pm 140)$ pc am besten mit den intrinsischen Farbindices übereinstimmen würde. Dieser Stern ist innerhalb von 2σ mit den Werten für Trumpler 37 konsistent, während sich für die späteren Spektraltypen des Spektralbereichs eine Extinktion von bis zu 1 mag geringer als die Sternhaufenextinktion ($A_V = (1,67 \pm 0,09)$ mag) errechnet. Die

Tabelle 3.1: Die Eigenbewegung des Sterns 3218 im Vergleich zur Eigenbewegung des Sternhaufens. Dabei geben μ_X und μ_Y die Eigenbewegung in den Hauptachsen von Trumpler 37 an, für welche das Koordinatensystem wurde um 48° gedreht wurde. Alle Werte sind in mas/yr gegeben.

	μ_{RA}	μ_{Dec}	μ_X	μ_Y
UCAC4	$0,1 \pm 3,4$	$-2,4 \pm 3,5$	$1,9 \pm 4,9$	$-1,5 \pm 4,9$
PPMXL	$-4,4 \pm 4,0$	$1,9 \pm 4,0$	$-4,4 \pm 5,6$	$-2,0 \pm 5,6$
Trumpler 37			$0,1 \pm 1,9$	$-0,2 \pm 2,8$

Untersuchung wurde ebenfalls für die Leuchtkraftklassen *III* und *I* durchgeführt, wobei letztere schon in Kapitel 2.1.5 ausgeschlossen werden konnte. Leuchtkraftklasse *III* ist sehr unwahrscheinlich, da die Extinktion für alle Lösungen ($0,6 \dots 0,7$ mag) deutlich geringer als die von Trumpler 37 ist, sich jedoch eine Distanz weit hinter Trumpler 37 ($6 \dots 7$ kpc) ergibt. Des Weiteren wurde der Stern 3218 im infraroten und optischen Farb-Helligkeits-Diagramm, zusammen mit den Mitgliedssternen von Trumpler 37, in Abbildung 3.1 dargestellt. Es wurde *R*, *V* und *I* für das Diagramm im optischen verwendet, da für diese Bänder die Sensitivität der CCD größer war und die Beobachtungen mit dem gleichen Referenzfiltersystem kalibriert wurden. Der Stern liegt dabei im Bereich anderer Mitgliedssterne, allerdings außerhalb des dichtesten Bereichs. Anhand der Lage in der Nähe der 50 Myr-Isochrone ergibt sich ein Alter älter als Trumpler 37 (≈ 4 Myr). Eine Mitgliedschaft kann jedoch allein von den Daten noch nicht ausgeschlossen werden.

Analyse der Lichtkurven

Eine erste Abschätzung der Periode des Transitkandidaten wurde mittels der STK-Daten im *R*-Band durchgeführt, da diese Daten den längsten Beobachtungszeitraum bei gleichzeitig großer Anzahl an Beobachtungen und großer photometrischer Präzision abdecken. Dazu wurden der Algorithmus von Lomb-Scargle, sowie der Stringlängen-Algorithmus verwendet (Kapitel 2.5.1). Der Periodenunterschied zwischen den verschiedenen Methoden ist nicht signifikant. Im Mittel ergibt sich $P = 1,36491(4)$ d. Die Untersuchung wurde unter Verwendung der *R*-Daten der anderen Teleskope wiederholt, welche zu konsistenten Ergebnissen von $P = 1,36497(8)$ d führt. Der größere Fehler liegt

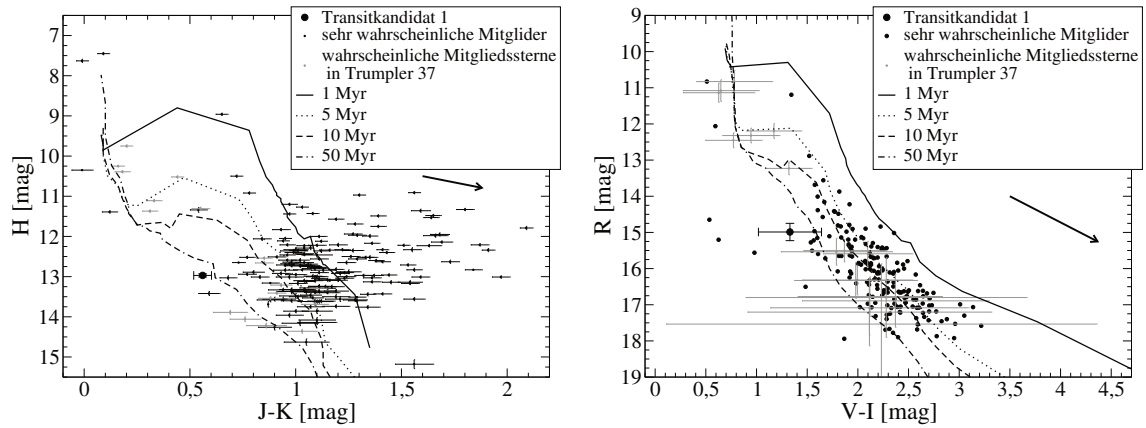


Abbildung 3.1: Farb-Helligkeits-Diagramm aus den infraroten 2MASS Helligkeiten, bzw. aus den gemessenen scheinbaren Helligkeiten in V , R und I . Zusätzlich zum Stern 3218 (gefüllter Kreis im unteren linken Bereich) wurden die Mitgliedssterne von Trumpler 37 (aus Errmann u. a. (2013), allerdings ohne die Sterne, welche nur anhand der Eigenbewegung zu Mitgliedern bestimmt wurden) eingetragen. Dabei wurden im optischen Diagramm die Fehler für die sehr wahrscheinlichen Mitgliedern aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen, sie befinden sich in der Größenordnung der wahrscheinlichen Mitgliedern. Zusätzlich sind die Isochronen für 1, 5, 10 und 50 Mio. Jahre aus Siess u. a. (2000) eingetragen, welche für die Entfernung zu Trumpler 37 von 870 pc und die mittlere Sternhaufenextinktion von $A_V = 1,7$ mag, unter Verwendung der Extinktionsverhältnisse aus Rieke & Lebofsky (1985), angepasst worden. Die Richtung und Stärke der Rötung ist durch den Pfeil gegeben. Die starke Streuung der Sterne im infraroten Diagramm ist im Infrarotexzess aufgrund des Staubs in den protoplanetaren Hüllen begründet.

dabei in einem geringeren Signal zu Rausch Verhältnis begründet. Die Beobachtung mehrerer Transits nach einem langen Zeitraum würde die Genauigkeit noch einmal verbessern.

In Abbildung 3.2 sind die R -Band Lichtkurven des Transits dargestellt. Dabei sind sowohl die phasengefalteten Lichtkurven der Einzelteleskope als auch aller Teleskope abgebildet. Die Daten wurden mit der Periode von $P = 1,36489$ d in Phase gefaltet und anschließend im phasengefalteten Raum in 100 Intervallen ($\hat{=}$ 0,01 Phasenschritten) geteilt und in jedem Intervall die Datenpunkte zu einem Datenpunkt zusammengefasst. Dabei wird der gewichtete Mittelwert für Helligkeit und Phase berechnet, wobei die Fehler der Helligkeit als Wichtung verwendet werden. Die Standardabweichung zum gewichteten Mittelwert wird als Fehler verwendet. Vor der Mittlung werden alle Ausreißer, welche außerhalb einer 3σ -Begrenzung um den gewichteten Mittelwert

liegen, verworfen. Diese Methode ist als “Binning” bekannt. Damit kann das Signal-zu-Rausch Verhältnis verbessert, sowie die Anzahl an Rechenschritten bei der Analyse verringert werden. Die Ergebnislichtkurve wurde mittels Korrektur anhand der sich überschneidenden Beobachtungszeiträume erstellt (Variante II (d) in Abschnitt 2.3). Es zeigt sich eine starke Abhängigkeit der Lichtkurve von der Anzahl der Datenpunkte, welche pro Intervall zusammengefasst wurden und dem verwendeten Teleskop, wie in Abbildung 3.2 zu sehen ist. So standen beispielsweise für das Lulin 1 m Teleskop genau so viele Daten wie für das Rozhen 0,6 m Teleskop zur Verfügung, trotzdem ist die Streuung der Lichtkurve bei Letzterem größer. Dies kann mit den unterschiedlichen Teleskopdurchmessern, unterschiedlich transmittierender Optik und dem verwendeten CCD, inklusive Ausleseelektronik erklärt werden. Die STK steuerte fast 13000 Datenpunkte bei, während Tenagra 2 440 und Lulin 1 m 250 Beobachtungen durchführten (wobei Tenagra durch den Mosaikmodus mit 6 Feldern insgesamt 6 Mal mehr Datenpunkte beigesteuert hat, bei Lulin 1 m mit dem 2 x 2 Mosaik sind es 4 Mal so viele). Diese drei Teleskope haben ähnliche Messfehler, allerdings sind die Lichtkurven des Sterns 3218 der letzteren beiden Teleskope, in Phase gefalteten, nicht vollständig.

In Abbildung 3.3 sind die Signale für die Farben B , V , R und I dargestellt. Dabei zeigt sich, dass die Lichtkurven für B und V stark streuen und nicht vollständig sind. Im Falle des V -Bandes liegt die Ursache in der deutlich geringeren Anzahl der Beobachtungspunkte begründet, während im B -Band die gegenüber der geringeren Sensitivität des CCD zu kurz gewählte Belichtungszeit die Hauptursache für die große Streuung der zusammengefassten Datenpunkte ist. Es wurden für alle Filter die gleichen Belichtungszeiten verwendet, allerdings ist die Empfindlichkeit der CCD in blau geringer als für längere Wellenlängen (\rightarrow Abbildung 3 in Mugrauer & Berthold 2010).

Die Daten der STK des Transits im R -Band wurden in Intervalle von 0,002 zusammengefasst und mittels der Webseite der *ETD* (“Exoplanet Transit Database”²⁰, Poddaný u. a. 2010) und dem IDL Skript TAP (“Transit Analysis Package”, version 2.104 Gazak u. a. 2012) analysiert. *ETD* gibt dabei die Transittiefe und Dauer des Transits aus, während TAP einige Parameter des Orbits bestimmt: Inklination i , das Verhältnis aus großer Halbachse zum Sternradius a/R_\star und das Radienverhältnis R_P/R_\star . TAP nutzt Algorithmus EXOFAST (Eastman u. a. 2013) mit welchem ein Transitmodell (Mandel & Agol 2002) an die Lichtkurven anpasst. Die Fehler werden mittels Markov-Chain-Monte-Carlo Simulationen bestimmt. Zusätzlich wurden die Daten des I -Bandes

²⁰Abgerufen und modelliert im Juni 2013

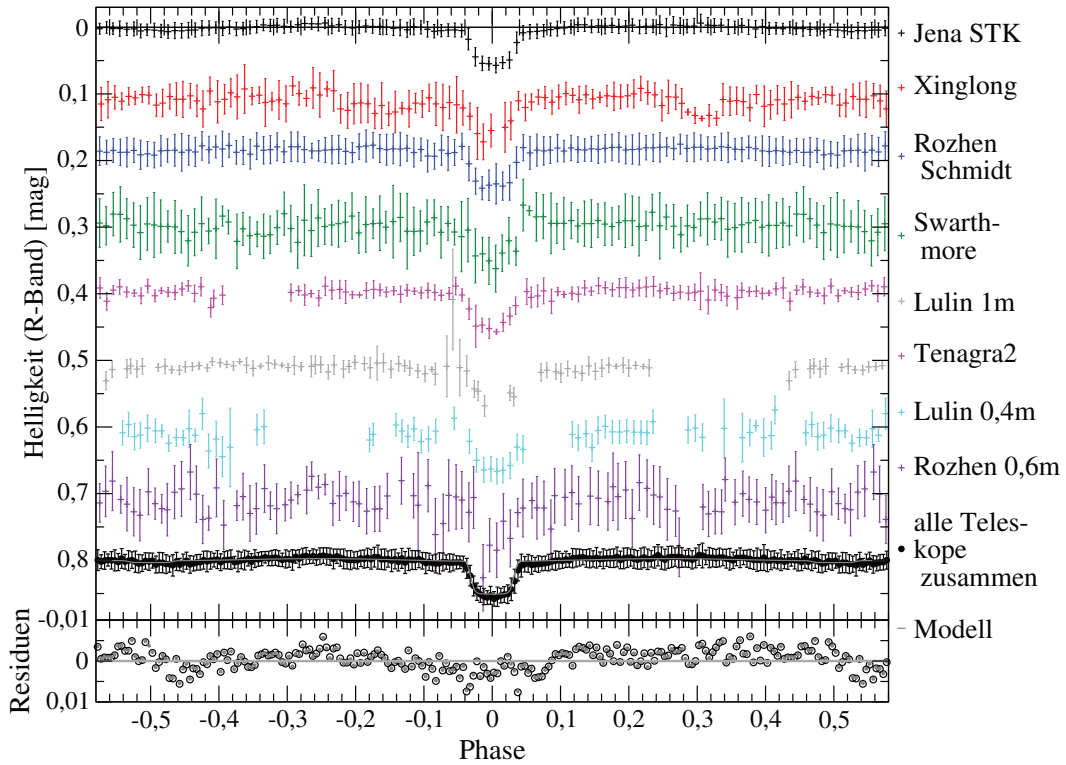


Abbildung 3.2: Lichtkurven des Transitkandidaten 1 in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37. Zum einen wurde nach Teleskopen unterschieden und zum anderen alle Daten gemeinsam verwendet. Alle Daten mit einem Fehler kleiner als 80 mmag wurden mittels gewichtetem Mittelwert gebinnt. Für die Einzelteleskope wurden dafür 100 Intervalle und für die gesamte Lichtkurve 200 Intervalle verwendet. Aufgrund der Fehlergrenze wurden 413 Datenpunkte aussortiert, beim Anwenden der 3σ -Begrenzung weitere 20. Der Helligkeitseinbruch bei $\varphi = 0,3$ des Xinglong Teleskops liegt an der geringeren Datenanzahl in diesem Bereich, wodurch sich die leichte Streuung zwischen den Nächten weniger auswirkt (\rightarrow Kapitel 2.3). Zusätzlich ist das Ergebnis der Anpassung eines Doppelsternsystems aus Kapitel 3.4 für die Lichtkurve aller Teleskope (graue Linie) dargestellt. Es wurden die Residuen für beide Modelle gegeben (schwarze Kreise für die Anpassung mit $a = 6,1 R_{\odot}$, graue, gefüllte Kreise für $a = 5,6 R_{\odot}$).

in 0,005 breite Intervalle zusammengefasst und mit *ETD* ausgewertet. Die Ergebnisse sind zusammen mit den Ergebnissen aus Kapitel 3.3.1 in Tabelle 3.2 zusammengefasst.

Während in der Lichtkurve im *R*-Band keine signifikante Helligkeitsänderung eine halbe Periode vom Transit entfernt ($\varphi \approx 0,5$) auftritt, ist hingegen im *I*-Band eine deutliche Verdunkelung bei ($\varphi \approx 0,5$) zu erkennen. Dies bedeutet, dass die den Transit verursachende Komponente im System eine gegenüber des Hauptsterns nicht vernachlässigbare Helligkeit im roten Spektralbereich besitzt und daher kein Planet

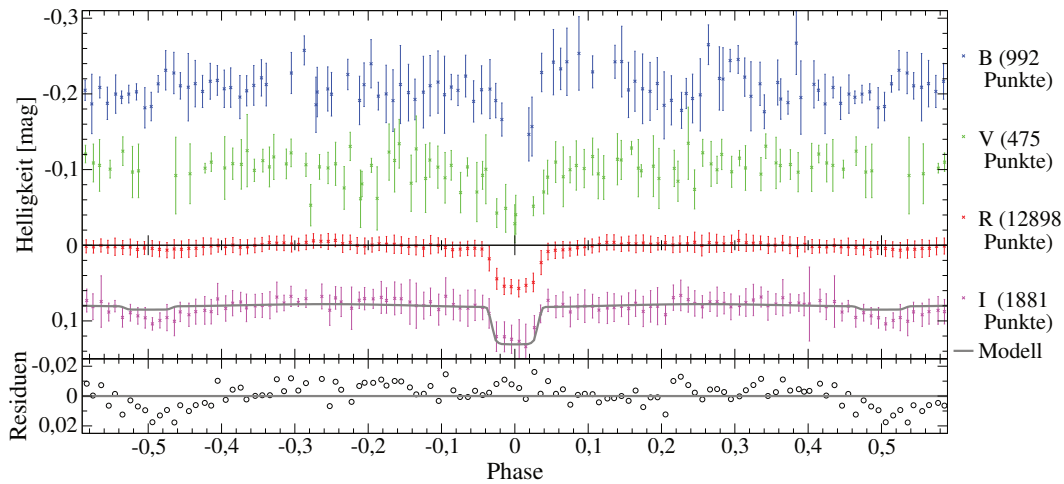


Abbildung 3.3: Lichtkurven des Transitkandidaten 1 in allen in der STK vorhandenen Filtern. Es sind nur STK Daten (B und V wurden nur von STK beobachtet), bzw. für das I -Band die Daten der STK, Rozhen Schmidt und Rozhen 0,6 m, der langen Belichtungszeit gezeigt. Die Zahlen in der Legende geben die in den jeweiligen Filtern verwendeten Datenpunkte an, welche in 100 Intervalle mit konstanter Größe zusammengefasst wurden. In den Fällen, in denen nur wenige Datenpunkte in einem Intervall liegen, kann der zusammengefasste Punkt im Diagramm an der Intervallgrenze liegen. Dadurch sind nicht alle Datenpunkte äquidistant (zum Beispiel B und V im Transit). Zusätzlich ist die Modelllichtkurve für das I -Band aus Kapitel 3.4 (graue Linie) dargestellt. Es wurden die mittleren Residuen gegeben.

oder brauner Zwerg sein kann. Da der Großteil der Datenpunkte im I -Band jedoch erst zum Ende der Beobachtungskampagne von Trumpler 37 aufgenommen wurden, waren Nachbeobachtungen an anderen Teleskopen schon zuvor ausgeführt worden. Auf diese wird im folgenden Abschnitt eingegangen.

Nachbeobachtungen

Da anhand der photometrischen Informationen allein keine genauen Eigenschaften des Sterns 3218 abgeleitet werden können und insbesondere die Hypothese eines falschen Signals (\rightarrow Kapitel 1.5) ausgeschlossen werden soll, wurden Nachbeobachtungen mit verschiedenen Methoden durchgeführt. Dabei wurde aus Gründen der Effizienz mit Beobachtungen an kleineren Teleskopen und kürzerer Beobachtungszeit begonnen. Ein genaueres Transitsignal wurde mittels Photometrie an einem Teleskop gewonnen, welches mehr Lichtsammelfläche als das Schmidtteleskop in Jena besitzt. Um die prinzipiellen Eigenschaften (insbesondere Mitgliedschaft in Trumpler 37 und Spektraltyp)

des Sterns 3218 zu bestimmen, wurde ein niedrig aufgelöstes Spektrum aufgenommen. Mit Hilfe von hoch aufgelöster Photometrie konnte ein bedeckungsveränderlicher Doppelsterne im Hintergrund ausgeschlossen werden. Hoch aufgelöste Spektren erlaubten die Bestimmung der Sternparameter (Effektivtemperatur, Oberflächenschwerkraft, Rotationsgeschwindigkeit). Weiterhin konnte der Radialgeschwindigkeitsorbit gelöst werden, welcher zu der Schlussfolgerung führte, dass es sich bei dem System um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern mit einem massearmen Stern als Begleiter handelt. Die Untersuchungen werden im Folgenden vorgestellt.

Lichtkurven und Spektroskopie mit dem Calar Alto 2,2 m Teleskop

Lichtkurven

Um Transits mit besserem Signal zu Rausch Verhältnis aufzunehmen und die falsch-positiven Ursachen eines (überblendeten) bedeckungsveränderlichen Doppelsterns auszuschließen, sollten Lichtkurven des Transits in verschiedenen Filtern am Calar Alto Observatorium durchgeführt werden. Es wurde Beobachtungszeit für MOSCA²¹, einem Instrument für (Multi-Objekt-) Spektroskopie und Photometrie, am 3,5 m Teleskop beantragt. Aufgrund von technischen Problemen mit dem Teleskop konnten die genehmigten Beobachtungsnächte jedoch nicht mit diesem Instrument durchgeführt werden. Zwei Beobachtungen wurden auf das 2,2 m Teleskop verlegt, wovon jedoch eine Beobachtung aufgrund von bewölktem Himmel nicht durchgeführt werden konnte. Dementsprechend wurde nur eine Lichtkurve mit dem Instrument CAFOS²², dem Fokalreduktor²³ und Spektrograph für leuchtschwache Objekte, aufgenommen. Die Beobachtung wurde am 2010-07-27 im *I*-Band durchgeführt. Um die Auslesezeit zu minimieren wurden beim Auslesen 2 x 2 px zu einen Pixel zusammengefasst. Außerdem wurde nur ein 201 x 201 px großer Bereich des CCD ausgelesen. Um möglichst viel Licht in einer Belichtung zu gewinnen ohne die Aufnahme zu saturieren, wurde die Belichtungszeit an die Beobachtungsbedingungen angepasst. Sie betrug aufgrund der Änderung der Luftmasse und Transparenz der Erdatmosphäre zwischen 40 und 70 s. Insgesamt 238 Aufnahmen wurden während 4,8 h aufgenommen. Nach der Beobach-

²¹“Multi Object Spectrograph for Calar Alto”

²²“Calar Alto Faint Object Spectrograph”

²³Mittels Fokalreduktor wird die Brennweite des Teleskops reduziert um das Gesichtsfeld zu vergrößern.

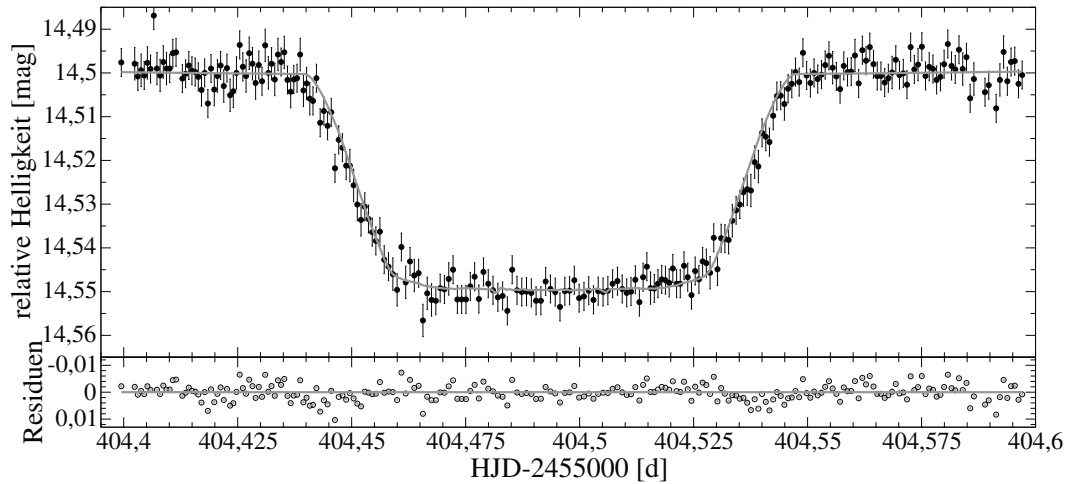


Abbildung 3.4: Lichtkurve des Transitkandidaten im I -Band, aufgenommen mittels CAFOS²² am Calar Alto 2,2 m Teleskop. Zusätzlich ist die Modelllichtkurve für die Anpassung des Doppelsternsystems aus Kapitel 3.4 (graue Linie) dargestellt. Es wurden die Residuen für beide Modelle gegeben (schwarze Kreise für $a = 6,1 R_{\odot}$, graue Kreise für $a = 5,6 R_{\odot}$).

tung wurden die Daten mittels Bias-Niveau korrigiert. Da der Detektor mit flüssigem Stickstoff gekühlt wird, ist das Dunkelstromniveau so gering ($< 1 \frac{e^-}{\text{min}}$), dass keine Korrektur notwendig ist. Auf eine Weißlichtkorrektur wurde verzichtet, da aufgrund fast perfekter Nachführung die Sterne im Beobachtungszeitraum weniger als $0,5 \text{ px}$ wanderten und dementsprechend die Pixel-zu-Pixel Variationen keinerlei Einfluss auf den Verlauf der Lichtkurve nehmen (\rightarrow Maciejewski u. a. 2011b,a). Im Anschluss wurde die Aperturphotometrie mit der optimalen Apertur von $2,44 \text{ px} \hat{=} 2,59''$ und anschließend die differentielle Photometrie, wie in Abschnitt 2.2 erläutert, durchgeführt. Es wurden sieben verschiedene Vergleichssterne verwendet, welche ähnliche Wichtungen zwischen 10% und 18% besaßen. Die Ergebnislichtkurve ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

Die Lichtkurve wurde ebenso wie der R -Band Transit mittels *ETD* und *TAP* analysiert und die Ergebnisse in Tabelle 3.2 zusammengefasst. Da ein Teleskop mit kleinerem Spiegeldurchmesser, als ursprünglich beantragt benutzt wurde, war die Zahl der gesammelten Photonen geringer und dementsprechend das Rauschen der Lichtkurve etwas höher, als vor der Beobachtung geplant. Am 3,5 m Teleskop wäre das Teleskop geringfügig defokussiert worden, um mehr Licht je Aufnahme zu sammeln (Southworth u. a. 2009). Im Vergleich zu den R -Band Daten der STK ergibt sich eine größere Tiefe, welche jedoch innerhalb der Unsicherheit von 2σ konsistent ist. Alle anderen Parameter sind konsistent im 1σ Bereich. Die gemessenen Orbitparameter sind ebenfalls konsistent mit einem substellarem Begleiter.

Tabelle 3.2: Eigenschaften aus den Anpassungen der Transitlichtkurven von *R*- (STK) und *I*-Band (STK, Calar Alto 2,2 m) mit *ETD* und TAP. Aufgrund der großen Streuung von STK *I* wurde TAP nicht darauf angewendet.

		STK (<i>R</i> -band)	STK (<i>I</i>)	Calar Alto (<i>I</i>)
<i>ETD</i>	Tiefe Δm [mmag]	$54,5 \pm 0,8$	46 ± 3	$51,8 \pm 0,5$
	Dauer t_{trans} [min]	$162,7 \pm 1,5$	160 ± 7	$159,8 \pm 0,8$
TAP	i [°]	$85,1^{+2,5}_{-1,9}$		$85,2^{+2,5}_{-1,9}$
	a/R_A	$4,35^{+0,23}_{-0,24}$		$4,36^{+0,22}_{-0,24}$
	R_B/R_A	$0,2023^{+0,0056}_{-0,0059}$		$0,2019^{+0,0058}_{-0,0060}$

Spektroskopie

Neben der Lichtkurve wurde niedrig aufgelöste Spektroskopie mit Hilfe des Instruments CAFOS am 2010-08-26 durchgeführt. Dazu wurde des R-100 Grism²⁴ verwendet und Spektren zwischen 5900 und 9000 Å gewonnen. Die Auflösung des Grisms beträgt 2 Å/px. Als Spaltbreite wurden $70 \mu\text{m} \hat{=} 0,82''$ verwendet, um die spektrale Auflösung des Instruments vollständig zu nutzen. Dadurch wird ein Auflösungsvermögen von $\mathcal{R} = 1600$ erreicht. Zwei Spektren mit jeweils 1800 s Belichtungszeit wurden gewonnen. Zusätzlich wurde der O7V Stern HD 217086 als spektrophotometrischer Standard beobachtet.

Vor der Auswertung der Daten mussten vereinzelte Bilddateien repariert werden, da es in den Aufnahmen zu einem Versatz der Pixel kam und die Spektren oder Weißlichtaufnahmen vereinzelt um ein Pixel zur Seite verschoben waren. Vermutlich gingen beim Auslesen des CCD oder der darauf folgenden elektronischen Bearbeitung einzelne Pixel verloren oder wurden doppelt gezählt. Die korrigierten Aufnahmen wurden bzgl. des Bias korrigiert und danach die Spektren mit Hilfe der IRAF-Routine APALL extrahiert. Die Wellenlängenkalibration²⁵ erfolgte mit den in der selben Nacht gewonnenen Hg-He-Rb Kalibrationsaufnahmen. Die durch kosmische Strahlung verursachten Linien im Spektrum wurden manuell entfernt und anschließend die beiden Einzelspektren kombiniert.

²⁴Gitterprisma, bei welchem ein optisches Gitter und ein Prisma kombiniert wurden, R-100 bedeutet dabei eine Auflösung $\mathcal{R} = 100 \text{ \AA/mm}$.

²⁵Transformation zwischen Pixel und Wellenlänge

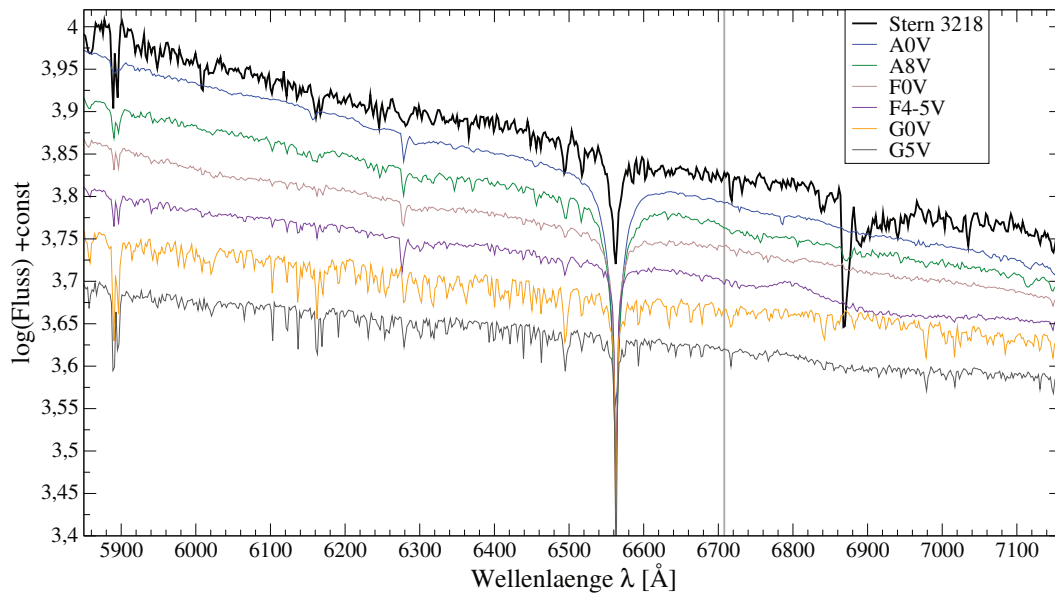


Abbildung 3.5: Spektrum des Sterns 3218, aufgenommen mit CAFOS am Calar Alto 2,2 m Teleskop (breite schwarze Linie). Die atmosphärische Extinktion wurde mit Hilfe eines Standardsterns (HD 47839) korrigiert. Unterhalb des Sternenspektrums befinden sich die Spektren von verschiedenen Vergleichssterne aus Valdes u. a. (2004) im Spektralbereich A0V bis G5V (dünne farbige Linien). Die vertikale graue Linie markiert den Bereich der Lithiumabsorption bei 6707,8 Å.

Das Spektrum von HD 217086 wurde mit den Katalogspektren des O7V Stern HD 47839 (Valdes u. a. 2004) sowie des O7,5V Stern HD 44811 (Silva & Cornell 1992) verglichen, welche den selben Spektraltyp besitzen. Es wurde die Funktion bestimmt, mit welcher das beobachtete Spektrum in die Katalogspektren überführt werden kann. Mit dieser Funktion wurde das Spektrum des Sterns 3218 von den Einflüssen durch die Erdatmosphäre und der wellenlängenabhängigen Transmission des Teleskops korrigiert. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Standardsternen. Das Spektrum ist in Abbildung 3.5 dargestellt. Da nur die Kontinuumverläufe betrachtet wurden, sind die tellurischen Absorptionsbanden weiterhin vorhanden.

Anhand des Spektrums wurde der Spektraltyp auf verschiedene Weisen bestimmt. Zum einen ergibt sich aus dem direkten Vergleich der Kontinuumverläufe in Abbildung 3.5 ein Spektraltyp im Bereich A8V. Werden zum anderen die markanten Linien, wie $H\alpha$ (6563 Å) und Fe (6495 Å), betrachtet, so ergibt sich ein deutlich späterer Spektraltyp (später F- bis zeitiger G-Typ). Weiterhin wurden die vorhandenen Linien mit SPTCLASS (SPeCTral CLASSificator code5, Hernandez u. a. 2015) angepasst. Das

Programm bietet die Möglichkeit für späte Spektraltypen, G-Sterne und Herbig AeBe Sterne Kataloglinien an die Spektren anzupassen. Allerdings lagen nur wenige dieser Kataloglinien im Wellenlängenbereich des CAFOS-Spektrum. Es konnten Spektraltypen später als K3 mittels der Anpassung an späte Spektraltypen ausgeschlossen werden, während das Programm für G-Sterne anhand der CaI Linie (8162 Å) Spektraltypen früher als G0...G1 bevorzugte und für Herbig AeBe Sterne anhand der HeI Linie (6681 Å) einen Spektraltyp von A6 vorschlug. Die Ursache dafür, dass sich die Ergebnisse für Linienform und -tiefe deutlich von jenen aus der Steilheit des Kontinuums unterscheiden kann im Beobachtungsmodus begründet liegen. Um die Beobachtungszeit optimal zu nutzen, wurde der lange Spalt von CAFOS so gedreht, dass gleichzeitig Spektren von zwei Sternen gewonnen werden konnten. In Fall des Sterns 3218 betrug die Differenz zwischen verwendetem Winkel des Instruments (Spalts) und parallaktischem Winkel²⁶ zwischen 67° und 87°, während der Standardstern HD 217086 im parallaktischen Winkel beobachtet wurde (→ Abbildung 3.6). Für die Beobachtung bei einer Luftmasse von 1,09 und den Wellenlängenbereich des Spektrums ergibt sich, mittels Refraktionsrechner (“Refraction Calculator”)²⁷ des GTC (2015), eine differentielle Refraktion²⁸ von 0,1", was 12% der Spaltbreite entspricht. Wenn der Stern so im Spalt positioniert wurde, dass während der Beobachtung mehr blaues Licht in den Spalt fiel und dafür das rote Licht stärker vom Spalt blockiert wurde, so kann die größere Steilheit des Kontinuums dadurch erklärt werden. Daher sind die Linien, sowie die anderen Verfahren zur Bestimmung des Spektraltyps vertrauenswürdiger als der Verlauf des Kontinuums.

Es wurde keine signifikante Lithiumabsorption im Spektrum gefunden. Die obere Grenze der Absorption liegt bei $EW(\text{Li}) < 5 \text{ m}\text{\AA}$. Aufgrund der Nichtdetektion kann für Sterne mit Spektraltypen mit Temperaturen kälter als $T_{\text{eff}} = 7000 \text{ K}$ ein Alter jünger als 30 Myr ausgeschlossen werden (vgl. mit Abbildung 6 in Neuhäuser 1997). Sollte der Stern 3218 heißer als $T_{\text{eff}} = 7000 \text{ K}$ (bzw. früher als F2V) sein, könnte er das primordiale Lithium²⁹ bereits fusioniert haben und daher Mitglieder von Trumpler 37 sein. In früheren Untersuchungen von Trumpler 37 (Errmann u. a. 2013) wurde für einen Stern vom Spektraltyp F9 die Lithiumabsorption zu $EW(\text{Li}) = 100 \text{ m}\text{\AA}$ bestimmt (vgl. mit

²⁶Der parallaktische Winkel gibt an, wie weit sich für einen Stern die Richtung zum Himmelsnordpol von der Richtung zum Zenit unterscheidet. Im Meridian ist der Winkel 0°.

²⁷<http://gtc-phase2.gtc.iac.es/science/astroweb/atmosRefraction.php>, abgerufen im Dezember 2015

²⁸Die Erdatmosphäre sorgt für eine spektrale Aufspaltung des Lichts in zum Horizont senkrechter Ausrichtung.

²⁹Lithium, welches bei der Bildung der Atomkerne nach dem Urknall entstanden ist.

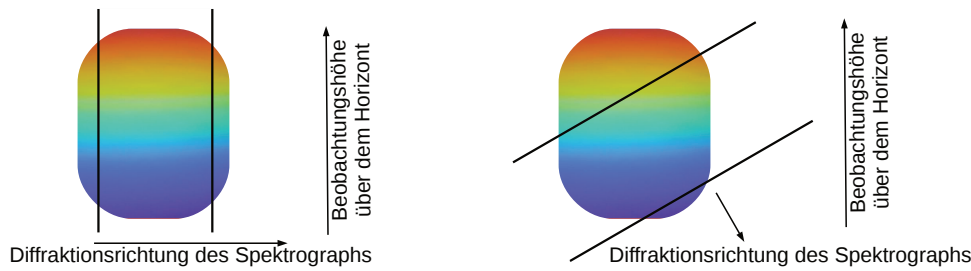


Abbildung 3.6: Da die Erdatmosphäre für Sternenlicht als dispersives Element wirkt, ist die Ausrichtung des Spalts eines Spektrographen von Bedeutung. Im linken Bild wird im parallaktischen Winkel beobachtet, das heißt der Spalt ist senkrecht zum Erdboden ausgerichtet. Im rechten Bild wurde der Spalt um 60° gegenüber dem parallaktischen Fall gedreht. Da der Spalt nicht ganz zentriert ist, wird mehr rotes als blaues Licht vom Spalt blockiert, entsprechend wird das Kontinuums steiler ausfallen.

Abbildung A.8, für frühere Spektraltypen existieren keine Literaturwerte). Für zeitige G-Sterne wurden Absorptionen bis $600 \text{ m}\text{\AA}$ gemessen, das heißt falls Stern 3218 einen Spektraltyp später als $\approx \text{F8}$ besitzt ist eine Mitgliedschaft Trumpler 37 unwahrscheinlich, da die gemessene Lithiumabsorption zu niedrig ist.

Hoch aufgelöste Infrarotaufnahmen mit IRCS und Adaptiver Optik

Um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern in der Punktbildfunktion des bisher untersuchten Sterns auszuschließen wurde ein räumlich hoch aufgelöstes Bild mit IRCS (“Infrared Camera and Spectrograph” Kobayashi u. a. 2000), unter Nutzung der Adaptiven Optik AO188, am Subaru Teleskop aufgenommen. Diese Beobachtung erfolgte im Servicemodus im Rahmen einer technischen Nacht am 2009-11-04, außerhalb eines Transits. Daten in den Bändern J , H und K wurden gewonnen, die Gesamtbelichtungszeiten betragen jeweils 300 s, 270 s und 250 s. Es wurde die höher auflösende Konfiguration verwendet (20 mas/px), womit ein Gesichtsfeld von $21'' \times 21''$ zur Verfügung stand. Während der Beobachtung betrug das Seeing $0,4''$ bis $0,8''$ und die Luftmasse erhöhte sich von 1,265 auf 1,278. Die Daten im Infraroten werden mit der “Dithering”-Technik aufgenommen. Dabei wurde das Teleskop nach jeder Belichtung leicht verschoben um die Aufnahmen vom Himmelshintergrund und von den nicht mit Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur korrigierbaren Detektormakeln zu bereinigen. Zusätzlich sind die Belichtungszeiten sehr kurz, da der Himmel im infraroten sehr hell ist und der De-

tektor ansonsten saturieren würde. Im Falle des Sterns 3218 wurden im J -Band fünf Einzelbilder zu je 60 s, in H fünf Aufnahmen zu 50 s und im K -Band neun Aufnahmen zu je 30 s Belichtungszeit gewonnen. Im Falle des K -Bandes wurden die Aufnahmen in einem 3×3 Mosaik aufgenommen um aus der Anzahl der Einzelaufnahmen möglichst viel Himmel zu beobachten, wobei benachbarte Beobachtungen um $2,5''$ in RA oder Dec verschoben wurden. In den anderen beiden Bändern wurde in einem 2×2 Mosaik mit Verschiebungen von $5''$, sowie einer Aufnahme im Zentrum des Mosaiks beobachtet. Aufgrund der begrenzten Wiederholrate der adaptiven Optik konnten im J -Band die Quellen direkt neben dem Stern 3218 (Objekt 2 und 3 in Abbildung 3.7) nicht aufgelöst werden. Die AO188 am Subaru Teleskop korrigiert die durch die turbulente Erdatmosphäre gestörte Wellenfront, indem ein deformierbarer Spiegel mit 188 verstellbaren Elementen anhand der von einem Wellensensor gemessenen, verbogenen Wellenfront ausgerichtet wird. Aufgrund der benötigten Rechenschritte kann höchstens eine Frequenz von 2 kHz (Takami u. a. 2006) für die Korrektur erreicht werden. Für dunkle Richtsterne oder schlechtes Seeing ist die Korrekturfrequenz geringer. Die turbulente Atmosphäre kann mit einer Schicht von einzelnen refraktiven Zellen der Größe $r_0 \propto \lambda^{\frac{6}{5}}$ (r_0 : Fried-Parameter) modelliert werden. Diese Zellen wandern aufgrund der Windgeschwindigkeit v_{Wind} . Daher ergibt sich eine Zeitskala der Änderung von $t_0 \propto \frac{r_0}{v_{\text{Wind}}}$. Entsprechend wird die Atmosphäre mit größeren Wellenlängen stabiler und die adaptive Optik kann die Luftunruhen besser ausgleichen und somit ein höheres Strehlverhältnis³⁰ erreichen.

Im ersten Schritt der Datenreduktion wurden unter Benutzung der Standard IRAF-Routinen durch Mittlung aus mehreren dieser Einzelaufnahmen je ein einziges Dunkelstrom- und Weißlichtbild erstellt. Die weitere Reduktion erfolgte mittels der JITTER-Routine aus dem “ESO eclipse software package” (Devillard 1997). Dabei wurde das Dunkelstrombild von den Aufnahmen abgezogen und die Aufnahmen durch das normierte Weißlichtbild geteilt. Die Software bestimmt die Größe Himmelshintergrund mittels Medianbildung der Einzelbeobachtungen und zieht diesen dann von den Aufnahmen ab. Im letzten Schritt werden die Aufnahmen anhand der vorhandenen Sterne ausgerichtet (das heißt, von der Verschiebung befreit) und addiert. Die reduzierten Aufnahmen sind in Abbildung 3.7 dargestellt. Im nächsten Schritt wurden die Helligkeiten aller Objekte innerhalb der YETI-Punktbildfunktion (PSF) bestimmt. Aufgrund des

³⁰Das Strehlverhältnis gibt an, wie groß der Anteil des Lichtes ist, welches im diffraktionslimitierten Bereich der Abbildung liegt.

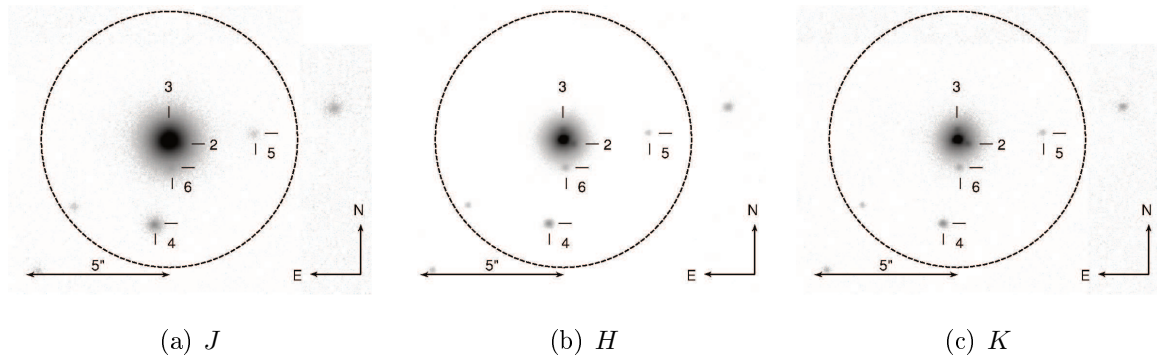


Abbildung 3.7: Die IRCS Aufnahmen im J -, H - und K -Band. Eingezeichnet sind jeweils die Apertur der YETI-Teleskope von $4,5''$ (gestrichelter Kreis) und die, neben dem Hauptstern (1), sichtbaren schwachen Quellen in der Apertur (2...6), wobei im J -Band die Sterne 2 und 3 nicht aufgelöst sind.

geringen Abstands der Quellen 2, 3 und 6 zum Hauptstern 1 konnte kein Aperturphotometrie durchgeführt werden. Auch PSF-Photometrie mit einem gaußförmigen Profil scheiterte, da die Sterne, aufgrund der Adaptiven Optik, keine gaußförmige Form besitzen. Durchgeführt wurde daher PSF-Photometrie unter Nutzung des Hauptsterns 1 als Vergleichs-PSF. Dazu kam die IDL Routine STARFINDER (Diolaiti u. a. 2000) zum Einsatz, mit welcher iterativ eine von den zusätzlichen Quellen befreite Punktbildfunktion extrahiert und anschließend an alle Quellen in den Aufnahmen angepasst wurde. Einige Abbildungen zu den Schritten befinden sich im Anhand in Abbildung A.9. Im ersten Schritt wurde eine azimuthal gemittelte Aufnahme des Hauptsterns gewonnen, in dem die Aufnahmen aus Abbildung 3.7 um den Stern in 2° Schritten gedreht und dann unter Verwendung von einer 3σ -Begrenzung aufaddiert wurde. Die azimuthal gemittelte Aufnahme wurde von der Originalaufnahme (**O**) abgezogen. In dieser, nur noch die zusätzlichen Quellen enthaltende, Aufnahme (**Q**) wurde (i:) die PSF vom aufgelösten Stern 5 an die Sterne 2...6 angepasst und daraus ein synthetisches Bild (**S**) dieser Sterne erstellt. Dieses Bild wurde (ii:) von der Originalaufnahme **O** abgezogen, wodurch nur noch die Punktbildfunktion des Hauptsterns übrig blieb (PSF 1), welche im Anschluss (iii:) extrahiert wurde. Da die vorherigen Schritte jedoch mit einer nicht perfekten PSF begonnen wurden, sind noch leichte Effekte der Sterne 2...6 vorhanden. Deshalb wurden die Schritte: (i) PSF 1 an die Sterne 2...6 in **Q** anpassen, (ii) das synthetische Bild (**S**) von **O** abziehen und (iii) die neue PSF 1 bestimmen, wiederholt. Die Iteration erfolgte mehrfach, bis das Residuenbild, bei dem von der Originalaufnahme der Fit aller Sterne mit der PSF 1 abgezogen wird, keine signifikanten Helligkeiten

im Bereich der Sterne mehr zeigt. Mit der optimalen PSF wurde die PSF-Photometrie durchgeführt und der Fluss aller Quellen 1...6 bestimmt.

Aus den instrumentellen Flüssen wurden die Helligkeiten für alle Objekte i in der Apertur berechnet ($m_i = -2,5 \log_{10}(F_i) + \Delta m$), so dass sie gemeinsam der Helligkeit für den Stern im 2MASS Katalog entsprechen ($\Delta m = 2,5 \log_{10}(\sum F_i) + m_{2\text{MASS}}$). Die Apertur von 2MASS beträgt $4''$, so dass alle nummerierten Quellen betrachtet werden. Da 2MASS im K_S -Band beobachtete während IRCS einen K -Filter³¹ verwendet, wurden die 2MASS K_S - in K -Helligkeiten anhand der Gleichung in Carpenter (2003) umgewandelt. Tabelle 3.3 listet die gemessenen Werte für J , H , and K auf. Da von allen schwachen Objekten Spektraltyp, Extinktion und Entfernung unbekannt sind, wurde für verschiedene Spektraltypen die Helligkeit in das R -Band extrapoliert. Dazu wurden, wie in Kapitel 2.1.5 erläutert, die intrinsischen Farben aus Kenyon & Hartmann (1995) und (Currie u. a. 2010), sowie die Verhältnisse der Extinktionen aus Rieke & Lebofsky (1985) verwendet. Die Quellen 2...6 wurden auf die Hypothese hin überprüft, dass sie bedeckungsveränderliche Doppelsterne bestehend aus zwei ähnlichen Komponenten sind. Dabei konnten als Ursache für das Transitsignal alle Sterne der Leuchtkraftklasse I sowie alle Sterne mit früherem Spektraltyp als A der Leuchtkraftklasse III ausgeschlossen werden, da die Radien dieser Sterne zu Kontaktsystemen führen würden, welche in der Lichtkurve nicht beobachtet wurden. Für die Quellen 2...6 ergibt sich als hellste R -Band Helligkeit $R = (19,3 \pm 0,8)$ mag. Ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern dieser Helligkeit, mit zwei Komponenten welche sich sehr ähnlich sind, würde aufgrund der Überblendung mit dem Hauptstern einen maximalen Helligkeitseinbruch von $\Delta m = 22_{-11}^{+22}$ mmag erreichen. Da dieser Einbruch kleiner als die gemessene Tiefe von $\Delta m = 54$ mmag ist, kann die Hypothese eines bedeckungsveränderlichen Doppelsterns im Hintergrund als unwahrscheinlich angesehen werden. Allerdings könnten sich innerhalb der inneren $0,2''$ um den Hauptstern herum noch Quellen befinden, welche aufgrund des Photonengeräusches und des Auflösungsvermögens des Subaru Teleskops mit AO188 nicht ausgeschlossen werden können. Damit ein undetektierter Doppelstern das gemessene Transitsignal erzeugen kann, müsste er eine Helligkeit von $16,5$ mag im R -Band besitzen. Dies könnte der Fall für ein zum Hauptstern gebundenes Doppelsternsystem im maximalen Abstand von $a = 170$ au sein.

³¹Das K_S -band umfasst den Wellenlängenbereich $1990 \dots 2310 \text{ \AA}$, während das K -Band von 2030 \AA bis 2370 \AA reicht (Tokunaga u. a. 2002). Die Umrechnung erfolgt mit $(K_S)_{2\text{MASS}} = K + (-0,039 \pm 0,007) + (0,001 \pm 0,005)(J - K)$ (Carpenter 2003).

Tabelle 3.3: Helligkeiten für die Quellen in Abbildung 3.7. Die erste Zeile listet die Literaturwerte aus dem 2MASS Katalog. Da die Aperturphotometrie von 2MASS alle Sterne 1...6 beinhaltet, müssen die aufaddierte Flüsse aller 6 Objekte der 2MASS Helligkeit entsprechen. Anhand der Helligkeitsdifferenzen der Quellen in Abbildung 3.7 wurden die infraroten Helligkeiten bestimmt und anschließend ins R -Band extrapoliert (\rightarrow Text). Es sind die berechneten Bereiche aufgelistet. Die Fehler betragen bis zu $\Delta R = 1,0$ mag. Stern 3 wurde im J -Band aufgrund zu schlechter AO nicht aufgelöst.

	J [mag]	H [mag]	K [mag]	R [mag]
		berechnet		extrapoliert
2MASS	13,454 (29)	12,968 (35)	12,925 (40)	
1	13,503 (29)	13,053 (35)	12,925 (40)	
2	17,761 (34)	16,881 (36)	16,427 (41)	21,0...22,6
3		17,411 (37)	17,187 (43)	19,4...21,0
4	17,838 (30)	17,245 (36)	17,016 (41)	19,3...20,9
5	19,231 (37)	18,552 (40)	18,105 (48)	22,6...24,2
6	19,651 (57)	18,613 (42)	18,224 (52)	22,1...23,7

Einige Drei- oder Mehrfachsysteme mit ähnlichen Abständen sind bekannt, zum Beispiel HD 188753 (12,3 au Portegies Zwart & McMillan 2005), Mintaka (100 au Tokovinin 1997), Gliese 667 (>230 au Anglada-Escudé u. a. 2012), μ Herculis (285 au Dommanget & Nys 2002) oder 40 Eridani (400 au Heintz 1974).

In den weiteren Rechnungen muss darauf geachtet werden, dass die Transittiefe, aufgrund des Extralichts der Hintergrundobjekte, real etwas größer sein muss, als es aus den Lichtkurven bestimmt wurde. Eine $R = 18,3$ mag helle Quelle im Hintergrund würde das Radienverhältnis der sich bedeckenden Komponenten R_B/R_A um 1% erhöhen (Gleichung 1.5).

Hoch aufgelöste Spektroskopie mit Hectochelle

Zur Bestimmung der stellaren Eigenschaften von variablen Sternen in Trumpler 37 wurden Spektren von einigen, den Stern 3218 beinhaltenden Stern mit Hectochelle (Szentgyorgyi u. a. 1998), dem Multi-Objekt Spektrographen mit hoher Auflösung am MMT, gewonnen. Die Beobachtung fand am 2010-11-21 statt. Beobachtet wurde in der Echelleordnung um das Mg b Triplet (bei $\approx 5200\text{\AA}$) um viele Metalllinien zu gewinnen.

Die Auswahl der Ordnung erfolgt dabei mit Hilfe des Filters RV31 (Szentgyorgyi u. a. 2011). Der Wellenlängenbereich der verwendeten Ordnung umfasst 5150 bis 5300 Å und wird dabei mit einer Auflösung von $\mathcal{R} = 75000$ ($0,034 \text{ \AA/px}$) abgedeckt. Die Daten wurden mit der Auswerterroutine am CfA (“Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics”) von Susan Tokarz reduziert und umfasste Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur sowie das Entfernen der Effekte kosmischer Strahlung. Weiterhin wurde durch die Routine die Extraktion und Wellenlängenkalibration der Spektren durchgeführt. Das reduzierte Spektrum ist in Anhang A.6 gezeigt.

Da die Form und Tiefe der Absorptionslinien von der chemischen Zusammensetzung, sowie den physikalischen Eigenschaften der Sternatmosphäre abhängt, kann durch den Vergleich der Form von Linien und Banden zwischen Spektren und Referenzspektren prinzipiell die Häufigkeit verschiedener Elemente und die Effektivtemperatur der Sternatmosphäre, sowie die Oberflächenschwerkraft bestimmt werden. Aus der zusätzlichen Verbreiterung der Linien, die sich bei rotierenden Sternen durch gleichzeitig stattfindende Beobachtung der sich auf den Beobachter zu bewegenden und entfernenden Oberfläche ergibt, kann die projizierte Rotationsgeschwindigkeit bestimmt werden. Zur Bestimmung der Parameter wurden künstlichen Vergleichsspektren mit jeweils unterschiedlicher Temperatur, Oberflächengravitation und Rotationsgeschwindigkeiten an jedes Hectochelle Spektrum angepasst. Es wurde solare Metallizität angenommen. Die 51359 künstlichen Vergleichsspektren stammen dabei aus der Datenbank des CfA und basieren auf Modellatmosphären von R. L. Kurucz. Die Schrittweiten sind $\Delta T_{\text{eff}} = 250 \text{ K}$, $\Delta \log g = 0,5 \text{ dex}$, $\Delta [\text{m}/\text{H}] = 0,5 \text{ dex}$ und für $\Delta(v \sin i)$ je nach Wert 1, 2, 4, 5, 10 oder 20 km s^{-1} . Um die Rechenzeit zu verkürzen, wurde zuerst mit einem groben Raster verschiedener T_{eff} und $v \sin i$ bei fixiertem $\log g = 4,5 \text{ dex}$ die grundsätzliche Lage im Parameterraum gesucht und anschließend alle Vergleichsspektren in diesem Bereich angepasst. Zum Anpassen wurden die IRAF-Routine XCSAO (Kurtz & Mink 1998) aus dem RVSAO Paket (Kurtz & Mink 1998), entwickelt vom “Smithsonian Astrophysical Observatory (SAO)”, verwendet. Aus den 168 Vergleichsspektren, welche mit dem Spektrum des Sterns 3218 am besten übereinstimmten (92% bis 93% Korrelationsstärke), wurden die Mittelwerte der Parameter der Vergleichsspektren berechnet. Es ergaben sich $T_{\text{eff}} = (6120 \pm 450) \text{ K}$, $\log g = (4,28 \pm 0,53) \text{ dex}$, die Rotationsgeschwindigkeit $v \sin i = (44 \pm 11) \text{ km s}^{-1}$ und die Radialgeschwindigkeit $RV = (1,3 \pm 1,9) \text{ km s}^{-1}$. Aus der Oberflächenschwerkraft lässt sich auf einen Hauptreihenstern schließen, welcher aufgrund der Temperatur einen Spektraltyp von etwa F9V mit einer möglichen

Streuung zwischen F4 und G6 besitzt. Der Spektraltyp ist daher konsistent mit den aus den obigen Methoden bestimmten Werten. Aus der projizierten Rotationsgeschwindigkeit lässt sich die Rotationsperiode unter Annahme eines Hauptreihensterns obigen Spektraltyps, sowie $\sin i \approx 1^{32}$ mittels $v = \frac{2\pi R_\star}{P}$ zwischen 1,0 und 1,6 Tagen abschätzen. Aufgrund der gemessenen Orbitperiode von $P \approx 1,4$ d ist eine gebundene Rotation³³ möglich. Nach Gleichung 6.1 in Zahn (1977) kann die gebundene Rotation innerhalb einer Zeitspanne, die dem Alter von Trumpler 37 entspricht, erreicht werden. Eine Altersabschätzung des Sterns mit Hilfe der Gyrochronologie ist nicht möglich, da Wechselwirkung mit dem Begleiter stattfand (\rightarrow Fußnote 33).

Hoch aufgelöste Spektroskopie mittels HIRES am Keck Teleskop

Da die Hypothese eines falsch-positiven Signals unwahrscheinlich erschien, wurden in zwei halben Nächten am 2010-09-26 und 2010-09-28 insgesamt fünf hoch aufgelöste Spektren des Sterns 3218 aufgenommen, um den Orbit und die Begleitermasse zu bestimmen. Zusätzlich wurden noch insgesamt 7 Spektren von 3 bedeckungsveränderlichen Doppelsternen und 3 Spektren des Radialgeschwindigkeitsstandardsterns HD 182488 beobachtet. Die Beobachtungen wurden mit HIRES (“High Resolution Echelle Spectrometer”, Vogt u. a. 1994) am Keck-I Teleskop durchgeführt. HIRES besitzt in dem verwendeten Setup ein Auflösungsvermögen von $\mathcal{R} \sim 50000$ und deckt den Wellenlängenbereich $\lambda \in [3650 \text{ \AA}, 8000 \text{ \AA}]$ ab. Dabei sind die Echelleordnungen auf drei CCD verteilt (im weiteren Verlauf blau, grün und rot genannt, je nachdem welchen Wellenlängenbereich die abgebildeten Ordnungen umfassen). Der rote CCD wurde nicht in die Auswertung mit einbezogen, da im Vergleich zu den anderen beiden CCD deutlich weniger Ordnungen zur Verfügung standen und in diesen zusätzlich viele terrestrische Absorptionslinien und -banden liegen. Des weiteren wurden Ordnungen mit Wellenlängen von $\lambda < 4000 \text{ \AA}$ nicht betrachtet, da in diesen nicht genug Fluss gesammelt werden konnte. Es wurde das “Decker” C2 verwendet, das heißt die Spaltbreite des

³²Diese Annahme wird zum Beispiel von Campante u. a. (2016) gestützt, welche 25 sonnenähnliche Sterne mit erd- und neptunähnlichen Planeten untersuchten und keine Abweichung der Rotationsachse von der Orbitausrichtung fanden, während hingegen Triaud u. a. (2010) nur in drei von sechs heißen Jupitern gleiche Ausrichtung fanden.

³³ Die Orbitperiode und die Rotationsperiode entsprechen einander. Durch die Gezeitenwirkung verlangsamt sich die Rotation und der Abstand zwischen beiden Objekten vergrößert sich, bzw. im Falle, dass die Orbitperiode ist kleiner als die Rotationsperiode ist, nimmt die Rotationsperiode und der Abstand ab.

Spektrographen betrug $0,861''$. Stern 3218 wurde in den beiden Nächten insgesamt fünf Mal beobachtet, wobei jedes Spektrum in einer einzelnen Aufnahme von 4200 s, bzw. 3300 s (dritte Spektrum der ersten Nacht) belichtet wurde. Die Beobachtungszeiträume wurden so gelegt, dass jeweils eine Beobachtung in der Nähe der maximalen Radialgeschwindigkeit erfolgte und durch die anderen Belichtungen ein möglichst langes Stück des Orbits abgedeckt wurde. Vor und nach jeder Belichtung wurden ThAr-Spektren zur Kalibration aufgenommen.

Die Reduktion der Spektren erfolgte mittels einer Auswerteroutine am Fachbereich für Astronomie der Universität von Kalifornien durch Andrew W. Howard. Sie umfasste Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur, sowie das Entfernen der Einschläge kosmischer Strahlung auf den Detektor. Danach wurden die Spektren extrahiert und im Rahmen dieser Arbeit weiter bearbeitet. Die reduzierten Spektren wurden vom Autor anhand der ThAr-Aufnahmen wellenlängenkalibriert und die nicht automatisch bei der Reduktion entfernten Linien, welche aufgrund der kosmischer Strahlung entstanden, manuell ausgeschnitten. Für die Untersuchung auf Lithiumabsorption war die Belichtungszeit zu gering.

Für die Bestimmung der stellaren Eigenschaften aus den Spektren wurden die künstliche Vergleichsspektren des *PHOENIX NextGen2* Modellen (Hauschildt u. a. 1999) für Zwergsterne mit den HIRES Spektren kreuzkorreliert. Zuvor mussten die *NextGen2* Spektren noch angepasst werden. Dazu wurde das Programm SPECTRUM (Version 2.76, Gray 2010) verwendet, mit welchem erst die Linienverbreiterung durch stellare Rotation zu den künstlichen Vergleichsspektren hinzugefügt und anschließend an die Auflösung von HIRES adaptiert wurde, indem die die Vergleichsspektren mit einer gaußförmigen Linienspreizfunktion gefaltet wurden. Zur Kreuzkorrelation wurde die Routine XCSAO aus dem IRAF-Paket RVSAO verwendet und analog zu dem in Kapitel 3.3.3 beschriebenen Verfahren vorgegangen. Dabei wurde jede Ordnung einzeln optimiert. Die Ordnung 11 und 12 des grünen CCD wurden, aufgrund von mit allen anderen Ordnungen inkonsistenten Radialgeschwindigkeiten, nicht in die Auswertung mit einbezogen. Die Inkonsistenz ist auf stark ausgeprägte Absorptionslinien bei $\lambda \in [5888 \text{ \AA}, 5898 \text{ \AA}]$ zurückzuführen. Die Ergebnisse waren konsistent zu den aus dem Hectochelle Spektrum gewonnenen Werten. Es ergab sich $T_{\text{eff}} = (6300 \pm 300) \text{ K}$, $\log g = (4,4 \pm 0,4) \text{ dex}$ und $v \sin i = (52 \pm 4) \text{ km s}^{-1}$. Die Metallizität wurde auf solare Metallizität gesetzt, da aufgrund des Signal-zu-Rausch Verhältnis (SNR) keine signifikante Bestimmung möglich ist und für die meisten Sterne der Milchstraße $[\text{m}/\text{H}] \approx 0 \text{ dex}$ zu erwarten ist. Das dritte

Spektrum des blauen CCD wurde dabei für die Mittelwertbildung und im weiteren Verlauf nicht weiter betrachtet, da die Ergebnisse der Kreuzkorrelation stark von denen der anderen Spektren und CCD abweichen ($T_{\text{eff}} = (5800 \pm 500) \text{ K}$, $v \sin i = (13 \pm 10) \text{ km s}^{-1}$). Die Ursache liegt an einem geringeren SNR ($\lesssim 10$) aufgrund kürzerer Belichtungszeit, höherer Luftmasse und schlechterem Seeing als bei den anderen Aufnahmen. Anhand der sich ergebenden Werte kann auf einen Hauptreihenstern vom Spektraltyp F4 bis G0 geschlossen werden. Dies ist konsistent mit den bisherigen Untersuchungen.

Gleichzeitig zu den anderen Parametern wurde die Radialgeschwindigkeit und baryzentrische³⁴ Korrektur bestimmt. Da die RV jedoch abhängig vom $v \sin i$ der verwendeten Vergleichsspektren ist und somit die mittlere Radialgeschwindigkeit aller Kreuzkorrelationen eine größere Streuung zeigen, wurden alle HIRES Spektren mit dem künstlichen Vergleichsspektrum der obigen Eigenschaften korreliert. Für jedes Spektrum wurden die Radialgeschwindigkeiten zusammengefasst, wobei wurden die Wichtung anhand der Korrelationsstärke erfolgte. Dabei zeigte sich ebenfalls eine signifikante Abweichung der RV des blauen CCD des dritte Spektrums der ersten Nacht, für welches sich $RV = (11,2 \pm 2,8) \text{ km s}^{-1}$ ergibt, während $RV = (22,5 \pm 2,4) \text{ km s}^{-1}$ für den grünen CCD ist. Aus den oben genannten Gründen wurden die Radialgeschwindigkeiten des blauen CCD-Detektors nicht für die Berechnung des gewichteten Mittelwertes des dritten Spektrums verwendet. Weiterhin wurde die Kreuzkorrelation einem künstliche Vergleichsspektrum des CfA ($T_{\text{eff}} = 6000 \text{ K}$, $[\text{m}/\text{H}] = 0,002 \text{ dex}$, $\log g = 4,5 \text{ dex}$ und $v \sin i = 30 \text{ km s}^{-1}$) durchgeführt durch Guillermo Torres (CfA) bereit gestellt wurde,

HIRES ist auf der rechten Nasmythplattform des Keck-I-Teleskops montiert. Aufgrund der Bewegung des Teleskops und der Temperaturänderung während der Nacht ist das Instrument über den Beobachtungszeitraum nicht stabil. Daher müssen eventuell auftretende RV -Verschiebungen anhand Radialgeschwindigkeitsstandardsternen bestimmt werden. Mit Hilfe des des Radialgeschwindigkeitsstandardsterns HD 182488 ($RV = -21.058 \text{ km s}^{-1}$), welcher als G9V-Stern besonders viele Absorptionslinien besitzt, wurden die systematischen Radialgeschwindigkeitsverschiebungen korrigiert. Die Ergebnisse für die absolute RV , berechnet aus den *PHOENIX NextGen2* Spektren,

³⁴Das Baryzentrum ist der Schwerpunkt des Sonnensystems. Aufgrund der Einflüsse von Rotation und Revolution der Erde auf die gemessenen Radialgeschwindigkeit, muss die RV bezüglich diesen Werts korrigiert werden.

Tabelle 3.4: Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HIRES Spektren nach Kreuzkorrelation mit *PHOENIX NextGen2*. Es wurde das gewichtete Mittel aus den Ordnungen 10...23 des blauen CCD (b) sowie die Ordnungen 1...10 und 13...16 des grünen CCD (g) verwendet. Für das dritte Spektrum ist der Wert getrennt nach den CCD angegeben, für die anderen CCD gibt es keine Signifikante Streuung.

$HJD - 2455000$	RV [km s ⁻¹]
466,7654	$10,8 \pm 2,3$
466,8157	$14,1 \pm 3,4$
466,9060	$22,5 \pm 2,4$ (g) $11,2 \pm 2,8$ (b)
468,9029	$-47,3 \pm 2,1$
468,9661	$-48,4 \pm 2,7$

sind in Tabelle 3.4 dargestellt. Unter Verwendung des CfA Vergleichsspektrums ergeben sich konsistente Werte, welche in Tabelle 4 in Errmann u. a. (2014) gegeben sind.

Aufgrund der Veränderungen der Radialgeschwindigkeit von etwa 70 km s⁻¹ kann es sich bei dem Begleiter nicht um ein Objekt mit substellarer Masse handeln. Da ein stellarer Begleiter eine nicht-vernachlässigbare Helligkeit gegenüber dem Hauptstern besitzt, wurde versucht die Radialgeschwindigkeit des Begleiters zu bestimmen. Dazu wurde die Anpassung der Vergleichsspektren unter Verwendung von zwei Spektren wiederholt. Der Hauptstern wurde auf $T_{\text{eff,A}} = 6300$ K, $(\log g)_A = 4,5$ dex, $[\text{m}/\text{H}] = 0,0$ dex und $(v \sin i)_A = 50$ km s⁻¹ gesetzt und verschiedene synthetische Spektren für die masseärmere Komponente dazu addiert. Letztere Spektren wurden zuvor unter Verwendung verschiedener Geschwindigkeiten v mittels $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ relativ zum Hauptstern verschoben. Dabei wurden die *NextGen2* Modelle im Bereich 2000...3500 K, $(\log g)_B = 4,5$ dex, $[\text{m}/\text{H}] = 0,0$ dex, und $(v \sin i)_B = 1...200$ km s⁻¹ genutzt, welche zwischen -500 und 500 km s⁻¹ in Schritten von 5 km s⁻¹ verschoben wurden. Die Anpassung mit *xcsao* lieferte jedoch keine genaueren Ergebnisse, so dass für den Begleitstern weder eine Einschränkung für die RV , noch die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften möglich war. Die Ursache liegt an der deutlich geringeren Helligkeit des Begleitsterns, so dass dessen Licht immer noch im Photonenrauschen des Hauptsterns untergeht. Somit können keine Parameter für den Begleiter abgeschätzt werden.

Lösung des Radialgeschwindigkeitsorbits unter Nutzung der Lichtkurven

Die vollständige Analyse des Systems wurde mit dem Programm PHOEBE (“PHysics Of Eclipsing BinariEs”, Version 0.31a, Prsa u. a. (2011), sowie Prša & Zwitter (2005)) durchgeführt. Dabei wurden die in Tabelle 3.4 gegebenen RV -Daten, die CAFOS Lichtkurve im I -Band (Kapitel 3.3.1), sowie die in Phase gefalteten und gebinnten YETI-Lichtkurven im R - und I -Band genutzt. Es wurde der Anleitung von Poddaný (2009) gefolgt. Für die Temperaturen der beiden Komponenten wurden $T_{\text{eff,A}} = 6300$ K und $T_{\text{eff,B}} = 3500$ K verwendet. Da für beide Sterne Konvektionszonen zu erwarten sind, wurden die Albedos auf 0,5 (Ruciński 1969) und die Koeffizienten für die Gravitationsverdunkelung auf 0,32 (Lucy 1968) gesetzt. Periode P , Mitte der Bedeckung HJD_0 und Inklination i wurden aus den Untersuchungen der Lichtkurven als Startwerte verwendet. Weiterhin wurden physikalisch sinnvolle Startwerte als Startwerte gewählt: große Halbachse $a = 8 R_{\odot}$, Massenverhältnis $\frac{M_B}{M_A} = 0,1$, Radialgeschwindigkeit des Systems ($\gamma = 0 \text{ km s}^{-1}$), Oberflächenpotentiale (10) und Leuchtkräfte (10) gewählt. Aufgrund der geringen Zahl von RV -Messungen wurde ein kreisförmiger Orbit angenommen. Dieser wird erwartet, da für ungestörte Orbits die eventuell vorhandene Exzentrizität aufgrund der Gezeitenkräfte abgebaut wird (Zahn 1977; Bodenheimer u. a. 2001), wobei dieser Vorgang auch mehr Zeit benötigen kann, als Trumpler 37 alt ist (Khaliullin & Khaliullina 2011).

Nach einer groben Kalibration des Modells wurden statt den Lichtkurven im phasengefalteten Raum die Lichtkurven im Zeitraum verwendet, um die Orbitperiode P und Mitte der Bedeckung HJD_0 zu optimieren. Im weiteren Verlauf wurden die mit diesen neuen Parametern bestimmten, in Phase gefalteten und zusammengefassten Lichtkurven genutzt. Aufgrund der fehlenden Messung der Radialgeschwindigkeiten des Begleiters kann keine eindeutige Lösung gefunden werden, da eine vergrößerte große Halbachse des Systems durch ein kleineres Massenverhältnis ausgeglichen werden kann. Dabei ergeben sich durch die gleichzeitige Anpassung der Oberflächenpotentiale und Leuchtkräfte nur kleine Veränderungen des χ^2 der Lichtkurven. Anhand der zuvor bestimmten Oberflächenschwerkraft und Effektivtemperatur, sowie der Untersuchung zum Spektraltyp ist nach Schmidt-Kaler (1982) für den Hauptstern eine Masse von $M_A = 1,33 \dots 1,07 M_{\odot}$ und ein Radius von $R_A = 1,35 \dots 1,08 R_{\odot}$ zu erwarten, unter

der Annahme, es handelt sich um einen Hauptreihenstern. Diese Ergebnisse werden für große Halbachsen von $a = 5,6 \dots 6,1 R_{\odot}$ bei der Anpassung durch PHOEBE erreicht. Dementsprechend wurden für diese beiden Grenzfälle die Anpassung an die verbleibenden Parameter durchgeführt. In beiden Fällen beträgt die Radialgeschwindigkeit des Systems $\gamma = (-13,78 \pm 0,13) \text{ km s}^{-1}$, welche konsistent mit der des Sternhaufens von $(-15,3 \pm 3,6) \text{ km s}^{-1}$ (Sicilia-Aguilar u. a. 2006b) ist. Ebenso ist die Inklination i konsistent mit dem mittels TAP bestimmten Wert (\rightarrow Tabelle 3.2). Die anderen beiden von TAP bestimmten Werte können aufgrund des Doppelsterncharakters nicht verglichen werden, da TAP für planetare Begleiter konzipiert ist und kein Licht des Begleiters vorsieht, daher die Berechnungen ungenau sind. Die Ergebnisse der Anpassung wurden in Tabelle 3.5 zusammengestellt. Des weiteren wurden die theoretischen Lichtkurven in Abbildung 3.2 (R -Band) und 3.3 (I -Band), sowie in Abbildung 3.4 (CAFOS) eingetragen. Das Modell der Radialgeschwindigkeit ist in Abbildung A.10 gezeigt. Anhand der bestimmten Massen und Radien kann auf einen Begleiter des Spektraltyps M5...M6 geschlossen werden. Die maximale Radiusänderung aufgrund der Sterne in der Apertur (\rightarrow Kapitel 3.3.2) von 1% liegt innerhalb der Fehler. Unter Nutzung eines kleineren Verhältnisses der Effektivtemperaturen $\frac{T_{\text{eff},A}}{T_{\text{eff},B}}$, zum Beispiel für $\frac{T_{\text{eff},A}}{T_{\text{eff},B}} = \frac{6000}{4000}$, stimmt das angepasste Modell signifikant besser mit der I -Band Lichtkurven vom YETI-Netzwerk überein, jedoch erhöhte sich das χ^2 für die R - (YETI) und I -Band Lichtkurve (CAFOS). Es ergeben sich dabei keine signifikanten Änderungen der Doppelsternparameter aus Tabelle 3.5.

Ergebnisse

Anhand der obigen Untersuchungen wurden die in Tabelle 3.5 gelisteten Parameter des Doppelsternsystems von Stern 3218 bestimmt. Der F4...G0 Hauptstern wird von einem massearmen Stern des Spektraltyps M5...M6 umkreist. Während die gemessenen Farben, der Spektraltyp und die γ -Geschwindigkeit mit Mitgliedschaft in Trumpler 37 konsistent sind, deutet der mit Hauptreihe konsistente Radius des massearmen Begleiters auf einen Stern auf ein Alter größer als das von Trumpler 37 hin, da auch bei einem konservativem Altern von 10 Myr Sternentstehungsmodelle Radien von $R \gtrsim 0,5 R_{\odot}$ vorherzusagen. Auch die Position im Farb-Helligkeits-Diagramm spricht gegen ein junges Alter. Daher kann eine Mitgliedschaft in Trumpler 37 ausgeschlossen werden. Die modellierten Radien der Hauptkomponente sind im Falle $M_A = 1,05 M_{\odot}$ etwa 5% größer als erwartet

Tabelle 3.5: Eigenschaften des Sterns 3218. Die Fehler für die Massen, Radien und Oberflächenschwerkkräfte der Einzelkomponenten werden von PHOEBE nicht bestimmt. Eine Abschätzung der Fehlerbereich dieser Größen war durch Variation der anderen Parameter (innerhalb deren Fehler) mit Hilfe von PHOEBE möglich. Es ergaben sich Fehler für M , R und $\log g$, welche innerhalb von ± 1 der letzten angegebenen Stelle liegen.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert	
System		Orbit		
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:38:56,1	P [d] ^c	$1,364895 \pm 0,000002$	
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:11:34	HJD_0 [d] ^c	$2455404,49349 \pm 0,00010$	
V [mag] ^a	$15,681 \pm 0,200$	i [°] ^c	$87,2 \pm 2,5$	
$B - V$ [mag] ^a	$0,949 \pm 0,077$	a/R_\odot	$5,6 \dots 6,0$	
$V - R$ [mag] ^a	$0,693 \pm 0,130$	Komponente	A	B
$V - I$ [mag] ^a	$1,330 \pm 0,129$	T_{eff} [K] ^{e,c}	6300 ± 300 ^e	$\lesssim 4000$ ^c
2MASS J [mag] ^b	$13,423 \pm 0,026$	$v \sin i$ [km s ⁻¹] ^e	52 ± 4	
2MASS H [mag] ^b	$13,048 \pm 0,033$	M [M_\odot] ^c	$1,05 \dots 1,38$	$0,22 \dots 0,26$
2MASS K [mag] ^b	$12,863 \pm 0,020$	R [R_\odot] ^c	$1,16 \dots 1,26$	$0,24 \dots 0,26$
γ [km s ⁻¹] ^c	$-13,78 \pm 0,13$	$\log g$ [dex] ^c	$4,3 \dots 4,4$	$4,9 \dots 5,0$
$EW(\text{Li})$ [mÅ] ^d	< 5	Spektraltyp	F4... G0 ^f	M5... M6 ^g

^a Jena STK, ^b aus Skrutskie u. a. (2006), ^c aus der Modellierung mit PHOEBE, ^d gemessen im CAFOS-Spektrum und in den HIRES-Spektren, ^e aus der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an das Hectochelle-Spektrum und die HIRES Spektren, ^f Vergleich T_{eff} mit Kenyon & Hartmann (1995), ^g Vergleich der Massen und Radien mit Schmidt-Kaler (1982)

(Tabelle 21 in Schmidt-Kaler 1982), während sich für $M_A = 1,38 M_\odot$ ein im Vergleich zur Literatur 10% zu kleiner Radius ergibt. Die aus den modellierten Werten unter Annahme gebundener Rotation und Übereinstimmung von Orbit- und Rotationsachse bestimmte Rotationsgeschwindigkeit von $(v \sin i)_A = \frac{2\pi R_A}{P} \sin i = (45 \pm 2) \text{ km s}^{-1}$ ist konsistent mit den aus der Kreuzkorrelation bestimmten Wert. Die Oberflächenschwerkraft des Modells stimmt ebenfalls mit dem Wert aus der Kreuzkorrelation überein. Die Ergebnisse wurden bereits zum Teil in Errmann u. a. (2014) veröffentlicht.

Transitkandidat 2 – Stern 523

Über die Suche nach Helligkeitsveränderungen in den Lichtkurven mit Hilfe der Kasten Anpassung (\rightarrow Kapitel 2.5.2) wurde ein weiterer Transitkandidat gefunden. Dieser besitzt einen deutlich geringeren Helligkeitseinbruch ($\Delta R = (11,7 \pm 0,5)$ mmag) als der Transitkandidat 1, ist jedoch mit einer Helligkeit von $R = 13,7$ mag heller. Der Stern 523 mit der Bezeichnung 2M21391197+5707281 wurde von Marschall & van Altena (1987) auf Eigenbewegung untersucht. Anhand der Eigenbewegung ist der Transitkandidat 2 vermutlich kein Mitglied in Trumpler 37, die Mitgliedswahrscheinlichkeit wurde mit 4% angegeben. Weitere detaillierte Untersuchungen wurden für den Stern zuvor nicht durchgeführt, es standen jedoch die gleichen Katalogdaten wie für den Transitkandidat 1 zur Verfügung (Eigenbewegung, Photometrie). Im infraroten und optischen Farb-Helligkeits-Diagramm (Abbildung 4.1) liegt der Stern außerhalb der Ansammlung der wahrscheinlichsten Mitglieder von Trumpler 37, allerdings nicht isoliert. Der Vergleich mit den Isochronen ergibt ein Alter größer als jenes Alter von Trumpler 37, dies ist jedoch auch für einige andere Mitgliedssterne der Fall. Beim Vergleich der Helligkeiten in B , V , R , I , sowie den infraroten Helligkeiten aus 2MASS (Skrutskie u. a. 2006) mit den intrinsischen Farben, unter Berücksichtigung der Extinktion, ergibt sich ein möglicher Spektralbereich von F7V bis G8V mit zugehöriger Extinktion von $A_V = 1,2 \dots 0,6$ mag.

Photometrie und Lichtkurven des YETI-Netzwerks

Neben dem Transitsignal mit Periode $P = (0,736867 \pm 0,000004)$ d (mittels Pfadlängen-Algorithmus \rightarrow Kapitel 2.5.1 bestimmt) zeigen die Lichtkurven aperiodische Variationen von etwa 10 mmag mit einer Dauer von mehreren Tagen in allen beobachteten Bändern. Aufgrund der deutlich längeren Zeitskala wird davon die Modellierung des Transitsignals jedoch nicht beeinflusst. Als Ursache konnten Beobachtungsbedingungen und die Datenauswertung ausgeschlossen werden. Daher liegen astrophysikalische Ursachen für die Variabilität nahe. In der Analyse des Transitkandidaten wurden die Helligkeitsveränderungen, welche länger als die Orbitperiode P sind, aus den Licht-

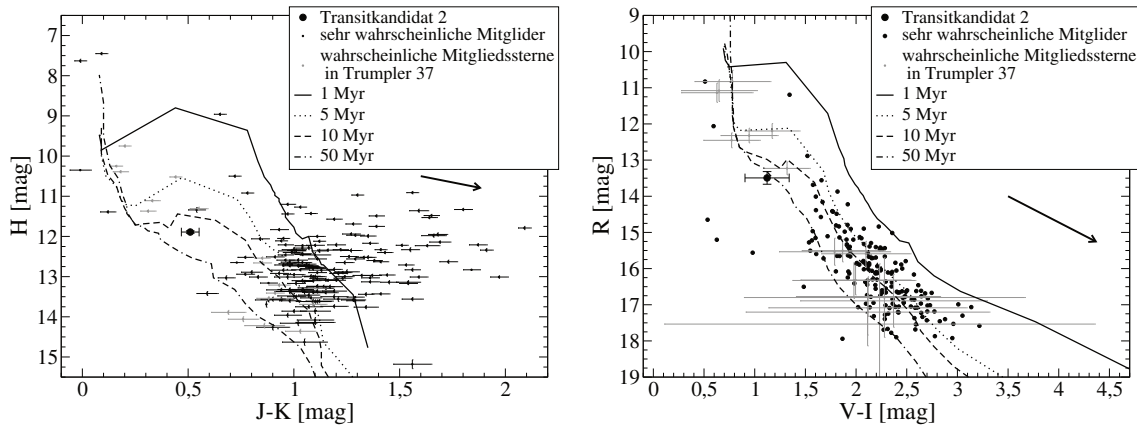


Abbildung 4.1: Farb-Helligkeits-Diagramm aus den infraroten 2MASS Helligkeiten, bzw. aus den gemessenen scheinbaren Helligkeiten in V , R und I . Zusätzlich zum Transitkandidat 2 wurden die Mitgliedssterne von Trumpler 37, einige Isochronen und die Rötung eingetragen. Weitere Erläuterungen befinden sich in Abbildung 3.1.

kurven entfernt, indem die Helligkeit im phasengefalteten Raum aneinander angepasst wurden (Variante II (e) in Abschnitt 2.3). Aufgrund der im Vergleich zu den Variationen viel kürzeren Orbitperiode kann eine präzise Lichtkurve für die Untersuchungen des Transitsignals erstellt werden. In den phasengefalteten Lichtkurven in Abbildung 4.2 ist die Bedeckung nur in den STK- und Rozhen Schmidt Daten zu sehen. Die Ursache ist in der Anzahl an Datenpunkten begründet, welche zu einem Punkt zusammengefasst werden konnten. So standen für die STK im Mittel mehr als 100 Einzelbeobachtungen pro Phasenintervall zur Verfügung. Während es für Rozhen Schmidt immerhin noch 45 Datenpunkte waren, konnten für die anderen Teleskope lediglich weniger als 10 Datenpunkte zusammengefasst werden. Daher bleibt die Streuung der Datenpunkte zu groß, um das geringe Signal der Bedeckung zu detektieren. Die Abhängigkeit der Transitform von der Wellenlänge, um eventuell andere Ursachen als Planetentransits für das Signal auszuschließen, konnte nicht durchgeführt werden, da hierfür nicht genug Daten zur Verfügung standen, um Lichtkurven ausreichender Qualität in den Filtern B und V zu erhalten (\rightarrow Abbildung 4.3). Mit Hilfe von *ETD* wurde die, in Phase gefaltete Bedeckung für das R - und I -Band der YETI-Daten analysiert. Im R -Band ergab sich eine Transitdauer von $t_{\text{trans}} = (83,4 \pm 1,8)$ min und ein Helligkeitseinbruch von $\Delta R = (11,7 \pm 0,5)$ mmag. Die Bedeckungsdauer im I -Band ist geringfügig kürzer ($t_{\text{trans}} = (77,5 \pm 3,2)$ min), die Bedeckung signifikant tiefer ($\Delta I = (16,4 \pm 1,3)$ mmag) als im R -Band. Beim Vergleich der Unsicherheit der Anpassung mit der Streuung und den

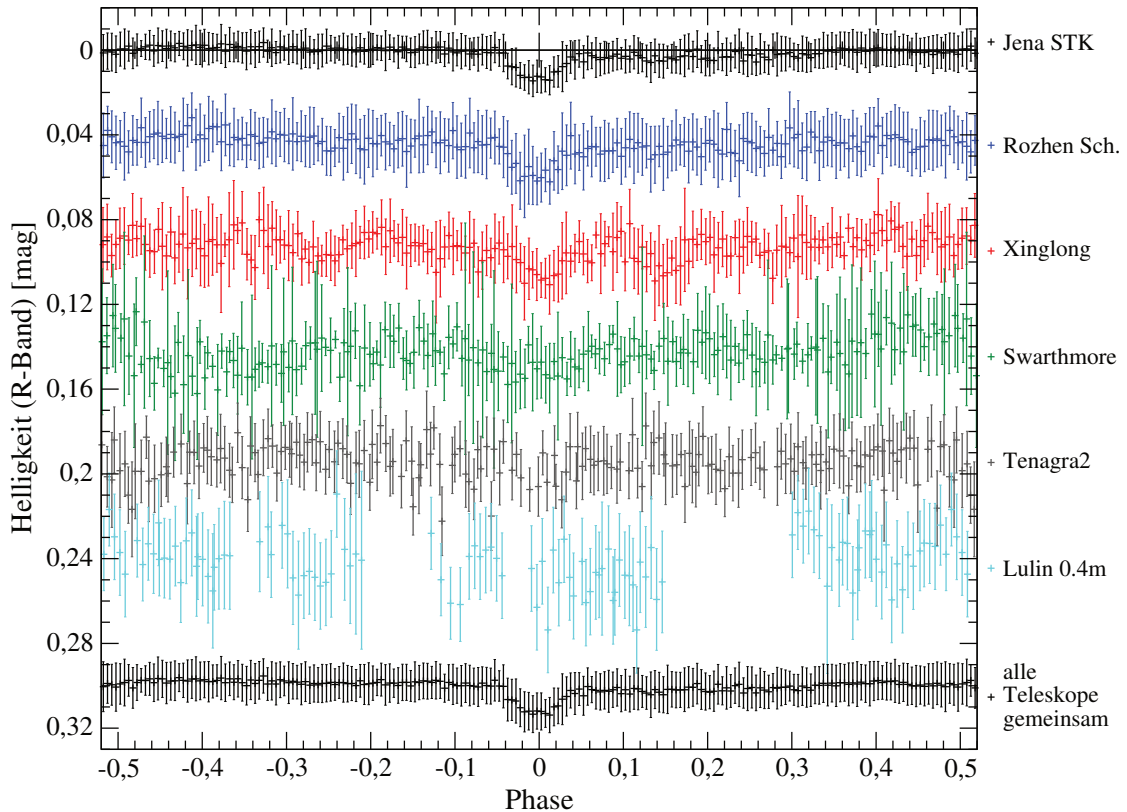


Abbildung 4.2: Phasengefaltete und gebinnten Lichtkurven des Transitkandidaten 2 im R -Band für die verschiedenen Teleskope und alle Teleskope zusammen. Alle Daten mit einem Fehler kleiner als 0,03 mag wurden mittels gewichtetem Mittelwert zusammengefasst. Sowohl für die Einzelteleskope als auch die gesamte Lichtkurve wurden 200 Intervalle verwendet. Aufgrund der Fehlergrenze wurden 486 der 40453 zur Verfügung stehenden Datenpunkte aussortiert, nach Verwendung der 3σ Grenze weitere 26.

Fehlern der Datenpunkte scheint der Wert von 1,3 mmag unterschätzt worden zu sein. Die bestimmten Mittelpunkte zwischen R und I weichen zwar um 2,4 min voneinander ab, sind innerhalb der Fehler jedoch konsistent.

Nachbeobachtungen

Für Stern 523 konnten noch nicht alle Nachbeobachtungen zur Bestimmung der Systemparameter, welche prinzipiell die gleichen Schritte wie für den Stern 3218 umfassen, durchgeführt werden. Die Schlüsse aus den bisher durchgeführten Beobachtungen werden im folgenden vorgestellt.

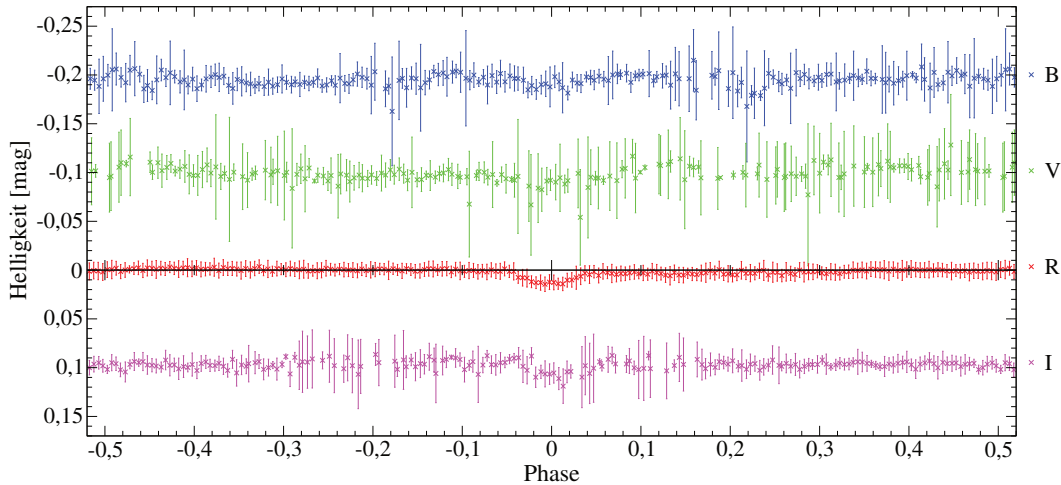


Abbildung 4.3: Phasengefaltete und in Intervalle zusammengefasste Lichtkurven des Transitkandidaten 2 in den verschiedenen Bändern. Für das B - und V -Band standen nur die Daten der STK zur Verfügung, im I -Band wurden STK, Rozhen Schmidt und Rozhen 0,6 m verknüpft. Für alle drei Filter sind die Effekte der geringeren Anzahl an Beobachtungsdaten zu sehen. Zum einen ist die Streuung größer und zum anderen ist der phasengefalteten Raum nicht vollständig abgedeckt, weswegen die Datenpunkte zum Teil nicht äquidistant sind.

Hoch aufgelöste Infrarotaufnahmen mit IRCS und Adaptiver Optik

Am 2012-09-26 wurde im Servicemodus mit dem Instrument IRCS am Subaru Teleskop unter Verwendung von adaptiven Optik jeweils eine hoch aufgelöste Aufnahme des Sterns 523 in den infraroten Filtern H und K gewonnen. Dazu wurden jeweils 5 Aufnahmen mit 60 s Belichtungszeit im “Dithering”-Modus in Form eines Kreuzes mit $4''$ Abstand zwischen den Aufnahmen aufgenommen. Die Datenreduktion und Photometrie wurden wie in Kapitel 3.3.2 durchgeführt. Die reduzierten Aufnahmen mit den detektierten Quellen in der Apertur der YETI-Teleskope sind in Abbildung 4.4 dargestellt. Aus den Flüssen wurden die Helligkeiten für alle Objekte in der Apertur der Art berechnet, dass die in der 2MASS-Apertur ($4''$) gemeinsam der Helligkeit für den Stern im 2MASS Katalog entsprechen. Aus den Werten für H und K wurden für verschiedene Spektraltypen die Helligkeit in das R -Band extrapoliert, analog wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben. Die gemessenen Helligkeiten und extrapolierten Werte in den optischen Bereich sind in Tabelle 4.1 gegeben. Es ist jedoch zu beachten, dass die Fehlerbereiche sehr groß sind, da nur der Farbindex $H - K$ beobachtet wurde. Zur Bewertung

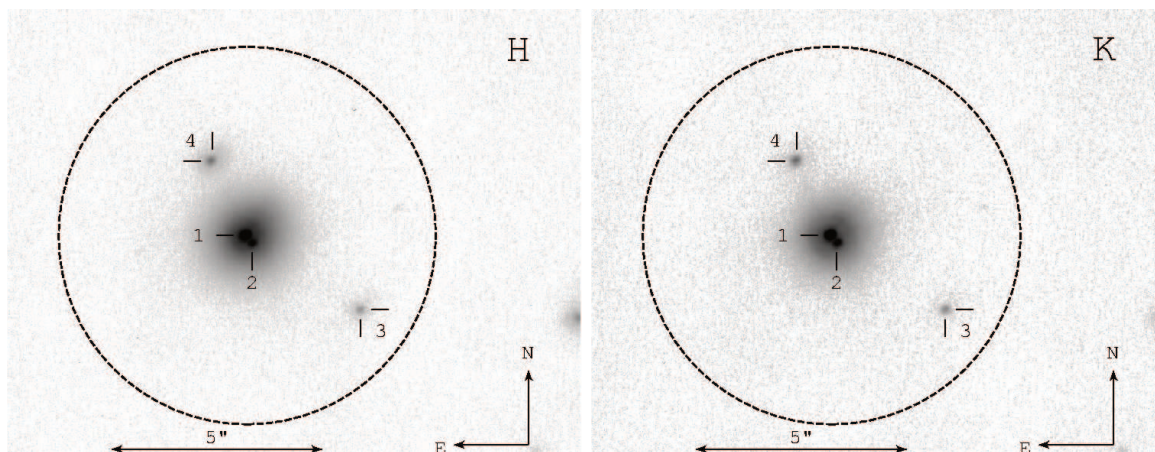


Abbildung 4.4: Die IRCS Aufnahmen im H - und K -Band. Eingezeichnet sind jeweils die Apertur der YETI-Teleskope von $4,5''$ (gestrichelter Kreis) und die sichtbaren schwachen Quellen in der Apertur (2-4).

der Hypothese eines überblendeten Doppelsternsystems kann auch für diesen Fall für alle Quellen die Leuchtkraftklassen $I \dots III$ ausgeschlossen werden. Ansonsten wären die Einzelkomponenten des hypothetischen Doppelsternsystems zu groß für den möglichen Orbit, so dass sich Kontaktsysteme ergeben würden, welche jedoch anhand der Form der Lichtkurve ausgeschlossen werden können. Objekt 4 in Abbildung 4.4 kann als Quelle des Transitsignals in der Lichtkurve ausgeschlossen werden, da aufgrund des Lichts der anderen Sterne selbst eine vollständige Bedeckung so weit abgeschwächt würde, dass es maximal zu einem Helligkeitseinbruch von 5 mmag käme. In dem Fall, dass es sich bei Stern 3 um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern, bestehend aus zwei ähnlichen Sternen vom Spektraltyp K2 oder früher, handelt, würde aufgrund des zusätzlichen Flusses der Sterne 1 und 2 eine Transittiefe von 12 mmag verursacht werden, welche konsistent mit der Lichtkurve ist. Objekt 2 kann ebenfalls als bedeckender Doppelstern die Ursache des Signals sein.

Wenn die leuchtstärkste Quelle die Bedeckung zeigt, so würde sich aufgrund des Lichts der anderen Quellen in der Apertur ein Radienverhältnis R_B/R_A von $0,2$ bis $0,4$ ergeben. Eine planetare Bedeckung wäre in diesem Fall unwahrscheinlich, da bei diesem Radienverhältnis zusätzlich der Sekundärtransit sichtbar werden würde. Da jedoch alle Schlussfolgerungen auf der Extrapolation der H und K Helligkeiten ins R -Band beruhen und diese mit großen Unsicherheiten behaftet sind, sind weitere Untersuchungen nötig.

Tabelle 4.1: Aufgelistet sind die Helligkeiten für die Sterne in Abbildung 4.4. Die erste Zeile, welche mit 2MASS bezeichnet wurde, listet die Literaturwerte aus dem 2MASS Katalog. Dabei wurden die K_S - in K -Band Helligkeiten anhand der Gleichung in Carpenter (2003) umgewandelt. Da die Aperturphotometrie von 2MASS alle Sterne 1 – 4 beinhaltet, entspricht der aufaddierte Fluss aller 4 Objekte diesem Wert. Anhand des Flusses der Quellen in Abbildung 3.7 wurden die infraroten Helligkeiten bestimmt und anschließend ins R -Band extrapoliert (\rightarrow Kapitel 3.3.2). In der Tabelle ist der berechnete Bereich aufgelistet. Die 1σ -Bereiche der extrapolierten Werte betragen bis zu $\Delta R = 0,7$ mag.

	H [mag]	K [mag]	R [mag]
	berechnet		extrapoliert
2MASS	11,886 (28)	11,810 (35)	
1	12,134 (28)	12,098 (35)	12,4... 14,0
2	13,734 (28)	13,513 (35)	15,7... 17,3
3	16,370 (28)	16,212 (36)	17,8... 19,4
4	17,452 (30)	17,163 (38)	20,0... 21,8

Spektroskopische Untersuchungen

CAFOS

Am Calar Alto 2,2 m Teleskop wurde mit dem Spektrographen CAFOS am 2011-10-13 ein Spektrum des Transitkandidaten aufgenommen. Dabei wurde das red-100 Grism verwendet und der Wellenlängenbereich zwischen $5600 \dots 9600 \text{ \AA}$ bei einer Auflösung von $2 \text{ \AA}/\text{px}$ abgedeckt. Zwei Belichtungen zu 900 s wurden bei einer Spaltbreite von $0,82''$ und einer Luftmasse von maximal 1,10 gewonnen. Bei dieser Luftmasse wurde ebenfalls der O7V Standardstern HD 217086 beobachtet. Während der Beobachtung des Transitkandidaten wurde CAFOS so gedreht, dass gleichzeitig von einem weiteren Stern ein Spektrum gewonnen werden konnte. Dadurch betrug der Winkel zwischen Spaltausrichtung und parallaktischem Winkel etwa 45° . Da die differentielle Refraktion zwischen 6000 \AA und 9000 \AA sich um $0,16''$ unterscheidet, wurde ein unbestimmbarer Teil des roten und/oder blauen Wellenlängenbereichs vom Spalt bedeckt. Der Standardstern wurde unter dem parallaktischen Winkel spektroskopiert.

Die Reduktion und Auswertung des Spektrums erfolgte analog zu dem im Kapitel 3.3.1 beschriebenen Verfahren. Das reduzierte und kalibrierte Spektrum ist in

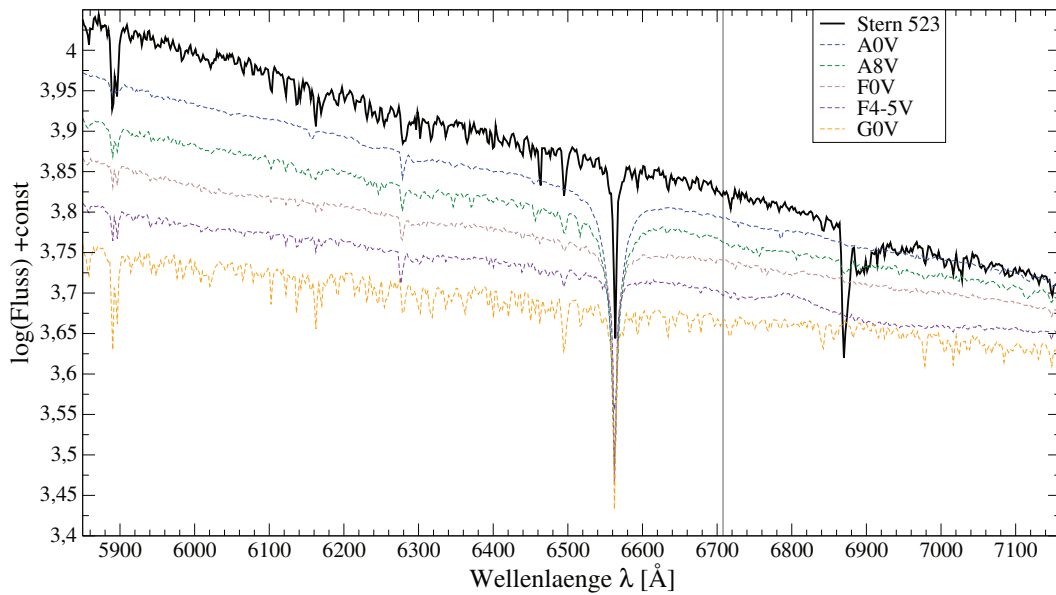


Abbildung 4.5: Spektrum des Transitkandidaten 2, aufgenommen mit CAFOS am Calar Alto 2,2 m Teleskop (dunkle schwarze Linie). Die atmosphärische Extinktion wurde mit Hilfe eines Standardstern korrigiert. Tellurische Linien sind im Bereich 6870...6930 Å sichtbar. Unterhalb des Sternenspektrums befinden sich Spektren von verschiedenen Vergleichssterne aus Valdes u. a. (2004) im Spektralbereich A0V bis G0V (dünne farbige Linien). Die vertikale graue Linie markiert den Bereich der Lithiumabsorption bei 6707,8 Å.

Abbildung 4.5 zusammen mit Spektren verschiedener Standardsterne dargestellt. Es zeigte sich, dass sich die Bestimmung des Spektraltyps aus dem Kontinuum und aus den Spektrallinien widersprechen, analog zu den Ergebnissen des Transitkandidaten 1. Anhand der charakteristischen Absorptionslinien würde sich ein Spektraltyp von etwa G0 ergeben, während das Kontinuum Spektraltypen früher als A suggeriert. Der aus den Farbindices gewonnene Spektraltyp (F7V-G8V) ist konsistent mit dem aus den Absorptionslinien bestimmten. Für die Ursachen der Differenzen gibt es zwei mögliche Erklärungen. Zum einen kann die Abweichung analog zum Transitkandidat 1 dadurch erklärt werden, dass aufgrund der differentiellen Refraktion der rote Teil des Lichtes durch den Spalt blockiert wurde. Zum anderen können die beiden leuchtstarken Komponenten, welche in der infraroten Aufnahme (Abbildung 4.4) aufgelöst dargestellt sind, unterschiedliche Spektraltypen besitzen. Die Überlagerung von einer heißen Quelle mit wenig Linien und eines sonnenähnlichen Sterns mit den sichtbaren Absorptionslinien kann somit die beobachtete Diskrepanz erklären. Im letzteren Fall würde dies bedeuten, dass es sich bei Objekt 1 in Abbildung 4.4 um ein Doppelsternsystem handelt, welches von einem zusätzlichen, heißen Stern überblendet wird. Das CAFOS Spektrum

wurde auf Lithium-Absorption untersucht. Dabei wurde keine signifikante Absorption gefunden. Das Limit liegt bei einer Äquivalentbreite von $EW(\text{Li}) = 35 \text{ m}\text{\AA}$, während für Mitglieder von Trumpler 37 für einen F9 Stern mindestens $100 \text{ m}\text{\AA}$ und für frühe G-Sterne bis zu $600 \text{ m}\text{\AA}$ gemessen wurden.

CAFE

Mit dem ‘‘Calar Alto fasergeführten Echelle Spektrographen’’ (CAFE, Aceituno u. a. 2013) wurde am 2013-08-10 im Servicemodus in Abwesenheit des Autors beobachtet. Das Instrument bietet dabei im Wellenlängenbereich $3960 \dots 9500 \text{ \AA}$ eine Auflösung von $\mathcal{R} = (62000 \pm 5000) \text{ \AA}$ in 91 Echelleordnungen (je nach Ordnung beträgt die Pixelauflösung $0,03 \dots 0,07 \text{ \AA/px}$). Es wurden drei Spektren mit jeweils 2700 s Belichtungszeit über den Zeitraum einer Nacht aufgenommen. Jeweils nach einer Belichtung wurde ein ThAr-Spektrum zur Wellenlängenkalibration aufgenommen. Die Datenreduktion durch den Autor umfasste die Biaskorrektur, das Extrahieren der Spektren, Bestimmung und Anwendung der Wellenlängenkalibration und das Entfernen der, durch kosmische Strahlung verursachten Effekte. Es wurden nur in den Ordnungen $60 \dots 109$ ausreichend Fluss ($> 20 \text{ ADU}$ pro Wellenlängenelement) gesammelt. Bei der Untersuchung wurden nur die Spektrallinien eines Sterns (das heißt keine Doppel- oder Mehrfachlinien) gefunden. Die Verschiebung der Linien zwischen verschiedenen Spektren beträgt weniger als $0,1 \text{ \AA}$, das heißt es tritt allerhöchstens eine Radialgeschwindigkeitsänderungen von $\Delta RV \lesssim 5 \text{ km s}^{-1}$ im Beobachtungszeitraum auf. Die Spektren zeigen eine schwache Lithium Absorption mit $EW(\text{Li}) = (45 \pm 15) \text{ m}\text{\AA}$. Zum Auffinden der Lithium-Linie bei $6707,8 \text{ \AA}$ wurde die Calcium-Linie bei $6717,7 \text{ \AA}$ verwendet. Diese Linie war, genau so wie die $\text{H}\alpha$ -, Natrium- ($5889,6, 5895,5 \text{ \AA}$) oder Eisenlinien ($6393,1, 6399,5 \text{ \AA}$) um $\approx -3 \text{ \AA}$ aufgrund relativer Bewegung des Beobachters zum Stern verschoben. Entsprechend wurde Li auch bei dieser verschobenen Wellenlänge gesucht. Auffällig war, dass alle drei Spektren $\text{H}\alpha$ Emission mit $EW(\text{H}\alpha) = (-350 \pm 30) \text{ m}\text{\AA}$ zeigen, was im CAFOS-Spektrum (\rightarrow Abbildung 4.5) nicht beobachtet werden konnte. Zusammen mit der großen Blauverschiebung des Spektrums (\rightarrow nächster Abschnitt zu IDS) und den Koordinaten des Teleskops im Beobachtungsprotokoll ($55''$ Abweichung zu den Koordinaten des Sterns 523), kann dies ein Hinweis sein, dass der falsche Stern (vermutlich Stern 3415) beobachtet wurde. Eine Nachbeobachtung steht noch aus. Die $\text{H}\alpha$ Emission und geringe Li Absorption weisen auf einen jungen Stern hin, bei welchem das Lithium

noch nicht fusioniert wurde und noch Reste der protoplanetaren Scheibe vorhanden sind.

Die gebintten Spektren wurden gegen einander kreuzkorreliert. Die Rechnungen wurden sowohl für Intervalle von 5 px, als auch 15 px durchgeführt. In beiden Fällen ergaben sich Radialgeschwindigkeitsverschiebungen zwischen den Spektren von weniger als 1 km s^{-1} . Die Ergebnisse sind konsistent mit der Nullhypothese, da die Ungenauigkeiten der Anpassung mehr als 2 km s^{-1} betragen. Unter der Annahme, dass es sich um Stern 523 handelt, lässt sich schließen, dass das leuchtstärkere Objekt (1) in Abbildung 4.4 keine Radialgeschwindigkeit zeigt und daher nicht von einem massereichen Begleiter umkreist werden kann. Bei dem leuchtstärkeren Objekt würde es sich also nicht um ein Doppelsternsystem handeln, allerdings kann ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern um die leuchtschwachen Objekte (2 und 3) nicht ausgeschlossen werden.

IDS

Mit dem “Intermediate Dispersion Spectrograph” (IDS³⁵) wurden in den Nächten vom 2014-11-06 und 2014-11-07, im Rahmen des Trainings der neuen studentischen Support Astronomen, jeweils zwei Spektren zu jeweils 2700 s am Isaac Newton Teleskop (Roque de los Muchachos, La Palma) aufgenommen. Aufgrund von Bewölkung wurde das zweite Spektrum der ersten Nacht 300 s länger belichtet. Verwendet wurden das R1200B Gitter und der RED+2 CCD, so dass der Wellenlängenbereich $\lambda \in [3900\text{\AA}, 5500\text{\AA}]$ mit $0,53 \text{ \AA/px}$ abgedeckt wurde. In diesem Bereich ist der RED+2 CCD zwar etwas weniger empfindlich als der EEV10 Detektor, dafür tritt weniger Fringing³⁶ auf. Die geringere Empfindlichkeit des CCD wurde durch eine etwas längere Belichtungszeit korrigiert. Die Spaltbreite wurde mit $1,15''$ der Art gewählt, dass die maximale Auflösung des Gitters genutzt werden konnte, ohne dabei mehr Licht als nötig zu verlieren. Es wurde unter dem parallaktischen Winkel beobachtet. Zusätzlich wurde der Radialgeschwindigkeitsstandardstern HD 3765, ein K2V Stern mit $RV = (-63,113 \pm 0,002) \text{ km s}^{-1}$ (Soubiran u. a. 2013), in der ersten und HD 197076, ein G5V Stern mit $RV = (-35,39 \pm 0,09) \text{ km s}^{-1}$ (White u. a. 2007), in der zweiten Nacht beobachtet. Die Verwendung zweier unterschiedlicher Standardsterne ist dabei nicht optimal, ließ sich jedoch, aufgrund

³⁵Beschreibung siehe <http://www.ing.iac.es/Astronomy/instruments/ids/>

³⁶In modernen, verdünnten CCD kann es zu Interferenzeffekten kommen, wenn das einfallende Licht mehrfach zwischen Vorder- und Rückseite des Detektors reflektiert wird. Dadurch entstehen unterschiedlich effiziente Bereiche, welche mit der Standardkalibration schwer zu korrigieren sind.

der Wettersituation zu Beginn der ersten Nacht und dem Beobachtungsplan der zweiten Nacht, nicht vermeiden. Zusätzlich wurden zu jedem Objekt mindestens zuvor oder danach ein CuNe+CuAr Spektrum zur Wellenlängenkalibration aufgenommen. Während in der ersten Nacht alle fünf gewonnenen Wellenlängenkalibrationsaufnahmen innerhalb von 0,3 px konstant sind, zeigen sich in den beiden Kalibrationsaufnahmen der zweiten Nacht eine Verschiebung von 0,9 px. Dieser Versatz tritt zwischen den beiden, direkt aufeinander folgenden Beobachtung des Sterns 523 auf und ist in einem Versatz der tellurischen Linien zwischen den Aufnahmen sichtbar. Mittels der tellurischen Linien wurde diese, unerwartet auftretende Verschiebungen korrigiert. Die Ursache liegt vermutlich in einer mechanischen Bewegung innerhalb des im Cassegrain-Fokus installierten Instruments, welche durch unterschiedliche Belastungen bei Bewegung des Teleskops entstehen können. Aufgrund des Trainings wurde die Beobachtung direkt im Anschluss an das Wechseln des Gitters durchgeführt, im Normalfall vergehen bis zur Beobachtung einige Stunden in der mechanische Spannungen abgebaut werden können.

Die gewonnenen Aufnahmen wurden unter Nutzung der Standard IRAF-Routinen bias- und weißlichtkorrigiert. Da die Sensitivität des Gesamtsystems aus Optiken, insbesondere Gitter und Kollimator, aber auch CCD stark wellenlängenabhängig ist, wurde die Weißlichtaufnahme mit der *response*³⁷ Routine geglättet und normiert. Die Spektren wurden extrahiert und die Wellenlängenlösung der CuNe+CuAr-Aufnahmen angewendet. Die drei Einzelspektren der Standardsterne wurden zu einem Spektrum zusammengefasst um das Signal-zu-Rausch Verhältnis zu verbessern. Der Wellenlängensprung in der zweiten Nacht wurde korrigiert, indem in den beiden Aufnahmen ein 50 px breiter Bereich der tellurischen Linien extrahiert, wellenlängenkalibriert und dann die Radialgeschwindigkeitsverschiebung zu $\Delta RV = (35,1 \pm 3,7) \text{ km s}^{-1}$ bestimmt, wurde.

Im nächsten Schritt wurden die, an die IDS-Auflösung angepassten *PHOENIX NextGen2* Spektren kreuzkorreliert. Für die Vergleichsspektren mit den Eigenschaften $T_{\text{eff}} = (5490 \pm 300) \text{ K}$, $\log g = (5,0 \pm 0,5) \text{ dex}$ und $v \sin i = (48 \pm 40) \text{ km s}^{-1}$ ergeben sich die besten Übereinstimmungen. Die Streuung der $v \sin i$ ist dabei in der Größenordnung der 1 px-Auflösung. Aus den bekannten Radialgeschwindigkeiten der Standardsterne wurde die Radialgeschwindigkeitsdifferenz in beiden Nächten bestimmt, mit welcher eine absolute Kalibration der *RV* ermöglicht wurde. Dabei zeigte sich eine Differenz

³⁷Die IRAF-Routine *response* passt ein Polynom oder ähnliche Funktion an das Spektrum an. Durch die Division der Aufnahme durch diese Funktion wird der grobe Verlauf des Spektrums normiert, die unterschiedlichen Empfindlichkeiten zwischen den Pixeln bleiben jedoch erhalten.

Tabelle 4.2: Radialgeschwindigkeiten (RV) für die vier IDS Spektren nach Kalibration mit den Radialgeschwindigkeitsstandards. Für die Standards ist die Geschwindigkeitsdifferenz zum Literaturwert gegeben.

Objekt	HJD-2455000	RV [km s^{-1}]
523	1968,427	$-16,0 \pm 9,0$
523	1968,486	$-20,0 \pm 9,5$
523	1969,383	$-49,4 \pm 11,0$
523	1969,417	$-43,7 \pm 10,8$
HD 3765	1968,527	$-76,4 \pm 5,1$
HD 197076	1969,367	$-69,3 \pm 7,3$

von $\Delta RV = 7 \text{ km s}^{-1}$ zwischen den beiden Standardsterne, welche dem 1σ Fehlerbereich entspricht. Tabelle 4.2 listet die gefunden Radialgeschwindigkeiten für die vier Spektren des Sterns 523 auf. Die Werte variieren leicht mit $1,4\sigma$. Unter der Annahme, dass die Variationen real sind, kann ein Doppelsternsystem aus ähnlichen Komponenten und daher mit der doppelten Periode die Datenpunkte erklären. Die Radialgeschwindigkeitskurve aus PHOEBE, welche sich bei gemeinsamer Anpassung von Lichtkurve und Radialgeschwindigkeit an ein Doppelsternmodell, ist in Abbildung 4.6 gegeben.

Es wurde weiterhin eine Kreuzkorrelation mit zwei verschiedenen Vergleichsspektren gleichzeitig durchgeführt. Die heißere Komponente wurde auf $T_{\text{eff}} = 5500 \text{ K}$, $\log g = 5,0 \text{ dex}$ und $v \sin i \in [1, 60] \text{ km s}^{-1}$ gesetzt, für das zweite Spektrum wurden $T_{\text{eff}} \in [4000, 5500] \text{ K}$, $\log g = 4,5 \text{ dex}$ und $v \sin i \in [1, 60] \text{ km s}^{-1}$ verwendet. Die Übereinstimmung zwischen Vergleichsspektrum und den IDS-Spektren verbesserte sich jedoch nicht, so dass keine weiteren Einschränkungen getroffen werden konnten. Spektren mit einer besserer Auflösung sind nötig um diese Variationen zu bestätigen, im Sommer, sollen die CAFE-Aufnahmen wiederholt werden. Tabelle 4.3 listet nur die sicher bestimmten Werte für Stern 523 auf.

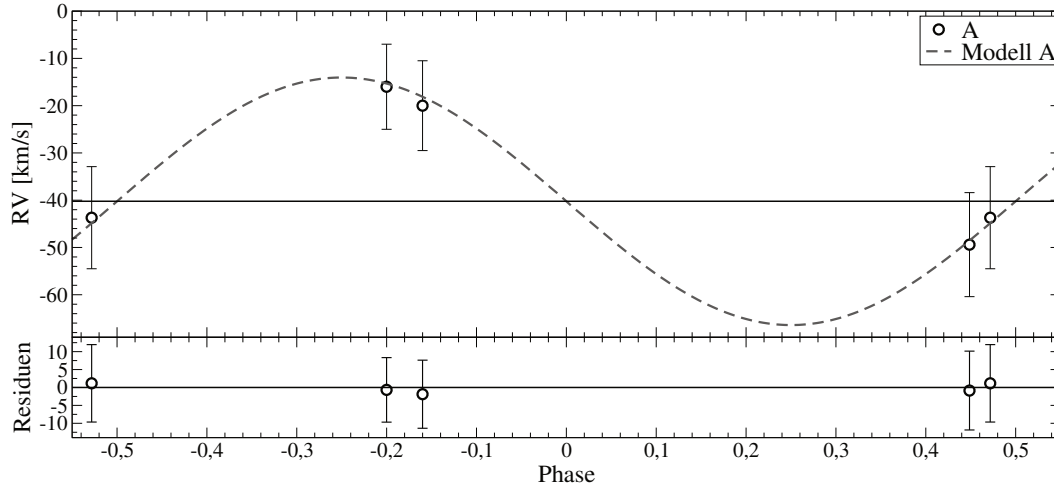


Abbildung 4.6: Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 523 nach Anpassung mit dem Modell eines Doppelsterns. Verwendet wurde die Radialgeschwindigkeit der IDS Spektren (\rightarrow Tabelle 4.2). Innerhalb von $1,4\sigma$ sind die Messwerte jedoch auch konsistent mit einer konstanten Radialgeschwindigkeit.

Tabelle 4.3: Eigenschaften des Transitkandidaten 2.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:39:12,0	P [d] ^c	$0,736867 \pm 0,000004$
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:07:28	HJD_0 [d] ^d	$2455866,3688 \pm 0,0007$
V [mag] ^a	$14,115 \pm 0,134$	Komponente A	
$B - V$ [mag] ^a	$0,847 \pm 0,033$	T_{eff} [K] ^e	5490 ± 300
$V - R$ [mag] ^a	$0,622 \pm 0,112$	$\log g$ [dex] ^e	$5,0 \pm 0,5$
$V - I$ [mag] ^a	$1,122 \pm 0,106$	$v \sin i$ [km s^{-1}] ^e	48 ± 40
2MASS J [mag] ^b	$12,268 \pm 0,026$	Spektraltyp ^f	G4V...K0V
2MASS H [mag] ^b	$11,877 \pm 0,031$	Spektraltyp ^g	F7V...G8V
2MASS K [mag] ^b	$11,768 \pm 0,019$		

^a Jena STK, ^b aus Skrutskie u. a. (2006), ^c Bestimmt mit dem Pfadlängen-Algorithmus, Kapitel 2.5.1, ^d Anpassung mit *ETD*, ^e aus der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an die IDS-Spektren, ^f Vergleich T_{eff} mit Kenyon & Hartmann (1995), ^g unter Nutzung der Farbindices

Bedeckungsveränderliche Doppelsterne

Die Doppelsterne wurden entweder bei der visuellen Inspektion der Lichtkurven einzelner Nächte, der automatischen Periodensuche (\rightarrow Kapitel 2.5.1) oder durch die Methode der Kasten-Anpassung (\rightarrow Kapitel 2.5.2) gefunden. Für die visuelle Inspektion wurden nur in wenigen Nächten die hellsten 6000 Sterne betrachtet, falls diese mindestens eine 1σ -Variation besaßen. Die für die Doppelsterne angegebenen Perioden wurden mit Hilfe des Pfadlängen-Algorithmus (Kapitel 2.5.1) bestimmt. Vor dieser Arbeit wurden diese Sterne nicht im Detail untersucht, insbesondere war der Doppelsterncharakter unbekannt. Mittels niedrig aufgelöster CAFOS Spektren wurde für diese Sterne eine geringe Lithiumabsorption gemessen, weswegen die Sterne als mögliche Mitglieder von Trumpler 37 weiter untersucht wurden.

Die Sterne wurden mittels HIRES am Keck Teleskop sowie HDS (“High Dispersion Spectrograph”, Noguchi u. a. 2002) am Subaru Teleskop spektroskopiert. Die Beobachtungen fanden im Beisein des Autors in den ersten Nachthälften am 2010-05-02 und 2010-05-05 (HIRES) sowie den ersten Nachthälften vom 2011-08-07 bis 2011-08-09 (HDS) statt. Dabei wurden die Beobachtungssequenz der verschiedenen Sterne so gewählt, dass möglichst jeweils ein Spektrum im Bereich der beiden maximalen Radialgeschwindigkeiten (bei einer Phase von $\phi = \pm 0,25$ gegenüber Bedeckung) und weitere Spektren bei möglichst gleichmäßiger Phasenabdeckung beobachtet wurden. In jeder Nacht wurden ein bis zwei Aufnahmen des Radialgeschwindigkeitsstandards HD 182488 gewonnen, um eine absolute Kalibration der Radialgeschwindigkeit zur Verfügung zu haben. Es wurden nur wenige Spektren und damit nur wenige RV -Messungen für jeden Stern gewonnen, da sehr viele Parameter des Doppelsternorbits bereits anhand der Lichtkurven gewonnen wurden. Würden nur die Radialgeschwindigkeiten für sich betrachtet werden, so könnten die im folgenden dargestellten Ergebnisse der Orbiteigenschaften nicht getroffen werden.

Stern 118

Der $R = 12,5$ mag Stern (2M21395270+5722001) zeigt Bedeckungen mit einer Periode von $P = (6,00495 \pm 0,00002)$ d. Die im weiteren Verlauf gefundene Mitte der Bedeckung war $sJD \approx 467,633$ d. Da die Periode sehr nah zum Vielfachen eines Tages liegt, konnte die Periode nach den Beobachtungen 2009 nicht sicher bestimmt werden, bei der Periodensuche ergab sich eine minimale Periode von $\approx 1,501$ d, aber auch die doppelte und vierfache Periode waren möglich. Erst zwei Spektren mit dem “Tillinghast Reflector Echelle Spectrograph” (TRES) am “Fred Lawrence Whipple Observatory” (FLWO) vom 2010-05-02 und 2010-05-05, auf welche weiter unten eingegangen wird, schränkten die Periode auf die oben genannte ein. Die Orbitperiode von fast exakt sechs Tagen verhindert die vollständige Abdeckung des phasengefalteten Raums durch ein einzelnes Teleskop. So konnte im Beobachtungszeitraum von Jena aus nie das Zentrum der sekundäre Bedeckung beobachtet werden (Phase 0,490 . . . 0,503), erst andere Teleskope des YETI-Netzwerkes deckten diesen Bereich im Phasenraum ab. Leider wurden im B -, bzw. V -Band nur der beginnende Helligkeitseinbruch der sekundären, bzw. primären Bedeckung aufgenommen, so dass diese Bänder für die Modellierung zur Verfügung standen. Im I -Band wurde der Helligkeitseinbruch bis zur Bedeckungsmitte für die primäre Bedeckung vom Rozhen 0,6 m und für die sekundäre Bedeckung vom Rozhen Schmidt Teleskop beobachtet. Das die Bedeckungsmitten aufgenommen wurden, konnten das I -Band zur Auswertung herangezogen werden. Es handelt sich bei dem System um ein Doppelstern vom Typ Algol³⁸ mit V-förmigen Profil. Die primäre Bedeckung wurde zu $(\Delta R)_{\text{prim}} = (0,51 \pm 0,01)$ mag, bzw. $(\Delta I)_{\text{prim}} = (0,50 \pm 0,02)$ mag und die sekundäre zu $(\Delta R)_{\text{sek}} = (0,47 \pm 0,02)$ mag, bzw. $(\Delta I)_{\text{sek}} = (0,46 \pm 0,02)$ mag bestimmt.

Der Spektrograph TRES deckt den Wellenlängenbereich 3700 . . . 9000 Å mit einer Auflösung von 0,033 . . . 0,076 Å/px ($\mathcal{R} = 59000$) ab. Die Belichtungszeiten der beiden Aufnahmen betragen 2400 s beziehungsweise 2700 s. Die Datenaufnahme und Reduktion erfolgte durch Sam Quinn (CfA). Es wurden durch den Autor Kreuzkorrelation mit den *PHOENIX NextGen2* Modellen durchgeführt, wobei zwei gegeneinander radialgeschwindigkeitsverschobene Vergleichsspektren gleichzeitig verwendet wurden. Die Metallizitäten wurden nicht untersucht und daher nur künstliche Vergleichsspektren mit

³⁸Bei bedeckungsveränderlichen Doppelsternen vom Typ Algol sind beide Komponenten so weit entfernt, dass sie sich aufgrund ihrer gegenseitigen Anziehung kaum verformen. Daher ist die Lichtkurve zwischen den Bedeckungen nahezu konstant.

solare Metallizität verwendet. Die am besten übereinstimmenden Vergleichsspektren sind für die Primärkomponente: $T_{\text{eff,A}} = (6470 \pm 200)$ K, $(\log g)_{\text{A}} = (3,8 \pm 0,6)$ dex und $(v \sin i)_{\text{A}} = (12 \pm 4)$ km s⁻¹ und für die Sekundärkomponente: $T_{\text{eff,B}} = (5970 \pm 150)$ K, $(\log g)_{\text{B}} = (4,0 \pm 0,5)$ dex und $(v \sin i)_{\text{B}} = (14 \pm 4)$ km s⁻¹. Daraus lassen sich unter Verwendung von Kenyon & Hartmann (1995) und der Annahme, dass es sich um Hauptreihensterne handelt, die Spektraltypen von F3V...F7V für die leuchtstärkere und F9V...G2V für die leuchtschwächere Komponente bestimmen. Da in den beiden Nächten kein Standardstern beobachtet wurde, konnten keine Korrekturen auf die absoluten Radialgeschwindigkeiten der Komponenten durchgeführt werden. Die nur baryzentrisch korrigierten Radialgeschwindigkeiten sind in Tabelle 5.1 gegeben.

Weiterhin wurden von diesem Stern 4 HIRES-Spektren in den beiden Keck-Nächten am 2010-09-26 und 2010-09-28 gewonnen. Die Belichtungszeit betrug jeweils 300 s. Diese Spektren wurden analog zu denen des Transitkandidaten 1 reduziert und ausgewertet (→ Kapitel 3.3.4). Bei der Kreuzkorrelation mit den *PHOENIX NextGen2* Spektren wurden die Parameter für beide Sterne bestimmt: $T_{\text{eff,A}} = (6450 \pm 150)$ K, $(\log g)_{\text{A}} = (4,0 \pm 0,3)$ dex und $(v \sin i)_{\text{A}} = (12 \pm 3)$ km s⁻¹ sowie $T_{\text{eff,B}} = (5990 \pm 150)$ K, $(\log g)_{\text{B}} = (4,4 \pm 0,4)$ dex und $(v \sin i)_{\text{B}} = (14 \pm 3)$ km s⁻¹. Die Radialgeschwindigkeiten wurden nach der Korrektur mit den Standardsternen in Tabelle 5.1 zusammengefasst. Die Ergebnisse sind mit denen der Kreuzkorrelation der TRES-Spektren konsistent, es ergeben sich die Spektralbereiche F4V...F7V für die A-Komponente und F9V...G2V für die B-Komponente (nach Kenyon & Hartmann 1995). Außerdem wurde nach Lithium Absorption gesucht, um die in den niedrig aufgelösten CAFOS Spektrum gefundenen Ergebnisse zu überprüfen. Anhand der Radialgeschwindigkeiten und den Absorptionslinien für H α (6562,7 Å) und Ca (6717,7 Å) konnte für jede Aufnahme die Lithiumlinien beider Komponenten bestimmt werden. Die Lithiumlinien der blauverschobenen Komponente wurden nicht vermessen, da diese mit Absorptionslinien von Eisen überlagert sind (→ Abbildung A.11 im Anhang A.10). Aus den Linien der rotverschobenen Komponente ergibt sich für die massereiche Komponente $EW(\text{Li})_{\text{A}} = (15 \pm 8)$ mÅ und für die masseärmere $EW(\text{Li})_{\text{A}} = (36 \pm 8)$ mÅ. Zusammen mit den Effektivtemperaturen ergibt sich nach Abbildung 6 in Neuhäuser u. a. (2000) ein Alter jünger als das der Plejaden (125 Myr, Stauffer u. a. 1998). Allerdings ist eine Mitgliedschaft in Trumpler 37 ausgeschlossen, da sogar ohne Absorption ($A_V = 0$ mag) beide Doppelsternkomponenten in einer Distanz von $d \approx 870$ pc nur eine gemeinsame Helligkeit von $V \approx 12,5$ mag besitzen, jedoch $V = (12,1 \pm 0,2)$ mag gemessen wur-

Tabelle 5.1: Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HIRES, sowie den TRES Spektren für das Doppelsternsystem 118 nach Kreuzkorrelation mit *PHOENIX NextGen2* Spektren. Für TRES konnten die Geschwindigkeiten nicht mit Hilfe eines Standardsterns korrigiert werden, so dass sich Verschiebungen zu den Werten der HIRES Spektren ergeben. Die Primärkomponente ist mit A bezeichnet.

Instrument	$HJD - 2455000$	RV_A [km s ⁻¹]	RV_B [km s ⁻¹]
HIRES	466,7383	$25,54 \pm 0,54$	$-105,03 \pm 0,66$
HIRES	466,8857	$17,59 \pm 0,67$	$-96,81 \pm 0,79$
HIRES	468,7749	$-110,47 \pm 0,55$	$40,21 \pm 0,64$
HIRES	468,9450	$-114,55 \pm 0,56$	$44,42 \pm 0,76$
TRES	318,97420	$-121,8 \pm 1,7$	$40,6 \pm 2,2$
TRES	321,96762	$33,6 \pm 1,5$	$-127,8 \pm 1,7$

de. Marschall & van Altena (1987) bestimmten aus der Eigenbewegung eine geringe Mitgliedswahrscheinlichkeit von 3%.

Die Modellierung der phasengefalteten und in jeweils 1000 Intervalle gebintten Lichtkurven in R und I , sowie der Radialgeschwindigkeitsmessungen des Keck-Teleskops erfolgte mit PHOEBE (\rightarrow Kapitel 3.4). Es wurden Periode und Bedeckungsmittle der vorherigen Untersuchungen, sowie die aus der Kreuzkorrelation bestimmten Temperaturen von $T_{\text{eff,A}} = 6450$ K und $T_{\text{eff,B}} = 5990$ K verwendet. Analog zur Auswertung von Stern 3218 wurden im ersten Schritt die Leuchtkräfte und Oberflächenpotentiale angepasst und gefolgt von den Systemeigenschaften große Halbachse, Massenverhältnis, Inklination und Radialgeschwindigkeit des Schwerpunkts. Im nächsten Schritt wurde mit Hilfe der Lichtkurven im Zeit-Raum die Periode und Bedeckungsmittle genauer bestimmt. Mit diesen Werten wurden die Lichtkurven des Phasenraums erneut erstellt und anschließend zur genaueren Bestimmung der Parameter des Modells genutzt. Es zeigte sich, dass mit der Annahme eines kreisförmigen Orbits die sekundäre Bedeckung früher als erwartet stattfand. Daher wurde eine geringe Exzentrizität ϵ angenommen. Dabei muss die Zeit des Periastron im Bereich von $t_{\text{Periastron}} \in (\frac{P}{2}, P)$ liegen. Sie wurde auf $t_{\text{Periastron}} = \frac{2}{3}P$ gesetzt und damit die minimale Exzentrizität bestimmt. Für eine genauere Bestimmung der Exzentrizität und des Zeitpunkts des Periastrons müssten weitere Radialgeschwindigkeitsmessungen durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Anpassung des Doppelsternmodells mittels PHOEBE sind in Tabelle 5.2 zusammengefasst,

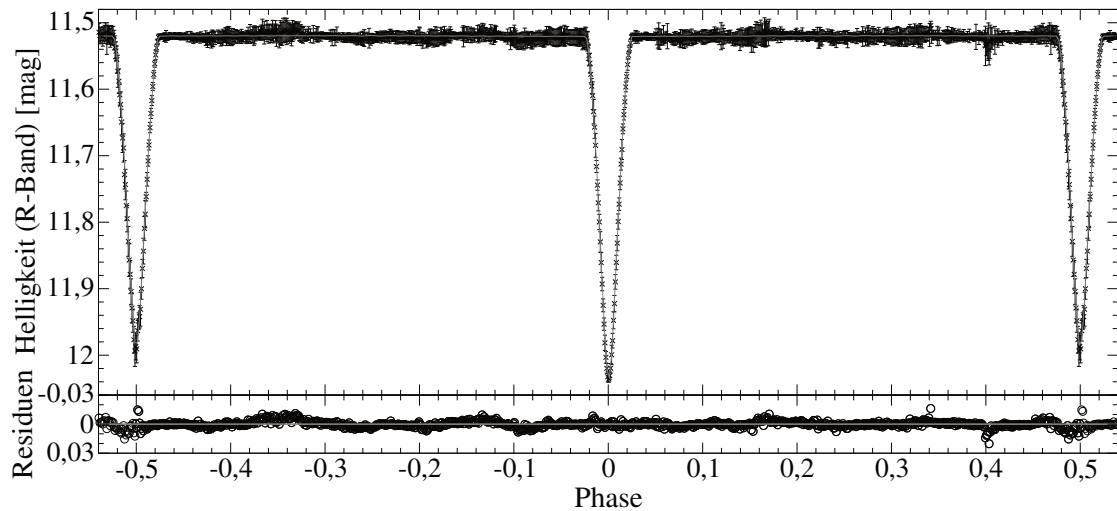


Abbildung 5.1: Phasengefaltete und in 0,001 Phasenintervalle gebinnte Lichtkurven im R -Band für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern mit der internen Nummer 118. Es wurde eine Periode von 6,004907 d und die Bedeckungsmittle $sHJD = 467,63453$ verwendet. Es ist die Lichtkurve unter der Nutzung aller Teleskopdaten gezeigt, darüber wurde das Modell aus der Anpassung mit PHOEBE gezeichnet. In dem Graph darunter sind die Residuen der Lichtkurve zum Modell gezeigt.

die Lichtkurve zusammen mit dem Modell ist in Abbildung 5.1 dargestellt. Die Radialgeschwindigkeiten der TRES Spektren sind unter Verwendung einer angepassten γ -Geschwindigkeit konsistent mit den Ergebnissen. Die mit PHOEBE bestimmten Massen lassen unter Verwendung von Schmidt-Kaler (1982) auf einen Spektraltypen von F3 für Komponente A und F5 für B schließen. Beide Werte liegen außerhalb des 1σ Bereichs der aus T_{eff} bestimmten Spektralbereichen. Die Ursachen für die Differenzen können vielfältig sein. Die verwendeten Tabellen wurden für Hauptreihensterne erstellt, aufgrund der Wechselwirkung der beiden Komponenten und des jungen Alters ist diese Bedingung jedoch nicht erfüllt. So kommt es durch die gravitative Wirkung zu stärkerer Durchmischung der Sternatmosphären, durch den geringen Abstand kommt es zu signifikanten Energieeintrag. Daher sind die modellierten Radien bis zu 15% größer, als für Hauptreihensterne dieser Masse erwartet (vgl. mit Schmidt-Kaler 1982). Unter Annahme von gebundener Rotation, dass heißt gleicher Orbit- und Rotationsachse, sowie der Orbitperiode entsprechenden Rotationsperioden, lässt sich die Rotationsgeschwindigkeit nach

$$v \sin i = \frac{2\pi R}{P} \sin i \quad (5.1)$$

Tabelle 5.2: Eigenschaften des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns 118. Die Fehler für die Massen, Radien und Oberflächenschwerkkräfte der Einzelkomponenten werden von PHOEBE nicht bestimmt. Eine Abschätzung der Fehlerbereich dieser Größen war durch Variation der anderen Parameter (innerhalb deren Fehler) mit Hilfe von PHOEBE möglich. Es ergaben sich die für M , R und $\log g$ angegebenen Fehler.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert	
System		Orbit		
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:39:52,7	P [d] ^c	$6,004907 \pm 0,000001$	
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:22:00	HJD_0 [d] ^c	$2455404,63453 \pm 0,00004$	
V [mag] ^a	$12,052 \pm 0,207$	i [°] ^c	$88,085 \pm 0,006$	
$B - V$ [mag] ^a	$0,839 \pm 0,149$	e ^c	$0,005 \pm 0,001$	
$V - R$ [mag] ^a	$0,527 \pm 0,187$	a/R_\odot ^c	$19,309 \pm 0,008$	
$V - I$ [mag] ^a	$1,032 \pm 0,109$	Komponente	A	B
2MASS J [mag] ^b	$10,788 \pm 0,026$	T_{eff} [K] ^d	6450 ± 150	5990 ± 150
2MASS H [mag] ^b	$10,622 \pm 0,042$	$v \sin i$ [km s ⁻¹] ^d	12 ± 3	14 ± 3
2MASS K [mag] ^b	$10,234 \pm 0,158$	M [M_\odot] ^c	$1,39 \pm 0,02$	$1,30 \pm 0,01$
		R [R_\odot] ^c	$1,58 \pm 0,02$	$1,41 \pm 0,05$
γ [km s ⁻¹] ^c	$-37,603 \pm 0,022$	$\log g$ [dex] ^c	$4,2 \pm 0,1$	$4,3 \dots 0,1$
		Spektraltyp ^e	F4...F7	F9...G2
		$EW(\text{Li})$ [mÅ] ^f	15 ± 8	36 ± 3

^a Jena STK, ^b aus Skrutskie u. a. (2006), ^c aus der Modellierung mit PHOEBE, ^d bei der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an die HIRES Spektren bestimmt, ^e Vergleich T_{eff} mit Kenyon & Hartmann (1995), ^f gemessen in den HIRES Spektren

für beide Komponenten berechnen. Es ergeben sich Rotationsgeschwindigkeiten von $(v \sin i)_A = (13,4 \pm 0,2) \text{ km s}^{-1}$ und $(v \sin i)_B = (11,9 \pm 0,2) \text{ km s}^{-1}$. Da diese mit den aus der bei der Kreuzkorrelation mit den künstlichen Vergleichsspektren ergebenden Werten konsistent sind, scheint sich das System im Status von gebundener Rotation zu befinden.

Stern 522

Bei diesem Stern (2M21384635+5738492) handelt es sich ebenfalls um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern vom Typ Algol mit V-förmigen Profil. Aus den Lichtkurven

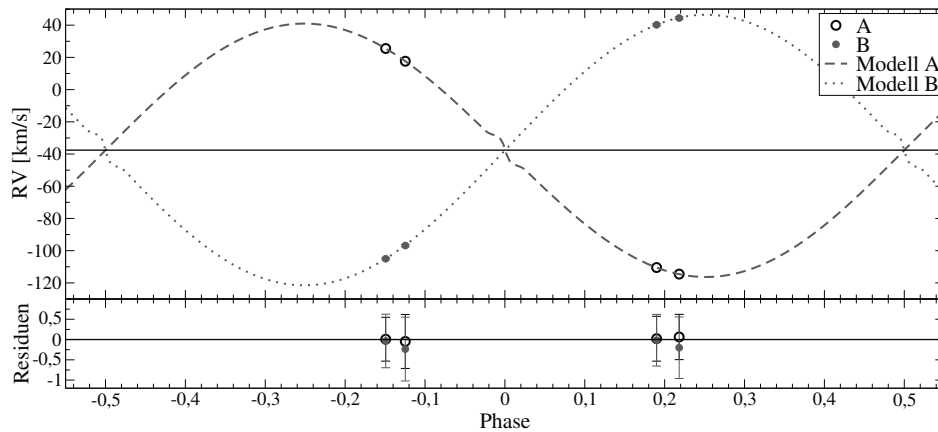


Abbildung 5.2: Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 118 nach Anpassung mit dem Modell eines Doppelsterns. Die Residuen, inklusive Fehler der Datenpunkte, sind für beide Komponenten gegeben. Im Bereich der Bedeckungen ($\varphi = 0$ und $\varphi = \pm 0,5$) ist der Rossiter-McLaughlin Effekt für zur Orbitachse parallele Rotationsachsen der Komponenten zu sehen.

konnte eine Periode $P = (2,25844 \pm 0,00002)$ d bestimmt werden. Mit CAFOS wurden am 2010-08-29 zwei Spektren mit 900 s und 300 s Belichtungszeit aufgenommen. Anhand des Spektrum konnte der Spektraltyp auf F5 bis G5 abgeschätzt werden. Die gefundene Lithiumabsorption von $EW(\text{Li}) = 50 \text{ m}\text{\AA}$ könnte daher auf Mitgliedschaft in Trumpler 37 hinweisen (\rightarrow Kapitel 3.3.1 und Abbildung A.8).

Mit HDS wurden in der Nacht 2011-08-07 ein Spektrum mit 300 s Belichtungszeit und in der Nacht 2011-08-08 zwei Spektren zu 300 s und 200 s gewonnen. In der verwendeten Konfiguration (StdI2a) deckt HDS den Wellenlängenbereich $4900 \dots 7700 \text{ \AA}$ mit einer Auflösung von $\mathcal{R} = 45000$ bei einer Spaltbreite von $0,8''$ ab. Beim Auslesen wurden (2×2) px zu einem Pixel zusammengefasst, das heißt es ergibt sich eine Auflösung von $0,029 \dots 0,045 \text{ \AA}/\text{px}$ (blau... rot). Zu Beginn und nach dem Ende der Beobachtungen wurden ThAr-Aufnahmen zur Wellenlängenkalibration aufgenommen. Trotz der Position auf der Nasmyth Plattform ist HDS sehr stabil, es traten Verschiebungen von weniger als $0,01$ px zwischen den verschiedenen ThAr-Aufnahmen auf. Die Datenreduktion wurden nach der Anleitung von Aoki (2008) durchgeführt. Vor der Reduktion wurde die Nichtlinearität des Detektors korrigiert (Tajitsu u. a. 2010). Zur Korrektur des Overscans³⁹ stand ein Skript für IRAF zur Verfügung⁴⁰. In einem weiteren Schritt wurde die Bias-Korrektur durchgeführt, indem das mittels Median zusammengefasste

³⁹Beim Auslesen des CCD werden unbelichtete Pixel an das Bild angehängt, um zeitliche Variabilität der Ausleseelektronik (insbesondere Bias) korrigieren zu können.

⁴⁰Auf der Webseite des Subaru HDS Instruments: <http://www.subarutelescope.org/observing/instruments/HDS/index.html>

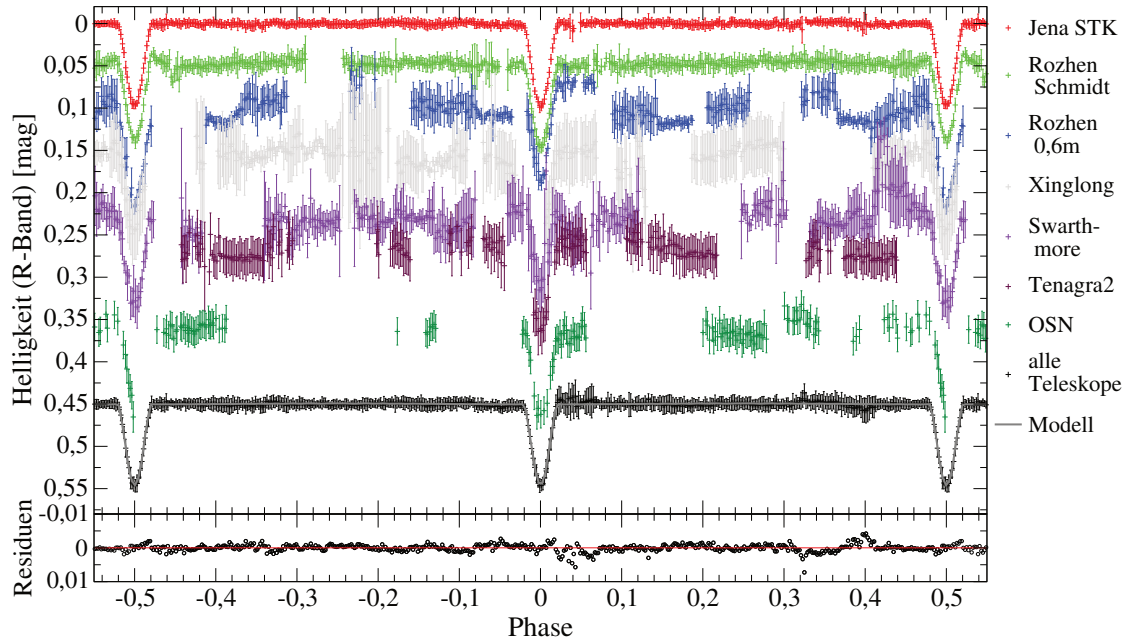


Abbildung 5.3: Phasengefaltete und gebinnte Lichtkurven im R -Band für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern mit der internen Nummer 522. Es wurde eine Periode von 4,51685 d und die Bedeckungsmittle $sHJD = 76,67261$ verwendet. Die farbigen Graphen zeigen die Lichtkurven für die verschiedenen Teleskope. Die Variabilität außerhalb der Bedeckungen sind dabei in der Anzahl der Datenpunkte, welche beim Binning zusammengefasst werden, begründet. In schwarz ist die Lichtkurve unter der Nutzung aller Teleskopdaten gezeigt. Darüber ist das Modell aus der Anpassung mit PHOEBE gezeichnet. In dem Graph darunter sind die Residuen der Lichtkurve zum Modell gezeigt.

Bias von allen Aufnahmen subtrahiert wurde. Die mediangemittelte Weißlichtaufnahme wurde mit Hilfe der IRAF-Routinen APNORMALIZE und APRESIZE normiert und danach alle Aufnahmen durch dieses Bild dividiert. Die Spektren wurden mit APALL extrahiert und danach mit Hilfe der ThAr-Aufnahmen wellenlängenkalibriert. Bei den HDS Spektren war leider keine Analyse der $H\alpha$ -Linie möglich, in in diesem Bereich bei allen Spektren aller Sterne eine Emissionslinie sichtbar war, welche bei der Extraktion nicht korrigiert werden konnte.

Anhand der Lichtkurve war keine Unterscheidung möglich, ob es sich um ein Doppelsternsystem aus zwei ähnlichen Sternen (das heißt die Bedeckungssignale besitzen ähnliche Form und Tiefe) oder um ein System aus zwei unterschiedlichen Sternen, bei welchen die sekundäre Bedeckung nur sehr gering ist, handelt. In den hoch aufgelösten Spektren sind nach Binning von 15 px (in Dispersionsrichtung), welche mit der IRAF-Routine BOXCAR durchgeführt wurde, zum Teil doppelte Linien sichtbar, allerdings war

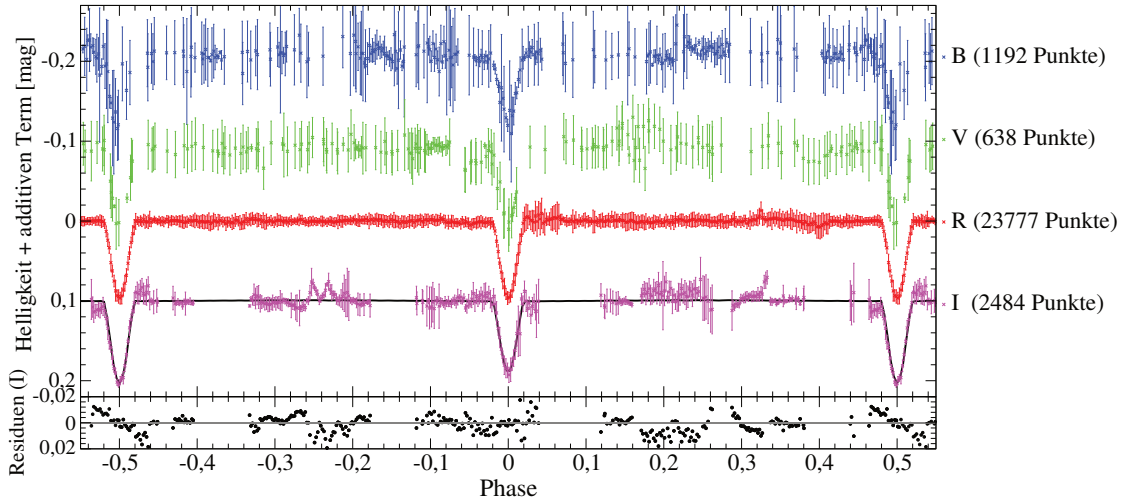


Abbildung 5.4: Phasengefaltete und gebintete Lichtkurven in B , V , R , I für Stern 522. B und V stammen nur von der STK, während I Beobachtungsdaten von der STK, Rozhen 60 cm und Rozhen Schmidt enthält. R ist aus allen YETI-Teleskopen erstellt. Zusätzlich ist die Lichtkurve für I aus dem Modell und die dazugehörigen Residuen gezeigt. Eine signifikante Änderung der Bedeckungstiefe kann aufgrund der zu großen Fehler in B und V nicht gesehen werden.

keine eindeutige Zuordnung möglich. Aus diesen Gründen wurden beide Hypothesen bei der Kreuzkorrelation mit den *PHOENIX NextGen2* Spektren getestet. Zum einen wurden das Vergleichsspektrum eines heißen Sterns (6400...6800 K) mit dem eines kalten Sterns (3000...3800 K) kombiniert. Zum anderen wurden zwei Vergleichsspektrum ähnlicher, heißer Temperatur (6000...7200 K) addiert. Dabei zeigte sich, dass die Kreuzkorrelation für den Fall zwei ähnlich heller Komponenten gegenüber den unterschiedlichen Komponenten deutlich höhere Korrelationsstärken erreicht. Im Falle der unterschiedlichen Komponenten wurde für die leuchtschwache Komponente kein Vergleichsspektrum und keine Radialgeschwindigkeitsverschiebung gegenüber der hellen Komponente bevorzugt, das heißt dieses Spektrum war komplett beliebig. Aus diesem Grund wurde nur die Hypothese ähnlicher Komponenten ausgewertet. Die Periode beträgt das Doppelte der Periode des anderen Falls. Die phasengefalteten Lichtkurven sind für R in Abbildung 5.3 und für alle Filter in Abbildung 5.4 gezeigt.

Aus der Kreuzkorrelation mit den künstlichen Vergleichsspektren konnten einige der Parameter der beiden Sterne bestimmt werden, da Kombinationen verschiedener Spektren getestet wurden. Für die primäre Komponente (welche bei Phase 0 bedeckt wird) ergab sich $T_{\text{eff,A}} = (6520 \pm 250) \text{ K}$, $(\log g)_A = (3,7 \pm 0,6) \text{ dex}$ und

Tabelle 5.3: Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HDS Spektren für das Doppelsystem 522 nach Kreuzkorrelation mit *PHOENIX NextGen2*. Die Primärkomponente ist mit A bezeichnet

$HJD - 2455000$	RV_A [km s ⁻¹]	RV_B [km s ⁻¹]
780,7405	$47,8 \pm 1,2$	$-74,7 \pm 1,6$
781,7388	$-60,6 \pm 0,8$	$38,9 \pm 1,5$
781,8654	$-72,4 \pm 3,6$	$51,1 \pm 2,6$

$(v \sin i)_A = (9 \pm 4) \text{ km s}^{-1}$. Der sekundäre Stern kann mit $T_{\text{eff,B}} = (6530 \pm 200) \text{ K}$, $(\log g)_B = (3,7 \pm 0,4) \text{ dex}$ und $(v \sin i)_B = (8 \pm 2) \text{ km s}^{-1}$ beschrieben werden. Die sich bei Kreuzkorrelation des Vergleichsspektrums der obigen Eigenschaften mit den HDS-Spektren ergebenden Radialgeschwindigkeiten sind in Tabelle 5.3 angegeben, nachdem sie mit Hilfe der Messungen des Radialgeschwindigkeitsstandards HD 182488 korrigiert wurden. Nach Bestimmung der Radialgeschwindigkeitsverschiebungen konnte, analog zur Auswertung von Stern 118, eine geringe Lithiumabsorption für beide Komponenten bestimmt werden (\rightarrow Tabelle 5.4). Aufgrund der hohen Effektivtemperaturen der beiden Komponenten kann es sich trotz der geringen Äquivalentbreiten um einen jungen Stern, jünger als die Plejaden handeln (vgl. Neuhäuser u. a. 2000, Abbildung 6).

Im letzten Schritt wurden die phasengefalteten und gebinneten R - und I -Lichtkurven zusammen mit den Radialgeschwindigkeiten mittels PHOEBE modelliert. B und V wurden aufgrund der deutlich größeren Unsicherheiten nicht betrachtet. Da die Radialgeschwindigkeiten beider Komponenten bekannt waren, konnte das System sehr genau bestimmt werden. Mit der Hypothese eines kreisförmigen Orbits, da nur drei RV -Datenpunkte vorlagen, konnten die gleichen Schritte, wie für den Stern 118 (\rightarrow Kapitel 5.1) für die Modellierung durchgeführt werden. Die sich ergebenden Modelle für die Lichtkurven sind in Abbildung 5.3 (R -Band) und 5.4 (I -Band) gezeigt, die Werte der Radialgeschwindigkeit in Abbildung A.12. Eine Zusammenfassung der Parameter des Systems und der Komponenten findet sich in Tabelle 5.4.

Die Oberflächenschwerkkräfte, welche mit Hilfe von PHOEBE bestimmt wurden, sind konsistent mit denen, welche bei der Kreuzkorrelation der *PHOENIX NextGen2* Spektren an die HDS-Spektren bestimmt wurden. Die aus den modellierten Werten nach Gleichung 5.1 unter Annahme der Übereinstimmung von Orbit- und Rotationsachse und -perioden bestimmte Rotationsgeschwindigkeiten von $(v \sin i)_A = (16,5 \pm 0,1) \text{ km s}^{-1}$

Tabelle 5.4: Eigenschaften des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns 522. Die Fehler für die Massen, Radien und Oberflächenschwerkkräfte der Einzelkomponenten werden von PHOEBE nicht bestimmt. Eine Abschätzung der Fehlerbereich dieser Größen war durch Variation der anderen Parameter (innerhalb deren Fehler) mit Hilfe von PHOEBE möglich. Es ergaben sich die angegebenen Fehler für M , R und $\log g$.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert	
System		Orbit		
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:38:46,3	P [d] ^d	$4,51685 \pm 0,00002$	
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:38:49	HJD_0 [d] ^d	$2455076,67261 \pm 0,00001$	
V [mag] ^a	$14,174 \pm 0,150$	i [°] ^d	$82,49 \pm 0,09$	
$B - V$ [mag] ^a	$0,907 \pm 0,059$	M_B/M_A ^d	$0,95361 \pm 0,00006$	
$V - R$ [mag] ^a	$0,635 \pm 0,116$	a/R_\odot ^d	$15,672 \pm 0,003$	
$V - I$ [mag] ^a	$1,198 \pm 0,112$		A	B
2MASS J [mag] ^b	$12,224 \pm 0,026$	T_{eff} [K] ^e	6520 ± 250	6530 ± 200
2MASS H [mag] ^b	$11,836 \pm 0,031$	$v \sin i$ [km s ⁻¹] ^e	9 ± 5	8 ± 5
2MASS K [mag] ^b	$11,720 \pm 0,019$	M [M_\odot] ^d	$1,30 \pm 0,01$	$1,24 \pm 0,01$
Spektraltyp ^c	F5...G4	R [R_\odot] ^d	$1,47 \pm 0,01$	$1,43 \pm 0,05$
		$\log g$ [dex] ^d	$4,22 \pm 0,02$	$4,21 \pm 0,03$
γ [km s ⁻¹] ^d	$-12,0268 \pm 0,0008$	Spektraltyp ^f	F2...F8	F3...F7
		$EW(\text{Li})$ [mÅ] ^f	16 ± 7	28 ± 5

^a Jena STK, ^b aus Skrutskie u. a. (2006), ^d aus der Modellierung mit PHOEBE, ^e aus der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an die HIRES Spektren, ^f Vergleich T_{eff} mit Kenyon & Hartmann (1995),

und $(v \sin i)_B = (15,4 \pm 0,1) \text{ km s}^{-1}$ sind höher als die bei der Kreuzkorrelation bestimmten Werte ($1,5\sigma$ für beide Komponenten), weswegen vermutlich mindestens eine der beiden Annahmen nicht erfüllt ist. Um innerhalb des 1σ Bereichs konsistente Werte zu erhalten müssten beide Komponente um mehr als 30° gegenüber dem Orbit geneigt sein oder eine ungebundene Rotation mit einer um 1,2 d längere Orbitalperiode ausführen. Die sich nach Schmidt-Kaler (1982) aus den Massen ergebenden Spektraltypen (F4 für Komponente A, F6 für B) sind konsistent mit den aus T_{eff} bestimmten und ebenfalls konsistent mit den aus dem CAFOS-Spektrum bestimmten Spektralbereich. Aus der Eigenbewegung wurde eine hohe Mitgliedschaftswahrscheinlichkeit in Trumpler 37 von 89% bestimmt (Marschall & van Altena 1987). Diese

Ergebnisse, zusammen mit der Lithiumabsorption, welche auf ein junges Alter schließen lässt, ergibt sich eine hohe Wahrscheinlichkeit für Mitgliedschaft in Trumpler 37. Die sich ergebenden Radien sind nach Schmidt-Kaler (1982) etwa 10% größer als für diese Massen zu erwarten. Dies kann, wie bei dem bedeckungsveränderlichen Doppelstern 118, durch Wechselwirkung der beiden Komponenten erklärt werden. Wahrscheinlicher ist jedoch ein größerer Radius als Hauptreihensterne aufgrund des erwarteten jungen Alters. Die absolute Gesamthelligkeit (im V -Band) des Systems lässt sich mit $\mathcal{M}_{\text{ges}} = -2,5 \log_{10} (10^{-0,4\mathcal{M}_A} + 10^{-0,4\mathcal{M}_B}) = (2,7 \pm 0,1)$ mag berechnen. Dabei wurden die absoluten Helligkeiten von $\mathcal{M}_A = (3,4 \pm 0,1)$ und $\mathcal{M}_B = (3,5 \pm 0,1)$, welche durch Vergleich der aus den Massen bestimmten Spektraltypen mit Tabelle 13 aus Schmidt-Kaler (1982) bestimmt wurden, genutzt. Mit Hilfe des Entfernungsmoduls (Gleichung 2.5) ergibt sich bei Verwendung der Sternenhaufenentfernung eine Extinktion von $A_V = (1,8 \pm 0,1)$ mag, welche Konsistent mit der des Sternhaufens ist.

Stern 2028

In der Umgebung dieses Sterns (2M21371234+5733318) befinden sich im Abstand von $5,7''$ der Stern 1192 (2M21414013+5723026) mit einer Helligkeitsdifferenz von $\approx -0,4$ mag und im Abstand von $8,0''$ der Stern 2584 (2M21371254+5733388) mit einer Helligkeitsdifferenz von $\approx 0,9$ mag. Bei der Aperturphotometrie von Stern 2028 in den YETI-Beobachtungen wurde daher teilweise das Licht dieser beiden Sterne gemessen. Da dieses zusätzliche Licht von den atmosphärischen Bedingungen abhängt, werden Variation in die Lichtkurve induziert. Es wurden daher nur Daten der Teleskope Rozhen 0,6 m und Lulin 1 m verwendet, da in diesen die PSF ausreichend schmal ist, so dass sich die Punktbildfunktionen kaum überlappen. Zusätzlich wurden noch die Daten der Jena STK verwendet, welches mit einer Apertur von $2 \text{ px} \hat{=} 3,1''$ ausgewertet wurden und für die Auswertung hinreichend genau sind. Aufgrund der kleineren Apertur kommt es zu geringeren Überlagerung der Punktbildfunktionen. Die Lichtkurve für das R -Band ist in Abbildung 5.5 dargestellt. Die aperturbedingten Helligkeitsvariationen zwischen den verschiedenen Phasenbereichen liegt dabei im Streulicht des Sterns 1192 begründet, welches trotz der obigen Einschränkungen einen geringen Effekt hat. Es handelt sich bei Stern 2028 ebenfalls um ein getrenntes System vom Typ Algol (\rightarrow Fußnote 38). Aufgrund der Variabilität des Streulichts wurden nur Daten für die Modellierung genutzt, bei welchen der Beginn oder das Ende der Bedeckung zusammen

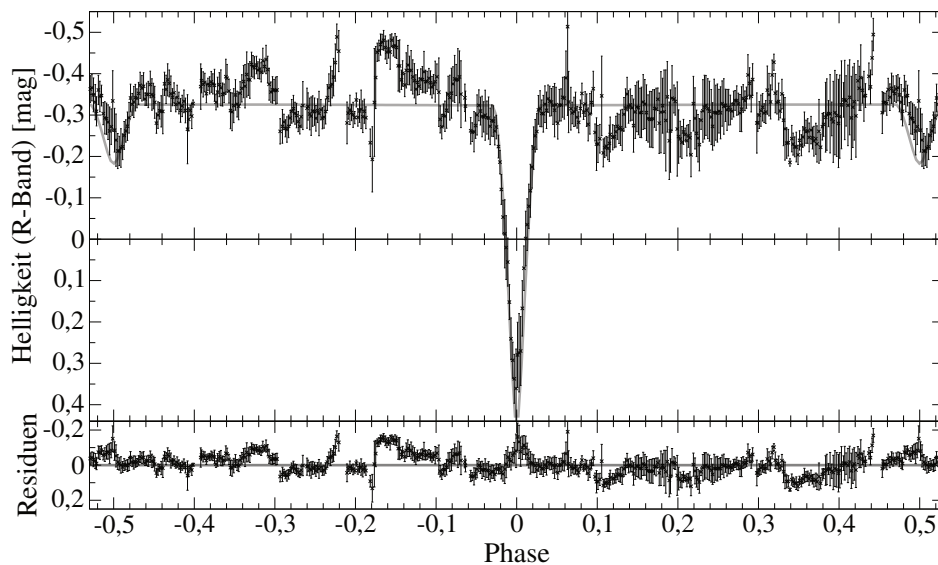


Abbildung 5.5: Phasengefaltete und gebintete Lichtkurven für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern 2028 im R -Band. Es wurden nur die Daten des Rozhen 0,6 m und das Lulin 1 m Teleskop, sowie die Daten der STK, welche mit einer Apertur von 2 px ausgewertet wurden, verwendet. Durch unterschiedlich starken Einfluss des Streulichts eines weiteren Sterns mit kleinen Winkelabstand ($5,7''$) in verschiedenen Nächten und nur ≈ 12 Datenpunkte pro gebintetem Intervall, tritt an mehreren Phasen außerhalb der Bedeckungen eine aperturbedingte Helligkeitsvariation auf. Das Modell der Bedeckung (bestimmt anhand einzelner Bedeckungen) wurde nach der Korrektur nur um einen Helligkeitsversatzes in das Diagramm eingezeichnet.

mit der Mitte der Bedeckung innerhalb einer Nacht aufgenommen wurden. Für die B , V und I war dies nicht möglich, so dass diese Filter nicht für die Modellierung zur Verfügung standen.

Es wurde jeweils ein Spektrum mit HIRES in den beiden Keck-Nächten am 2010-09-26 und 2010-09-28 gewonnen. Die Beobachtungszeit betrug 3000 s und 4100 s. Der Stern wurde weiterhin in jeder HDS Nacht mit 600 s belichtet. Die Spektren wurden, wie in den vorherigen Kapiteln vorgestellt, reduziert und ausgewertet. Die Kreuzkorrelation wurde sowohl mit einem, als auch für die HIRES Spektren mit zwei gegeneinander radialgeschwindigkeitsverschobenen Vergleichsspektren durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass das Signal-zu-Rausch Verhältnis nicht ausreichend für die Bestimmung der Parameter und der Radialgeschwindigkeit der leuchtschwächeren Komponente war. Die Eigenschaften der Primärkomponente wurden aus dem HIRES-Spektrum bestimmt, da dieses aufgrund der fünffach längeren Belichtungszeit mit einem größeren Teleskop ein signifikant höheres Signal-zu-Rausch Verhältnis aufwies. Die Ergeb-

Tabelle 5.5: Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HIRES und HDS Spektren für das Doppelsternsystem 2028 nach Kreuzkorrelation mit den *PHOENIX NextGen2* Vergleichsspektren und Korrektur mit einem Radialgeschwindigkeitsstandardstern. Es konnte nur für die Primärkomponente die RV bestimmt werden.

$HJD - 2455000$	RV_A [km s $^{-1}$]	$HJD - 2455000$	RV_A [km s $^{-1}$]
HIRES		HDS	
466,86015	$-60,5 \pm 0,6$	780,84208	$27,1 \pm 0,9$
468,85177	$-25,4 \pm 0,7$	781,87461	$-17,9 \pm 3,7$
		782,87492	$-54,4 \pm 2,2$

nisse aus den HDS Spektren waren konsistent, besaßen jedoch aus den oben genannten Gründen größere Fehlerbereiche. Die bei der Kreuzkorrelation bestimmten Radialgeschwindigkeiten sind in Tabelle 5.5 gegeben. In den HIRES Spektren ist $H\alpha$ Emission mit $EW(H\alpha) = (-0,6 \pm 0,1) \text{ \AA}$ sichtbar. Aufgrund einer Halbwertsbreite von $FWHM = (3,0 \pm 0,7) \text{ \AA}$ ist ein Ursprung in einer protoplanetaren Scheibe wahrscheinlich.

Die photometrischen und spektroskopischen Daten wurden mit Hilfe von PHOEBE gemeinsam modelliert. Da nur die Radialgeschwindigkeit der leuchtstärkeren Komponente bekannt ist, wurde anhand der Effektivtemperatur die Masse abgeschätzt. Der Stern besitzt eine Lithiumabsorption von $EW(\text{Li}) = (510 \pm 60) \text{ \AA}$, welche konsistent mit derer anderer Mitglieder ist (\rightarrow Abbildung A.8) und Mitgliedschaft in Trumpler 37 vermuten lässt. Daher befinden sich die Komponenten des Doppelsternsterns noch nicht auf der Hauptreihe, weswegen die Vorhauptreihenmodelle von Siess u. a. (2000)⁴¹ zur Massenabschätzung verwendet wurden. Aufgrund der Unsicherheit der Temperatur und einem angenommenen Fehler im Alter von 1 Myr, ergibt sich für die Primärkomponente eine Masse von $M_A = (1,3 \pm 1,9) M_\odot$ (\rightarrow Abbildung A.13). Darüber kann die große Halbachse des System auf $a \in [18 R_\odot, 20 R_\odot]$ eingeschränkt werden.

Aufgrund des Streulichts wurden nur die einzelnen Bedeckungen angepasst. Nach der vollständigen Anpassung wurde das Modell auf die phasengefalteten Lichtkurve des R -Bandes übertragen und in Abbildung 5.5 dargestellt. Über die Tiefe der Bedeckungen konnte mit Hilfe des Stefan-Boltzmann-Gesetzes das Temperaturverhältnis zwischen

⁴¹Die Isochronen können unter <http://www.astro.ulb.ac.be/~siess/pmwiki/pmwiki.php/WWWTools/Isochrones> für verschiedene Alter berechnet werden.

Tabelle 5.6: Eigenschaften des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns 2028. Aufgrund von Streulicht in den YETI und 2MASS Aperturen wurde nur eine ungefähre optische Helligkeit gegeben. Die Bereiche der Werte für Masse M , Radius R und $\log g$ der beiden Komponenten ergeben sich aus dem Bereich der angenommenen großen Halbachsen a . Der Fehler für $T_{\text{eff,B}}$ ergibt sich aus der Modellierung innerhalb des Fehlerintervalls von $T_{\text{eff,A}}$.

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert	
System		System		
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:37:12,4	$EW(\text{Li})$ [$\text{m}\text{\AA}$] ^b	510 ± 60	
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:33:32	γ [km s^{-1}] ^c	-17,47 ± 0,21	
V [mag] ^a	≈ 16,0		A	B
R [mag] ^a	≈ 14,9	T_{eff} [K] ^{d,c}	4670 ± 200 ^d	3780 ± 110 ^c
Orbit		$v \sin i$ [km s^{-1}] ^d	17 ± 5	
P [d] ^c	6,19527 ± 0,00005	M [M_{\odot}] ^c	1,32 ... 1,92	0,72 ... 0,89
HJD_0 [d] ^c	2455769,4931 ± 0,0005	R [R_{\odot}] ^c	1,87 ... 2,08	1,40 ... 1,66
i [°] ^c	88,4 ± 0,5	$\log g$ [dex] ^c	4,01 ... 4,12	3,95 ... 4,02
a [R_{\odot}]	18,0 ... 20,0	$\log g$ [dex] ^d	4,2 ± 0,6	

^a Jena STK, ^b aus den HIRES Spektren, ^c aus der Modellierung mit PHOEBE, ^d aus der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an die HIRES Spektren

beiden Komponenten und darüber die Effektivtemperatur der Komponente B bestimmt werden. Die Ergebnisse für Stern 2028 sind in Tabelle 5.6 gegeben. Die mit Hilfe von PHOEBE bestimmten Oberflächenschwerkraft für Komponente A ist konsistent mit der bei der Kreuzkorrelation der künstlichen Vergleichsspektren an die HIRES Spektren bestimmten Werten. Auffällig sind die im Vergleich zur Masse großen Radien, welche jedoch zu einer mit der gemessenen Rotationsgeschwindigkeit konsistenten Werten von $(v \sin i)_A = (16,2 \pm 0,9) \text{ km s}^{-1}$ führen (unter der Annahme der Übereinstimmung von Orbit- und Rotationsachse und gebundener Rotation, Gleichung 5.1). Der vergrößerte Radius ist für einen Vorhauptreihenstern zu erwarten. Der Stern 2028 ist ein sehr wahrscheinliches Mitglied in Trumpler 37. Die Lithiumabsorption ist konsistent mit denen anderer Mitglieder (→ Abbildung A.8), ebenso ist die Systemgeschwindigkeit von $\gamma = (-17,2 \pm 0,2) \text{ km s}^{-1}$ konsistent mit der Radialgeschwindigkeit der Haufenmitglieder von $(-15,3 \pm 3,6) \text{ km s}^{-1}$ (Sicilia-Aguilar u. a. 2006b).

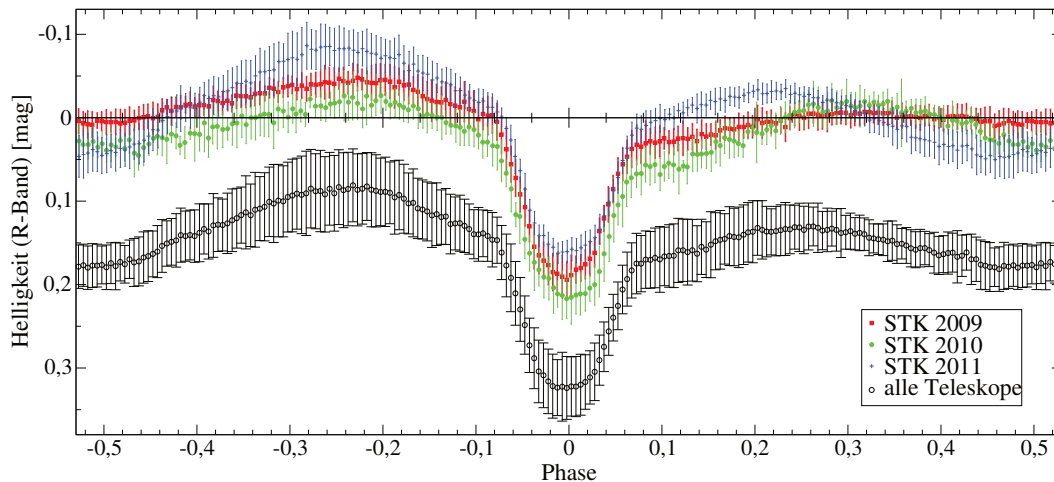


Abbildung 5.6: Phasengefaltete und gebintete (Breite von 0,5% des Phasenraums) Lichtkurven für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern 3132 im R -Band. Für die STK wurden die Daten nach Jahren zusammen gefasst um die Variation der Helligkeitsverteilung auf den Sternoberflächen sichtbar zu machen. Für die Lichtkurve mit allen YETI-Daten (schwarz) wurden im Durchschnitt 109 Datenpunkte gebintet. Die Streuung ist in der zeitlichen Variabilität der Lichtkurve begründet.

Stern 3132

Bei Stern 3132 handelt es sich um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern, bei welchem der Abstand der Komponenten ist so gering ist, dass beide Sterne aufgrund der gegenseitigen gravitativen Wechselwirkung elliptisch verformt sind. Zusätzlich wird ein Teil des Lichts jeder Komponente von der Oberfläche der anderen Komponente reflektiert. Dieser Anteil ändert sich je nach Orbitphase, entsprechend ist die Lichtkurve außerhalb der Bedeckung nicht konstant. Zusätzlich tritt eine Variabilität der Lichtkurve in verschiedenen Jahren auf, wie in Abbildung 5.6 zu sehen ist. Diese Variationen wurden durch Veränderungen der Größe und Position von Sternenflecken verursacht.

Für diesen Stern wurde ein HIRES Spektrum mit 4100 s Belichtungszeit am 2010-09-29 mit dem Keck Teleskop aufgenommen. Weiterhin wurde in der ersten HDS Nacht ein Spektrum mit 600 s Belichtungszeit gewonnen und zwei weitere Spektren in der zweiten HDS Nacht aufgenommen, wobei die Belichtungszeiten 600 s und 400 s betragen. Die Reduktion und Auswertung erfolgte analog dazu, wie es für die anderen Sterne bereits beschrieben wurde. In den hoch aufgelösten Spektren konnte weder Lithiumabsorption nach $H\alpha$ Emission gefunden werden.

Tabelle 5.7: Baryzentrische Radialgeschwindigkeiten aus den HIRES und HDS Spektren für das Doppelsternsystem 3132 nach Kreuzkorrelation mit den *PHOENIX NextGen2* Vergleichsspektren und Korrektur mit einem Radialgeschwindigkeitsstandardstern. Es konnte nur für die Primärkomponente die RV bestimmt werden.

$HJD - 2455000$	RV_A [km s $^{-1}$]	$HJD - 2455000$	RV_A [km s $^{-1}$]
HIRES		HDS	
468,80109	$46,3 \pm 3,6$	780,79567	$51,8 \pm 7,2$
		781,74957	-60 ± 13
		781,91903	50 ± 13

Die gemessenen Radialgeschwindigkeiten sind in Tabelle 5.7 gegeben. Bei der Kreuzkorrelation der Spektren gegen künstliche Vergleichsspektren (*PHOENIX NextGen2*) konnten keine Eigenschaften der Sekundärkomponente bestimmt werden, da deren Absorptionslinien nicht detektierbar waren. Für die Modellierung mit Hilfe von PHOEBE wurde daher, analog zum Weg in Kapitel 3.4, die Masse der Primärkomponente anhand der bei der Kreuzkorrelation bestimmten Effektivtemperatur zu $M_A \approx (0,69 \pm 0,08) M_\odot$ abgeschätzt und damit eine Einschränkung der großen Halbachse auf $a \in [2,0 R_\odot, 2,2 R_\odot]$ ermöglicht. Es wurde das Modell eines halbgetrennten Doppelsterns verwendet, bei welchem der masseärmere Stern seine Roche-Grenze ausfüllt. Da sich die Verteilung der Sternenflecken über die Zeit änderte, wurden für die Modellierung nur die in Phase gefalteten YETI-Daten im Zeitraum der drei YETI-Kampagnen von 2010 verwendet ($sHJD \in [411 \text{ d}, 470 \text{ d}]$). In diesem Zeitraum standen neben einer großen Anzahl an Beobachtungen im R -Band die meisten Daten in den Filtern V und I zur Verfügung, jedoch nicht ausreichend Daten im B -Band. Für die Modellierung wurden zwei Sternenflecken auf der Primärkomponente angenommen. Da die Temperatur und Radius des Flecks nicht unabhängig voneinander bestimmt werden konnte, wurde das Temperaturverhältnis zwischen Fleck und Stern auf den realistischen Wert von 0,8 gesetzt. Für den erste Fleck ergaben sich bei der Anpassung 118° Breite und 316° Länge, sowie Radius von $17,6^\circ$. Für den zweiten Fleck berechnete sich 139° Breite, 125° Länge und $19,2^\circ$ für den Radius.

Die Ergebnisse von Stern 3132 sind in Tabelle 5.8 gegeben. Die Anpassung des Modells eines Doppelsterns an die Daten ist in Abbildung 5.7 (für die Filter V , R und I), sowie in Abbildung A.15 (für die Radialgeschwindigkeit) gezeigt. Aus den modellier-

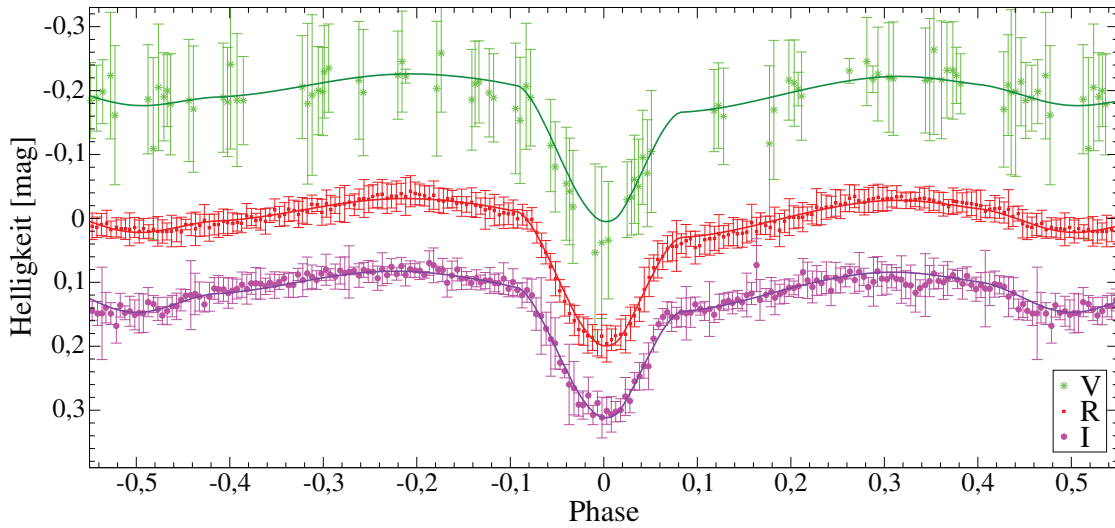


Abbildung 5.7: Phasengefaltete und gebinnte (Breite von 0,5% des Phasenraums) Lichtkurven für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern 3132 im V -, R - und I -Band. Zusätzlich ist das mit Hilfe von PHOEBE an die Daten angepasste Modell eines bedeckungsveränderlichen, halbgetrennten Doppelsterns, welcher zwei Flecken besitzt, gezeigt. Es wurden nur die in Phase gefalteten Daten im Zeitraum der drei YETI-Kampagnen von 2010 verwendet, um die von den Sternenflecken verursachte Variabilität in den Lichtkurven zu minimieren.

ten Parametern der Primärkomponente ergibt sich eine Rotationsgeschwindigkeit von $v \sin i = \frac{2\pi R_A}{P} \sin i = (91 \pm 7) \text{ km s}^{-1}$ (gebundene Rotation, übereinstimmende Inklination der Rotations- und Orbitachse), welche konsistent mit dem gemessenen Wert von $v \sin i = (110 \pm 12) \text{ km s}^{-1}$ ist. Auch die modellierte Oberflächenschwerkraft ist konsistent mit dem aus der Kreuzkorrelation der Vergleichsspektren an das HIRES Spektrum bestimmten Wert von $(\log g)_A = (3,8 \pm 0,8) \text{ dex}$.

Vergleich der gefundenen Massen mit Sternentstehungsmodellen

Die direkt bestimmten Parameter der doppellinigen, bedeckungsveränderlichen Doppelsterne 522 (\rightarrow Kapitel 5.2) und 118 (\rightarrow Kapitel 5.1) wurden mit verschiedenen Modelle zur Sternentwicklung verglichen. Die anderen beiden, einzellinigen Sterne wurden nicht genutzt, da Annahmen für die Masse der Primärkomponente gemacht werden mussten, um das System zu modellieren. Weiterhin ist beim Doppelstern 3132 ein Massentransfer zwischen den beiden Komponenten möglich, wodurch sich die Lage im Hertzsprung-Russell-Diagramm verändern kann.

Tabelle 5.8: Eigenschaften des bedeckungsveränderlichen Doppelsterns 3213. Die Bereiche der Werte für M , R und $\log g$ der beiden Komponenten ergeben sich aus dem Bereich der angenommenen großen Halbachsen a .

Eigenschaft	Wert	Eigenschaft	Wert	
System		Orbit		
$RA(J2000)$ [h:m:s]	21:37:11,2	P [d] ^c	$0,375879 \pm 0,000003$	
$Dec(J2000)$ [g:m:s]	+57:39:17	HJD_0 [d] ^d	$2455896.294 \pm 0,001$	
V [mag] ^a	$15,860 \pm 0,257$	i [°] ^d	$66,7 \pm 0,9$	
$B - V$ [mag] ^a	$1,208 \pm 0,184$	a/R_\odot	2,0 ... 2,2	
$V - R$ [mag] ^a	$0,865 \pm 0,209$	M_B/M_A ^d	0,25 ... 0,28	
$V - I$ [mag] ^a	$1,572 \pm 0,212$		A	B
2MASS J [mag] ^b	$13,152 \pm 0,024$	T_{eff} [K] ^{e,d}	4570 ± 300 ^e	$3380 \dots 3450$ ^d
2MASS H [mag] ^b	$12,502 \pm 0,029$	$v \sin i$ [km s ⁻¹] ^e	110 ± 12	
2MASS K [mag] ^b	$12,379 \pm 0,018$	M [M_\odot] ^d	0,60 ... 0,81	0,17 ... 0,20
		R [R_\odot] ^d	0,69 ... 0,78	0,55 ... 0,59
γ [km s ⁻¹] ^d	$-3,0 \pm 1,0$	$\log g$ [dex] ^d	4,54 ... 4,57	4,18 ... 4,21

^a Jena STK, ^b aus Skrutskie u. a. (2006), ^c mittels Pfadlängen-Algorithmus bestimmt, ^d aus der Modellierung mit PHOEBE, ^e aus der Kreuzkorrelation künstlicher Vergleichsspektren an das HIRES Spektrum

Für die Untersuchungen wurden die Modelle von Baraffe u. a. (1998) mit einer allgemeinen Mischungslänge (“general mixing length”) von 1 sowie 1,9 verwendet. Diese Modelle wurden für eine Metallizität $[M/H] = 0$ und eine Heliumhäufigkeit $Y = 0,275$ erstellt. Aus den in den Tabellen von Baraffe u. a. (1998) gegebenen Werten für $\frac{L}{L_\odot}$ und T_{eff} wurde der Radius mit Hilfe der sich aus der Leuchtkraft ergebenden Gleichung

$$\frac{R}{R_\odot} = \sqrt{\frac{L}{L_\odot} \frac{T_{\text{eff}\odot}^2}{T_{\text{eff}}^2}} \quad (5.2)$$

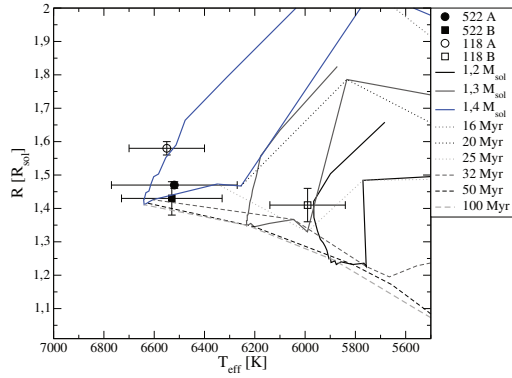
berechnet ($T_{\text{eff}\odot} = 5778$ K). Weiterhin wurden die Ergebnisse der Doppelsterne mit den Modellen von Siess u. a. (2000) verglichen. Für die Berechnungen dieser Modelle wurde ebenfalls solare Zusammensetzung angenommen ($Z = 0,02$ und $Y = 0,28$). Als drittes Modell wurden die Berechnungen von Tognelli u. a. (2011) verwendet. Aus dem verfügbaren Parameterraum wurden die Modelle für sonnenähnliche Sterne ($Z = 0,02$ und $Y = 0,275$) mit einer Deuteriumhäufigkeit von $4 \cdot 10^{-5}$ für zwei verschiedene allgemeine Mischungslängen (1,2 und 1,9) extrahiert.

Aus den Modellen wurden die Entwicklungswege für Sterne verschiedener Massen und die Isochronen extrahiert und zusammen mit den Ergebnissen der Doppelsterne in die Diagramme in Abbildung 5.8 eingetragen. Aus dem Vergleich der Position der Doppelsternkomponenten und Modellen wurden die Massen und Alter extrahiert und in Tabelle 5.9 dargestellt. Es zeigt sich, dass die meisten Massen konsistent mit den Werten sind, welche aus der Modellierung der photometrischen und spektroskopischen Daten und damit direkt bestimmt wurden. Nur die Masse der Sekundärkomponente des Systems 522 wird in den Modellen zu groß bestimmt. Für jedes Modell ergeben sich beim Vergleich des modellierten Alters beider Komponenten eines Doppelsternsystems konsistente Werte, wobei die Überschneidung der Altersbereiche sehr klein ist. Gleiche Alter werden erwartet, da beide Komponenten zur gleichen Zeit und aus der gleichen Gaswolke entstehen. Auch zwischen den Modellen sind die Werte vergleichbar. Die modellierten Alter beider Systeme sind ähnlich, wie es von der ähnlichen Stärke der Lithiumabsorption erwartet wird. Für die Modelle mit großer allgemeiner Mischungslänge ergibt sich eine Altersabschätzung von $\tau = (13 \dots 30)$ Myr. Für die anderen beiden Modelle liegen die Datenpunkte außerhalb des Modells (Baraffe u. a. 1998), bzw. umfassen den Bereich der Hauptreihe (Tognelli u. a. 2011) wodurch keine genaue Altersabschätzung möglich ist. Für System 522 wurde in Kapitel 5.2 eine wahrscheinliche Mitgliedschaft in Trumpler 37 bestimmt. Demzufolge sollten die Komponenten ein Alter von etwa 4 Myr (maximal 10 Myr) besitzen und die Radien entsprechend größer als $2 R_{\odot}$ sein. So große Radien sind jedoch nicht vereinbar mit dem Verlauf der Lichtkurve. Unter der Annahme, dass die Modelle korrekt sind, ist das System 522 doch kein Mitglied in Trumpler 37.

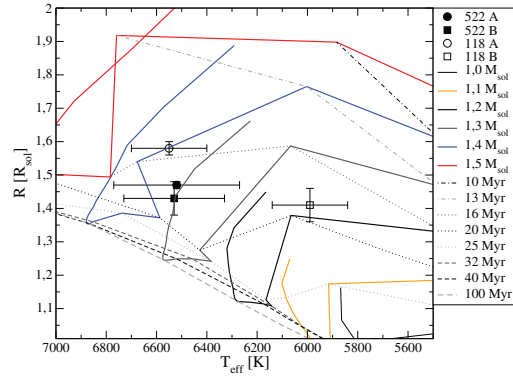
Tabelle 5.9: Aus den Modellen abgeleitete Massen und Alter. Zum Vergleich sind die mit PHOEBE modellierten Werte gegeben. Werte mit “–” zeigen einen Bereich außerhalb des Modells an.

	118 A	118 B	522 A	522 B
Aus der Modellierung mit PHOEBE				
T_{eff} [K]	6450 ± 150	5990 ± 150	6520 ± 250	6530 ± 200
M [M_{\odot}]	$1,39 \pm 0,02$	$1,30 \pm 0,02$	$1,30 \pm 0,01$	$1,24 \pm 0,01$
R [R_{\odot}]	$1,58 \pm 0,02$	$1,41 \pm 0,05$	$1,47 \pm 0,01$	$1,43 \pm 0,05$
Baraffe u. a. (1998) mit einer Mischungslänge von 1,0				
M [M_{\odot}]	1,4 ... 1,5	1,2 ... 1,3	1,3 ... 1,5	1,3 ... 1,5
τ [Myr]	–	20 ... 32	–	–
Baraffe u. a. (1998) mit einer Mischungslänge von 1,9				
M [M_{\odot}]	1,3 ... 1,5	1,15 ... 1,3	1,3 ... 1,5	1,3 ... 1,5
τ [Myr]	13 ... 16	16 ... 20	16 ... 20	16 ... 20
Siess u. a. (2000)				
M [M_{\odot}]	1,4 ... 1,6	1,2 ... 1,4	1,35 ... 1,5	1,3 ... 1,5
τ [Myr]	14 ... 17	17 ... 23	17 ... 26	20 ... 50
Tognelli u. a. (2011) mit einer Mischungslänge von 1,2				
M [M_{\odot}]	1,4 ... 1,5	1,2 ... 1,3	1,3 ... 1,5	1,3 ... 1,5
τ [Myr]	17 ... 25	25 ... 30	> 25	> 30
Tognelli u. a. (2011) mit einer Mischungslänge von 1,9				
M [M_{\odot}]	1,3 ... 1,5	1,2 ... 1,3	1,3 ... 1,5	1,3 ... 1,5
τ [Myr]	14 ... 17	16 ... 20	15 ... 18	16 ... 23

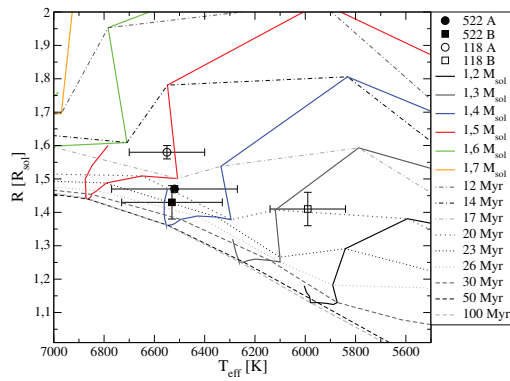
5.5. VERGLEICH MIT STERNENTSTEHUNGSMODELLEN



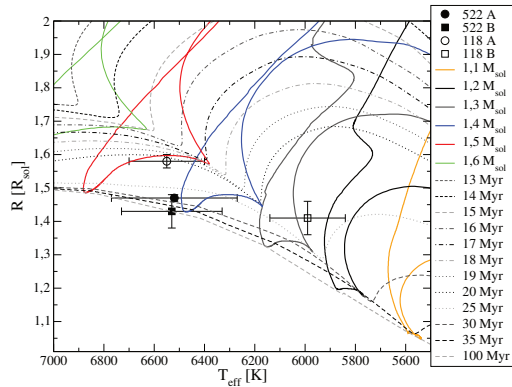
(a) Baraffe u. a. (1998) mit einer allgemeinen Mischungslänge von 1 (nur bis $1,4 M_{\odot}$)



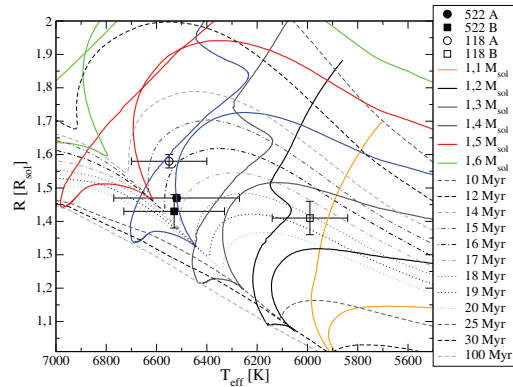
(b) Baraffe u. a. (1998) mit einer allgemeinen Mischungslänge von 1,9



(c) Siess u. a. (2000)



(d) Tognelli u. a. (2011) mit einer allgemeinen Mischungslänge von 1,2



(e) Tognelli u. a. (2011) mit einer allgemeinen Mischungslänge von 1,9

Abbildung 5.8: Für verschiedene Modelle sind die Entwicklungswege (farbige durchgezogene Linien) und Isochronen (graue unterbrochene Linien) der Vorhauptreihenentwicklung von Sternen zusammen mit den doppellinigen bedeckungsveränderlichen Doppelsternen dieser Arbeit dargestellt. Falls der Radius (in solaren Radien R_{\odot}) im Modell nicht gegeben war, wurde dieser mit Hilfe von Gleichung 5.2 berechnet. Die 100 Myr Isochrone markiert den Bereich der Hauptreihe. Mit Ausnahme von Siess u. a. (2000) zeigen die Modelle auch den Beginn der Nachhauptreihenentwicklung (Ende der Entwicklungswege).

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Transitplaneten in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37 gesucht und bedeckungsveränderliche Doppelsterne untersucht. Für diese Untersuchungen wurden mit Hilfe des YETI-Netzwerkes photometrische Daten während 793 Beobachtungsstunden gewonnen. Es wurden in dieser Arbeit Daten von 14 Teleskopen des Netzwerkes ausgewertet und zusammengefügt. Zwei Transitkandidaten wurden bei der Suche nach Transitsignalen mit Hilfe der Kastenanpassung gefunden. Für diese Sterne wurden die Nachbeobachtungen zum Ausschluss falsch-positiver Transitsignale durchgeführt. Für den Transitkandidat 1 (Stern 3218) zeigte sich, dass es sich um einen bedeckungsveränderlichen Doppelstern handelt. Bei dem Transitkandidat 2 (Stern 523) handelt es sich aufgrund eines hellen Objektes im hoch aufgelöstem AO-Bild wahrscheinlich um einen überblendeten bedeckungsveränderlicher Doppelstern. Weitere Daten sollen im Sommer 2016 für diesen Stern aufgenommen werden.

Für vier bedeckungsveränderliche Doppelsterne (118, 522, 2028, 3132) wurden ebenfalls Nachbeobachtungen (hochauflösende Spektren) durchgeführt. Dabei konnten die Orbitperioden weiter eingeschränkt werden und insbesondere bestimmt werden, ob es sich um ein System aus einer leuchtschwachen und einer leuchtstarken Komponente oder um ein System bestehend aus zwei ähnlich hellen Komponenten handelt. Die photometrischen und spektroskopischen Daten wurden gemeinsam analysiert, um die physikalischen Eigenschaften des Systems zu bestimmen. Für die Sterne 2028 und 3132 musste dabei eine Einschränkung der Masse vorgenommen werden, da nur die Spektrallinien der leuchtstärkeren Komponente zu sehen waren. Von den beiden helleren Sternen (118, 522) konnten die Spektrallinien beider Komponenten beobachtet werden. Die Systeme 118 und 522 wurden mit den Modellen der Sternentstehung verglichen. Es ergaben sich mit den aus der hoch aufgelösten Spektroskopie bestimmten Massen konsistente Werte. Auch die Alter der beiden Doppelsternkomponenten waren in sich konsistent.

Die in dieser Arbeit untersuchten Sterne sind mit Ausnahme des Sterns 118 dunkler als $V = 14,1$ mag. Für die Nachbeobachtungen waren daher lange Belichtungszeiten nötig. Trotzdem konnten nicht alle Informationen für eine vollständige Analyse der Doppelsterne gesammelt werden (zum Beispiel Spektrallinien der Sekundärkomponen-

te). So wäre hätte der junge Doppelstern 2028 einen wertvollen Datenpunkt beim Vergleich der Modelle geliefert, wenn die Radialgeschwindigkeit der Sekundärkomponente bestimmbar gewesen wäre. Das erreichbare Signal-zu-Rausch Verhältnis pro Zeiteinheit für die Mitgliedssterne von Trumpler 37 limitierte die Suche nach Transits auf planetare Radien von mindestens einem Jupiterradius. Eine längere Belichtungszeit hätte dieses Limit leicht verringern können, so wird beispielsweise die vierfache Belichtungszeit für eine Halbierung der Streuung der Lichtkurven benötigt. Dadurch könnten die Signale von 30% kleineren Planeten als zuvor detektiert werden, jedoch würde viel Zeitauflösung verloren gehen und zusätzlich die hellen Sterne im Gesichtsfeld durch auslaufende Pixel große Bereiche des CCD für die Photometrie unzugänglich machen. Für die weitere Suche nach Transitplaneten in jungen Sternhaufen sind daher näher gelegene Sternhaufen geeigneter, da diese hellere Mitgliedssterne besitzen. Dies wurde bei der Auswahl der weiteren Sternhaufen für die Untersuchung mit dem YETI-Netzwerk beachtet. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass diese Sternhaufen weniger Mitglieder besitzen, bzw. diese über einen größeren Bereich des Himmels verteilt sind.

Für die zukünftige Analyse kann die Auswertung der photometrischen Daten noch verbessert und dadurch eventuell Lichtkurven mit geringerer Streuung erzeugt werden. In dieser Arbeit wurde bei der Aperturphotometrie die Apertur für alle Sterne und Einzelaufnahmen einer Nacht fixiert und erst die differentielle Photometrie mit einer Untergruppe an Vergleichssterne durchgeführt. Eine Möglichkeit der Verbesserung wäre, die Aperturphotometrie mit einer, anhand des interessanten Sterns und der Vergleichssterne optimierten Apertur durchzuführen. Für diesen Fall könnte die PSF-Photometrie ebenfalls zu Lichtkurven mit geringerer Streuung führen, da die Vergleichssterne in einem begrenzten Teil des Bildfeldes liegen und daher die differentiellen Feldverzerrungen geringer sind.

Es konnte gezeigt werden, dass die Beobachtung mit Netzwerken bodengebundener Teleskope eine gute Methode zur Suche nach heißen Jupitern ist. Leider konnten die beiden Kandidaten nicht bestätigt werden. Eine weitere Untersuchung von offenen jungen offenen Sternhaufen mit einem Netzwerk von Teleskopen ist jedoch sinnvoll. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass die photometrische Qualität der Daten zwischen den Teleskopen ähnlich ist.

Literaturverzeichnis

- Aceituno, J.; Sánchez, S. F.; Grupp, F. u. a., 2013. *CAFE: Calar Alto Fiber-fed Échelle spectrograph*. A&A, 552, A31.
- Alves, J. & Bouy, H., 2012. *Orion revisited. I. The massive cluster in front of the Orion nebula cluster*. A&A, 547, A97.
- Anglada-Escudé, G.; Arriagada, P.; Vogt, S. S. u. a., 2012. *A Planetary System around the nearby M Dwarf GJ 667C with At Least One Super-Earth in Its Habitable Zone*. ApJL, 751, L16.
- Aoki, W., 2008. *Data reduction of echelle spectra with IRAF, Version 1.1*. <http://www.subarutelescope.org/Observing/Instruments/HDS/specana2014.10e.pdf>. [Online; abgerufen 2010].
- Baraffe, I.; Chabrier, G.; Allard, F. & Hauschildt, P. H., 1998. *Evolutionary models for solar metallicity low-mass stars: mass-magnitude relationships and color-magnitude diagrams*. A&A, 337, 403–412.
- Bayo, A.; Barrado, D.; Stauffer, J. u. a., 2011. *Spectroscopy of very low mass stars and brown dwarfs in the Lambda Orionis star forming region. I. Enlarging the census down to the planetary mass domain in Collinder 69*. A&A, 536, A63.
- Bertin, E. & Arnouts, S., 1996. *SExtractor: Software for source extraction*. A&AS, 117, 393–404.
- Bessell, M. S., 1990. *UBVRI passbands*. PASP, 102, 1181–1199.
- Bodenheimer, P.; Lin, D. N. C. & Mardling, R. A., 2001. *On the Tidal Inflation of Short-Period Extrasolar Planets*. ApJ, 548, 466–472.
- Briceño, C.; Calvet, N.; Hernández, J. u. a., 2005. *The CIDA Variability Survey of Orion OB1. I. The Low-Mass Population of Ori OB1a and 1b*. AJ, 129, 907–926.
- Briceño, C.; Hartmann, L.; Hernández, J. u. a., 2007. *25 Orionis: A Kinematically Distinct 10 Myr Old Group in Orion OB1a*. ApJ, 661, 1119–1128.
- Broeg, C.; Fernández, M. & Neuhäuser, R., 2005. *A new algorithm for differential photometry: computing an optimum artificial comparison star*. Astronomische Nachrichten, 326, 134–142.
- Brown, T. M., 2003. *Expected Detection and False Alarm Rates for Transiting Jovian Planets*. ApJL, 593, L125–L128.
- Bruton, D., 2004. *Heliocentric Julian Day Converter*. <http://www.physics.sfasu.edu/astro/javascript/hjd.html>. [Online; abgerufen 2011].

- Burke, C. J.; Christiansen, J. L.; Mullally, F. u. a., 2015. *Terrestrial Planet Occurrence Rates for the Kepler GK Dwarf Sample*. ApJ, 809, 8.
- Campante, T. L.; Lund, M. N.; Kuzlewicz, J. S. u. a., 2016. *Spin-Orbit Alignment of Exoplanet Systems: Ensemble Analysis Using Asteroseismology*. ApJ, 819, 85.
- Cardelli, J. A.; Clayton, G. C. & Mathis, J. S., 1989. *The relationship between infrared, optical, and ultraviolet extinction*. ApJ, 345, 245–256.
- Carpenter, J., 2003. *Color Transformations for the Final 2MASS Data Release*. <http://www.astro.caltech.edu/~jmc/2mass/v3/transformations/>. [Online; abgerufen am 2013-02-15].
- Cieza, L.; Williams, J.; Kourkchi, E. u. a., 2015. *A SCUBA-2 850- μ m survey of protoplanetary discs in the IC 348 cluster*. MNRAS, 454, 1909–1920.
- Contreras, M. E.; Sicilia-Aguilar, A.; Muzerolle, J. u. a., 2002. *A Study of Intermediate-Mass Stars in Trumpler 37*. AJ, 124, 1585–1592.
- Cousins, A. W. J., 1976. *VRI standards in the E regions*. MmRAS, 81, 25.
- Covino, E.; Alcalá, J. M.; Allain, S. u. a., 1997. *A study of the Chamaeleon star-forming region from the ROSAT all-sky survey. III. High resolution spectroscopic study*. A&A, 328, 187–202.
- Currie, T.; Hernandez, J.; Irwin, J. u. a., 2010. *The Stellar Population of h and χ Persei: Cluster Properties, Membership, and the Intrinsic Colors and Temperatures of Stars*. ApJS, 186, 191–221.
- Dahm, S. E., 2008. *The Young Cluster and Star Forming Region NGC 2264*, 966.
- Davis, L., 1987. *Specifications for the Aperture Photometry Package*. <ftp://iraf.noao.edu/iraf/docs/apspec.ps.Z>. [Online; abgerufen am 2016-03].
- Devillard, N., 1997. *The eclipse software*. The Messenger, 87, 19–20.
- Diolaiti, E.; Bendinelli, O.; Bonaccini, D. u. a., 2000. *StarFinder: an IDL GUI-based code to analyze crowded fields with isoplanatic correcting PSF fitting*. In P. L. Wizinowich, Verleger, *Adaptive Optical Systems Technology*, Band 4007 von *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 879–888.
- Dommanget, J. & Nys, O., 2002. *VizieR Online Data Catalog: CCDM (Catalog of Components of Double & Multiple stars) (Dommanget+ 2002)*. VizieR Online Data Catalog, 1274.
- Downes, J. J.; Briceño, C.; Mateu, C. u. a., 2014. *The low-mass star and sub-stellar populations of the 25 Orionis group*. MNRAS, 444, 1793–1811.
- Dworetzky, M. M., 1983. *A period-finding method for sparse randomly spaced observations of 'How long is a piece of string?'*. MNRAS, 203, 917–924.
- Eastman, J.; Gaudi, B. S. & Agol, E., 2013. *EXOFAST: A Fast Exoplanetary Fitting Suite in IDL*. PASP, 125, 83–112.

- Eastman, J.; Siverd, R. & Gaudi, B. S., 2010. *Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in the Heliocentric and Barycentric Julian Dates*. PASP, 122, 935–946.
- Errmann, R., Verleger, 2010. *Variabilität junger Sterne im Sternenhaufen Trumpler 37* (Diplomarbeit). Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Errmann, R.; Neuhäuser, R.; Marschall, L. u. a., 2013. *The stellar content of the young open cluster Trumpler 37*. Astronomische Nachrichten, 334, 673–681.
- Errmann, R.; Torres, G.; Schmidt, T. O. B. u. a., 2014. *Investigation of a transiting planet candidate in Trumpler 37: An astrophysical false positive eclipsing spectroscopic binary star*. Astronomische Nachrichten, 335, 345.
- Galvagni, M. & Mayer, L., 2014. *Early evolution of clumps formed via gravitational instability in protoplanetary discs: precursors of Hot Jupiters?* MNRAS, 437, 2909–2921.
- Garai, Z.; Pribulla, T.; Hambálek, L. u. a., 2016. *Search for transiting exoplanets and variable stars in the open cluster NGC 7243*. Astronomische Nachrichten, 337, 261–285.
- Garrison, R. F. & Kormendy, J., 1976. *Some characteristics of the young open cluster Trumpler 37*. PASP, 88, 865–869.
- Gazak, J. Z.; Johnson, J. A.; Tonry, J. u. a., 2012. *Transit Analysis Package: An IDL Graphical User Interface for Exoplanet Transit Photometry*. Advances in Astronomy, 2012, 697967.
- Giesecking, F., 1976. *New Variable Stars in the Region of IC 1396*. Information Bulletin on Variable Stars, 1145.
- Gray, O. R., 2010. *SPECTRUM - A Stellar Spectral Synthesis Program*. <http://www.appstate.edu/~grayro/spectrum/spectrum.html>. [Online; abgerufen am 2014-03-24].
- Greif, J., Verleger, 2015. *Helligkeitsvariationen von Sternen in der scheinbaren Umgebung des Sternhaufens Trümpler 37* (Masterarbeit). Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Groom, D., 2002. *Cosmic rays and other nonsense in astronomical CCD imagers*. Experimental Astronomy, 14, 45–55.
- GTC, 2015. *Atmospheric Refraction Calculator*. <http://gtc-phase2.gtc.iac.es/science/astroweb/atmosRefraction.php>. [Online; abgerufen am 2015-12-08].
- Haisch, K. E., Jr.; Lada, E. A. & Lada, C. J., 2001. *Disk Frequencies and Lifetimes in Young Clusters*. ApJL, 553, L153–L156.
- Hatzes, A. P., 1995. *Doppler Imaging of the Cool SPOT Distribution on the Weak T Tauri Star V410 Tauri*. ApJ, 451, 784.

- Hauschildt, P. H.; Allard, F.; Ferguson, J. u. a., 1999. *The NEXTGEN Model Atmosphere Grid. II. Spherically Symmetric Model Atmospheres for Giant Stars with Effective Temperatures between 3000 and 6800 K.* ApJ, 525, 871–880.
- Heintz, W. D., 1974. *Astrometric study of four visual binaries.* AJ, 79, 819–825.
- Herbig, G. H., 1998. *The Young Cluster IC 348.* ApJ, 497, 736–758.
- Hernandez, J.; Briceño, C.; Calvet, N. u. a., 2015. . <http://dept.astro.lsa.umich.edu/~hernandj/SPTclass/sptclass.html>. [Online; abgerufen am 2012-03-14].
- Hodgkin, S. T.; Irwin, J. M.; Aigrain, S. u. a., 2006. *Monitor: transiting planets and brown dwarfs in star forming regions and young open clusters.* Astronomische Nachrichten, 327, 9–13.
- Howell, S. B., 2000. *Handbook of CCD Astronomy.* Cambridge University Press.
- Irwin, J.; Aigrain, S.; Hodgkin, S. u. a., 2007. *The Monitor project: JW 380 - a 0.26-, 0.15- M_{solar} , pre-main-sequence eclipsing binary in the Orion nebula cluster.* MNRAS, 380, 541–550.
- Jilinski, E. G.; Frolov, V. N.; Ananjevskaja, J. K. u. a., 2003. *Memberships and CM diagrams of the open cluster NGC 7243.* A&A, 401, 531–541.
- Johnson, H. L., 1965. *Interstellar Extinction in the Galaxy.* ApJ, 141, 923.
- Johnson, H. L. & Morgan, W. W., 1953. *Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas.* ApJ, 117, 313.
- Kennedy, G. M. & Kenyon, S. J., 2008. *Planet Formation around Stars of Various Masses: The Snow Line and the Frequency of Giant Planets.* ApJ, 673, 502–512.
- Kenworthy, M. A.; Lacour, S.; Kraus, A. u. a., 2015. *Mass and period limits on the ringed companion transiting the young star J1407.* MNRAS, 446, 411–427.
- Kenyon, S. J. & Hartmann, L., 1995. *Pre-Main-Sequence Evolution in the Taurus-Auriga Molecular Cloud.* ApJS, 101, 117–+.
- Khaliullin, K. F. & Khaliullina, A. I., 2011. *Orbital circularization of close binary stars on the pre-main sequence.* MNRAS, 411, 2804–2816.
- Kobayashi, N.; Tokunaga, A. T.; Terada, H. u. a., 2000. *IRCS: infrared camera and spectrograph for the Subaru Telescope.* In M. Iye & A. F. Moorwood, Verleger, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, Band 4008 von *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 1056–1066.
- Kun, M., 1986. *H-alpha emission stars in the region of IC 1396.* Ap&SS, 125, 13–31.
- Kun, M.; Kiss, Z. T. & Balog, Z., 2008. *Star forming regions in cepheus.* In B. Reipurth, Verleger, *Handbook of Star Forming Regions.* Astronomical Society of the Pacific.
- Kun, M. & Pasztor, L., 1990. *Solar-type stars in Cepheus OB 2 - H-alpha emission stars and IRAS point sources.* Ap&SS, 174, 13–47.

- Kurtz, M. J. & Mink, D. J., 1998. *RVSAO 2.0: Digital Redshifts and Radial Velocities*. PASP, 110, 934–977.
- Latham, D. W.; Bakos, G. Á.; Torres, G. u. a., 2009. *Discovery of a Transiting Planet and Eight Eclipsing Binaries in HATNet Field G205*. ApJ, 704, 1107–1119.
- Lucy, L. B., 1968. *The Structure of Contact Binaries*. ApJ, 151, 1123.
- Maciejewski, G.; Dimitrov, D.; Seeliger, M. u. a., 2013. *Multi-site campaign for transit timing variations of WASP-12 b: possible detection of a long-period signal of planetary origin*. A&A, 551, A108.
- Maciejewski, G.; Errmann, R.; Raetz, S. u. a., 2011a. *High-precision photometry of WASP-12 b transits*. A&A, 528, A65.
- Maciejewski, G.; Seeliger, M.; Adam, C. u. a., 2011b. *Refining Parameters of the XO-5 Planetary System with High-Precision Transit Photometry*. Acta Astronomica, 61, 25–35.
- Mamajek, E. E.; Meyer, M. R.; Hinz, P. M. u. a., 2004. *Constraining the Lifetime of Circumstellar Disks in the Terrestrial Planet Zone: A Mid-Infrared Survey of the 30 Myr old Tucana-Horologium Association*. ApJ, 612, 496–510.
- Mandel, K. & Agol, E., 2002. *Analytic Light Curves for Planetary Transit Searches*. ApJL, 580, L171–L175.
- Marschall, L. A. & van Altena, W. F., 1987. *Membership in the young cluster Trumpler 37*. AJ, 94, 71–83.
- Mayor, M. & Queloz, D., 1995. *A Jupiter-mass companion to a solar-type star*. Nature, 378, 355–359.
- Mercer, E. P.; Miller, J. M.; Calvet, N. u. a., 2009. *Chandra and Spitzer Observations Reveal New YSOs in the Heart of Trumpler 37*. AJ, 138, 7–18.
- Mermilliod, J.-C.; Paunzen, E.; Stütz, C. & Janik, J., 2009. *WEBDA - a site devoted to stellar clusters in the galaxy and the magellanic clouds*. Website. http://www.univie.ac.at/webda/cgi-bin/frame_list.cgi?tr37.
- Morales-Calderón, M.; Stauffer, J. R.; Rebull, L. u. a., 2009. *Mid-Infrared Variability of Protostars in IC 1396A*. ApJ, 702, 1507–1529.
- Moro, D. & Munari, U., 2000. *The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). I. Census parameters for 167 photometric systems*. A&AS, 147, 361–628.
- Mugrauer, M., 2009. *CTK: A new CCD Camera at the University Observatory Jena*. Astronomische Nachrichten, 330, 419.
- , 2016. *CTK-II & RTK: The CCD-cameras operated at the auxiliary telescopes of the University Observatory Jena*. Astronomische Nachrichten, 337, 226–234.
- Mugrauer, M. & Berthold, T., 2010. *STK: A new CCD camera at the University Observatory Jena*. Astronomische Nachrichten, 331, 449–+.

- Neuhäuser, R., 1997. *Low-mass pre-main sequence stars and their X-ray emission*. Science, 276, 1363–1370.
- Neuhäuser, R.; Errmann, R.; Berndt, A. u. a., 2011. *The Young Exoplanet Transit Initiative (YETI)*. Astronomische Nachrichten, 332, 547.
- Neuhäuser, R.; Walter, F. M.; Covino, E. u. a., 2000. *Search for young stars among ROSAT All-Sky Survey X-ray sources in and around the R CrA dark cloud*. A&AS, 146, 323–347.
- Noguchi, K.; Aoki, W.; Kawanomoto, S. u. a., 2002. *High Dispersion Spectrograph (HDS) for the Subaru Telescope*. PASJ, 54, 855–864.
- O’Donovan, F. T.; Charbonneau, D.; Torres, G. u. a., 2006. *Rejecting Astrophysical False Positives from the TrES Transiting Planet Survey: The Example of GSC 03885-00829*. ApJ, 644, 1237–1245.
- Piau, L. & Turck-Chièze, S., 2002. *Lithium Depletion in Pre-Main-Sequence Solar-like Stars*. ApJ, 566, 419–434.
- Poddaný, S., 2009. *How to use the Phoebe code to solve transiting exoplanet light curve*. In F. Pont, D. Sasselov, & M. J. Holman, Verleger, *Transiting Planets*, Band 253 von *IAU Symposium*, 398–401.
- Poddaný, S.; Brát, L. & Pejcha, O., 2010. *Exoplanet Transit Database. Reduction and processing of the photometric data of exoplanet transits*. New Astronomy, 15, 297–301.
- Portegies Zwart, S. F. & McMillan, S. L. W., 2005. *Planets in Triple Star Systems: The Case of HD 188753*. ApJL, 633, L141–L144.
- Prsa, A.; Matijevic, G.; Latkovic, O. u. a., 2011. *PHOEBE: PHysics Of Eclipsing BinariEs*. Astrophysics Source Code Library.
- Prša, A. & Zwitter, T., 2005. *A Computational Guide to Physics of Eclipsing Binaries. I. Demonstrations and Perspectives*. ApJ, 628, 426–438.
- Rieke, G. H. & Lebofsky, M. J., 1985. *The interstellar extinction law from 1 to 13 microns*. ApJ, 288, 618–621.
- Roeser, S.; Demleitner, M. & Schilbach, E., 2010. *The PPMXL Catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS)*. AJ, 139, 2440–2447.
- Ruciński, S. M., 1969. *The Proximity Effects in Close Binary Systems. II. The Bolometric Reflection Effect for Stars with Deep Convective Envelopes*. Acta Astronomica, 19, 245.
- Savage, B. D. & Mathis, J. S., 1979. *Observed properties of interstellar dust*. ARA&A, 17, 73–111.

- Scargle, J. D., 1982. *Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data.* ApJ, 263, 835–853.
- Schmidt-Kaler, T., 1982. *4.1.1 Classification of stellar spectra.* In K. Schaifers & H. H. Voigt, Verleger, *Landolt-Börnstein.* Springer Verlag.
- Sicilia-Aguilar, A.; Hartmann, L.; Calvet, N. u. a., 2006a. *Disk Evolution in Cep OB2: Results from the Spitzer Space Telescope.* ApJ, 638, 897–919.
- Sicilia-Aguilar, A.; Hartmann, L. W.; Briceño, C. u. a., 2004. *Low-Mass Stars and Accretion at the Ages of Planet Formation in the Cepheus OB2 Region.* AJ, 128, 805–821.
- Sicilia-Aguilar, A.; Hartmann, L. W.; Fürész, G. u. a., 2006b. *High-Resolution Spectroscopy in Tr 37: Gas Accretion Evolution in Evolved Dusty Disks.* AJ, 132, 2135–2155.
- Sicilia-Aguilar, A.; Hartmann, L. W.; Hernández, J. u. a., 2005. *Cepheus OB2: Disk Evolution and Accretion at 3-10 Myr.* AJ, 130, 188–209.
- Sicilia-Aguilar, A.; Kim, J. S.; Sobolev, A. u. a., 2013. *The low-mass stellar population in the young cluster Tr 37. Disk evolution, accretion, and environment.* A&A, 559, A3.
- Sicilia-Aguilar, A.; Roccatagliata, V.; Getman, K. u. a., 2015. *The Herschel/PACS view of the Cep OB2 region: Global protoplanetary disk evolution and clumpy star formation.* A&A, 573, A19.
- Siess, L.; Dufour, E. & Forestini, M., 2000. *An internet server for pre-main sequence tracks of low- and intermediate-mass stars.* A&A, 358, 593–599.
- Silva, D. R. & Cornell, M. E., 1992. *A new library of stellar optical spectra.* ApJS, 81, 865–881.
- Simonson, S. C., III, 1968. *A Spectroscopic and Photometric Investigation of the Association Cepheus OB2.* ApJ, 154, 923.
- Skrutskie, M. F.; Cutri, R. M.; Stiening, R. u. a., 2006. *The Two Micron All Sky Survey (2MASS).* AJ, 131, 1163–1183.
- Soderblom, D. R.; Hillenbrand, L. A.; Jeffries, R. D. u. a., 2014. *Ages of Young Stars. Protostars and Planets VI,* 219–241.
- Soubiran, C.; Jasniewicz, G.; Chemin, L. u. a., 2013. *The catalogue of radial velocity standard stars for Gaia. I. Pre-launch release.* A&A, 552, A64.
- Southworth, J.; Hinse, T. C.; Jørgensen, U. G. u. a., 2009. *High-precision photometry by telescope defocusing - I. The transiting planetary system WASP-5.* MNRAS, 396, 1023–1031.
- Stauffer, J. R.; Schultz, G. & Kirkpatrick, J. D., 1998. *Keck Spectra of Pleiades Brown Dwarf Candidates and a Precise Determination of the Lithium Depletion Edge in the Pleiades.* ApJL, 499, L199–L203.

- Steffen, J. H.; Ragozzine, D.; Fabrycky, D. C. u. a., 2012. *Kepler constraints on planets near hot Jupiters*. Proceedings of the National Academy of Science, 109, 7982–7987.
- Street, R. A.; Collier Cameron, A.; Maxted, P. u. a., 2007. *First Results from Super-WASP*. In C. Afonso, D. Wel Drake, & T. Henning, Verleger, *Transiting Extrapolar Planets Workshop*, Band 366 von *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 139.
- Szentgyorgyi, A.; Furesz, G.; Cheimets, P. u. a., 2011. *Hectochelle: A Multiobject Optical Echelle Spectrograph for the MMT*. PASP, 123, 1188–1209.
- Szentgyorgyi, A. H.; Cheimets, P.; Eng, R. u. a., 1998. *Hectochelle: a multiobject echelle spectrograph for the converted MMT*. In S. D’Odorico, Verleger, *Optical Astronomical Instrumentation*, Band 3355 von *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 242–252.
- Tajitsu, A.; Aoki, W.; Kawanomoto, S. & Narita, N., 2010. *Nonlinearity in the Detector used in the Subaru Telescope High Dispersion Spectrograph*. Publ. of National Astronomical Observatory of Japan, 13, 1–8.
- Takami, H.; Colley, S.; Dinkins, M. u. a., 2006. *Status of Subaru laser guide star AO system*. In *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, Band 6272 von *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 0.
- Tody, D., 1993. *IRAF in the Nineties*. In R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden, & J. Barnes, Verleger, *Astronomical Data Analysis Software and Systems II*, Band 52 von *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, 173.
- Tognelli, E.; Prada Moroni, P. G. & Degl’Innocenti, S., 2011. *The Pisa pre-main sequence tracks and isochrones. A database covering a wide range of Z, Y, mass, and age values*. A&A, 533, A109.
- Tokovinin, A. A., 1997. *MSC - a catalogue of physical multiple stars*. A&AS, 124.
- Tokunaga, A. T.; Simons, D. A. & Vacca, W. D., 2002. *The Mauna Kea Observatories Near-Infrared Filter Set. II. Specifications for a New JHKL’M’ Filter Set for Infrared Astronomy*. PASP, 114, 180–186.
- Triaud, A. H. M. J.; Collier Cameron, A.; Queloz, D. u. a., 2010. *Spin-orbit angle measurements for six southern transiting planets. New insights into the dynamical origins of hot Jupiters*. A&A, 524, A25.
- Trumpler, R. J., 1930. *Preliminary results on the distances, dimensions and space distribution of open star clusters*. Lick Observatory Bulletin, 14, 154–188.
- Valdes, F.; Gupta, R.; Rose, J. A. u. a., 2004. *The Indo-US Library of Coudé Feed Stellar Spectra*. ApJS, 152, 251–259.

- Vogt, S. S.; Allen, S. L.; Bigelow, B. C. u. a., 1994. *HIRES: the high-resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m Telescope*. In D. L. Crawford & E. R. Craine, Verleger, *Instrumentation in Astronomy VIII*, Band 2198 von *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, 362.
- Weidenschilling, S. J. & Marzari, F., 1996. *Gravitational scattering as a possible origin for giant planets at small stellar distances*. *Nature*, 384, 619–621.
- White, R. J.; Gabor, J. M. & Hillenbrand, L. A., 2007. *High-Dispersion Optical Spectra of Nearby Stars Younger Than the Sun*. *AJ*, 133, 2524–2536.
- Wu, Z.-Y.; Zhou, X.; Ma, J. u. a., 2007. *BATC 13 Band Photometry of the Open Cluster NGC 7789*. *AJ*, 133, 2061–2071.
- Zacharias, N.; Finch, C. T.; Girard, T. M. u. a., 2013. *The Fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4)*. *AJ*, 145, 44.
- Zahn, J.-P., 1977. *Tidal friction in close binary stars*. *A&A*, 57, 383–394.
- Zechmeister, M. & Kürster, M., 2009. *The generalised Lomb-Scargle periodogram. A new formalism for the floating-mean and Keplerian periodograms*. *A&A*, 496, 577–584.

Unterstützende Erläuterungen

Helligkeitsschwankungen welche durch Erdatmosphäre oder Instrumentierung verursacht werden

Bei den verschiedenen Untersuchungsmethoden wurden in den Lichtkurven eine hohe Anzahl an Signalen gefunden, welche keine stellaren Ursachen haben. Im Folgenden werden diese kurz erläutert.

1. Sterne können aufgrund leichter Abweichung der Nachführung des Teleskops gegenüber der Erdrotation über einen Eiskristall wandern, welcher sich auf der CCD während der Beobachtung gebildet hat. Dabei erscheint der Stern in der Nähe der Kante des Eiskristalls dunkler, da ein Teil des Lichtes reflektiert wird und heller, wenn sich der Stern mehr zentriert befindet und Licht von einem weiteren Stern hinein gebrochen wird (Abbildung A.1).

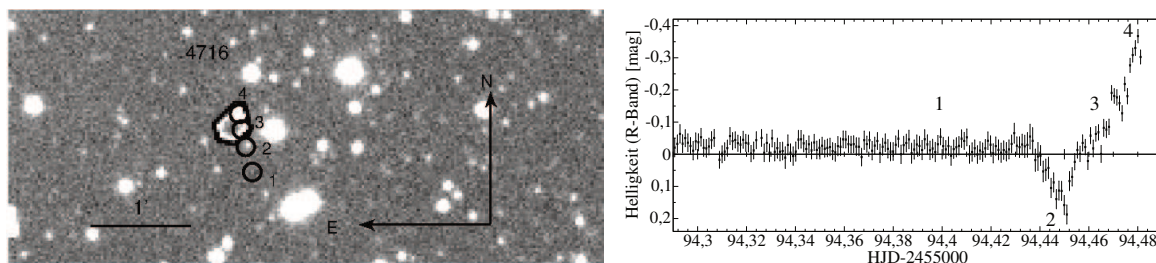


Abbildung A.1: Abbildung der Aufnahme und die dazugehörigen Lichtkurve für den Stern 4716, welcher aufgrund ungenauer Nachführung des Teleskops über einen Eiskristall (sechseckiges Gebilde) wandert. In der Aufnahme ist die scheinbare Bewegung des Sterns durch vier Positionen markiert, wobei die letzte Position jener in der gezeigten Aufnahme entspricht. (Jena STK, Nacht 2009-09-19, Bild 200, 60 s Belichtungszeit, $1' \hat{=} 37$ px)

2. Ein ähnlicher Effekt ergibt sich, wenn ein Stern über die Reflexion von HD 206267 an der Kamerahalterung auf dem CCD wandert. Dadurch gelangt zeitweilig mehr Licht in die Apertur, während der Hintergrund fast unverändert bleibt (Abbildung A.2).

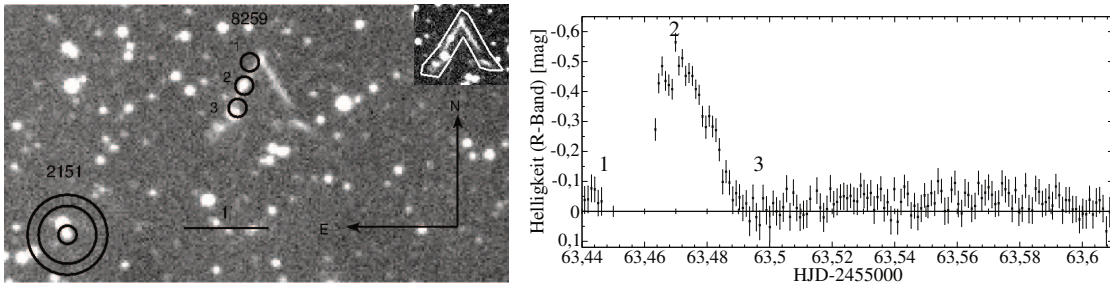


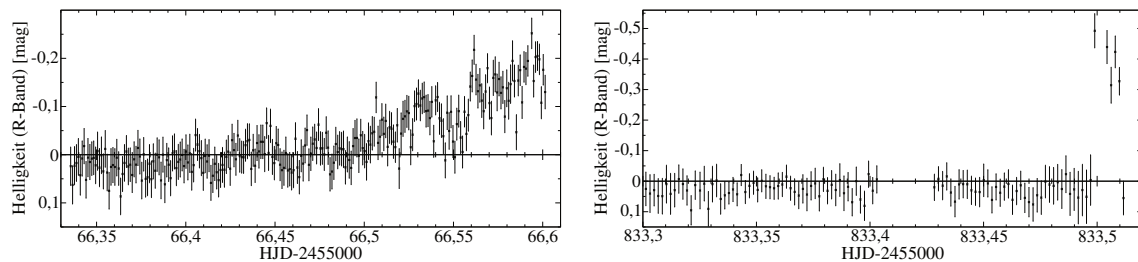
Abbildung A.2: Abbildung der Aufnahme und die dazugehörigen Lichtkurve für den Stern 8259, welcher über die Reflexion von HD 206267 an der Kamerahalterung wandert (kleines Bild). Diese ist im kleinen Bild nochmals markiert. In der Aufnahme ist die scheinbare Bewegung des Sterns durch drei Positionen markiert, wobei die Position Nummer 2 der Position in der gezeigten Aufnahme entspricht (Jena STK, Nacht 2009-08-19, Bild 31, 60 s Belichtungszeit, $1' \hat{=} 37$ px). Die Lücke in der Lichtkurve ist durch eine kurzzeitige Beobachtungslücke wegen Wolkendurchzug entstanden. Zusätzlich wurde in der Aufnahme die Apertur und der Annulus des Sterns 2151 markiert, für welchen sich bei Änderung des Seeings⁴² und der damit verbundenen Änderung der FWHM des nahen, helleren Nachbarsterns 870 (oberhalb der Apertur) Helligkeitsvariationen ergeben können.

3. Durch die Veränderung der atmosphärischen Bedingungen im Verlauf der Nacht kann sich der Anteil des Lichts, welches von einem nahen Nachbarstern in die Apertur fällt, verändern. Ein kurzzeitiges schlechteres Seeing⁴² erhöht dabei die Helligkeit in der entsprechenden Zeit. Eine Beispiellichtkurve ist für Stern 2449 in Abbildung A.3(a) dargestellt, während die grundsätzliche geometrische Situation für Stern 2151 in der Aufnahme in Abbildung A.2 markiert wurde. Dieser Effekt wurde durch Auswertung der engen Sterne mittels einer deutlich kleineren Apertur umgangen. Es würde bei der Verwendung von PSF-Photometrie⁴³ nur sehr geschwächt auftreten.

⁴²Das Seeing gibt die Bildschärfe aufgrund von Luftunruhe an. Dadurch zerfällt die Airy-Scheibe von punktförmigen Sternen in Speckle, welche sich schnell mit der Zeit ändern. In einer mehrere Sekunden langen Belichtung mittelt sich die Position und Form der Speckle, daher ergibt sich für Sterne eine gaußförmige Profil.

⁴³Bei der PSF-Photometrie wird ein Modell der Punktbildfunktion (‘‘Point-Spread-Function’’ - PSF) an die Punktbildfunktionen der einzelnen Sterne angepasst und aus der Skalierung die Helligkeit bestimmt. Diese Methode hat gegenüber der Aperturphotometrie den Vorteil, dass damit sich überlappende PSFs verschiedener Sterne aufgelöst werden können, jedoch den Nachteil, dass die Punktbildfunktion über das gesamte Bildfeld konstant sein muss. Letzteres ist nicht für alle YETI-Teleskope gegeben.

4. Durch die Weißlichtkorrektur wurden nicht alle Sensitivitätsunterschiede einzelner Pixel korrigiert. Dies war insbesondere der Fall, wenn über einen langen Zeitraum keine Weißlichtaufnahmen gemacht werden konnten, da der Himmel in der Dämmerung bewölkt war. Wandert ein Stern aufgrund leichter Abweichung der Nachführung der Erdrotation über ein weniger oder stärker empfindliches Pixel, so wird die Lichtkurve entsprechend Helligkeitseinbrüche oder -ausbrüche zeigen (Abbildung A.3(b)).



(a) Lichtkurve des Sterns 2449

(b) Lichtkurve des Sterns 2974

Abbildung A.3: (a) Stern 2449 wird aufgrund von Seeing-Abnahme heller, da von einem hellen Nachbarstern mehr Licht in die Apertur gelangt. (b) Stern 2974 wandert über ein empfindlicheres Pixel und zeigt daher einen kurzzeitigen Helligkeitsanstieg. Die Beobachtungslücke wurde aufgrund von Wolkendurchzug hervorgerufen.

Aus diesen Gründen ist insbesondere bei der Suche nach irregulärer Variabilität ein Betrachten der reduzierten oder originalen Aufnahmen nötig, wenn die Nachführung des Teleskops nicht perfekt ist, bzw. kein Autoguiding verwendet wird. Dieser Schritt ist jedoch für die Anzahl an Sternen und Beobachtungsnächten sehr zeitintensiv. In dieser Arbeit wurde ausschließlich auf periodische Signale und dabei vorwiegend auf bedeckungsveränderliche Sterne eingegangen.

Prinzipieller Aufbau der Systeme, welche zu transitförmigen Signalen führen können

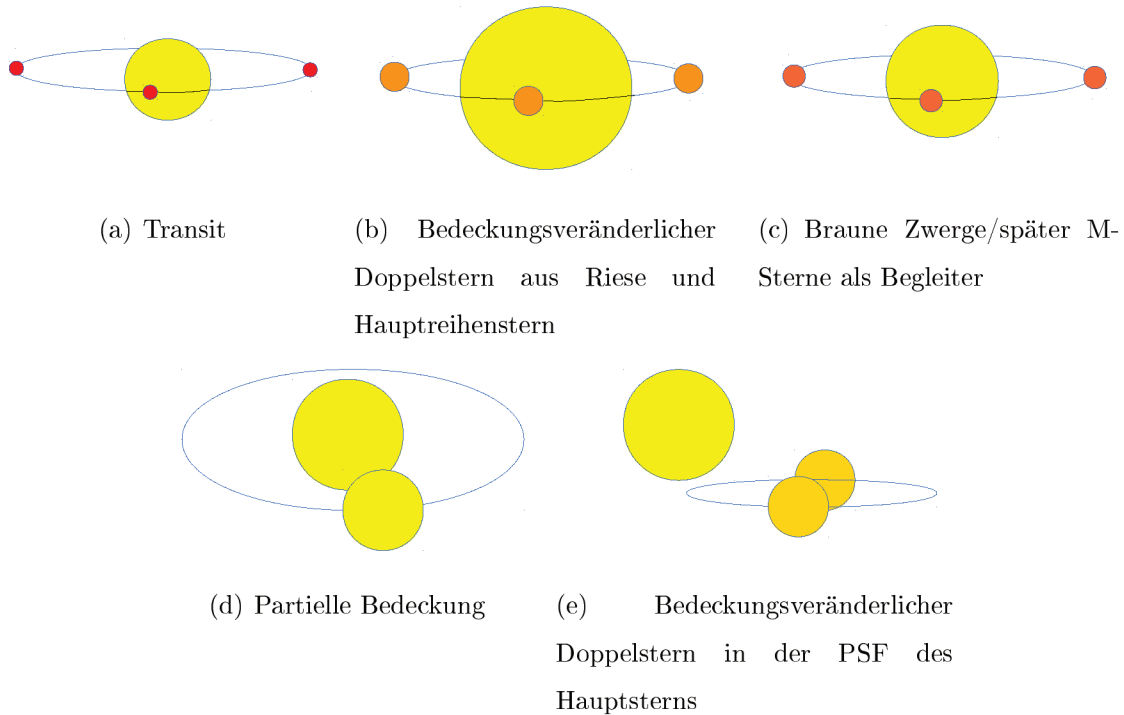


Abbildung A.4: Ursachen für Transitsignale: **(a)** realer Transit eines Planeten mit $0,5 \dots 2 R_{\text{Jup}}$. **(b)** Doppelsternsystem mit gleichem Radiusverhältnis wie der Transit in **(a)** und damit verbundener ähnlicher Transittiefe. **(c)** Bedeckungsveränderliches Doppelsternsystem mit einem braunen Zwerg oder Stern des Spektraltyp später M als Begleiter. Aufgrund eines Radius von $\sim 1 R_{\text{Jup}}$ verursachen diese Objekte ähnliche Transittiefen wie jupitergroße Planeten. **(d)** Partielle Bedeckung zweier Sterne, bei welchen nur ein geringer Teil bedeckt wird. Daher kann die Transittiefe ähnlich der eines Planeten sein. **(e)** Bedeckungsveränderlicher Doppelstern, welcher von einem weiteren Stern innerhalb der photometrischen Apertur überblendet wird. Durch den hellen Stern wird die Bedeckungstiefe so weit verringert, dass sie einem Transitsystem entsprechen kann. Bei **(d)** und **(e)** existieren zwei, von bodengebundenen Beobachtungen kaum zu unterscheidende Bedeckungen während eines Orbits, daher ist die reale Periode dieser Systeme doppelt so groß wie die aus den Lichtkurven bestimmte Periode.

Zusammenhang der Helligkeiten und Farbindices zwischen der Literatur und den Beobachtungen der STK

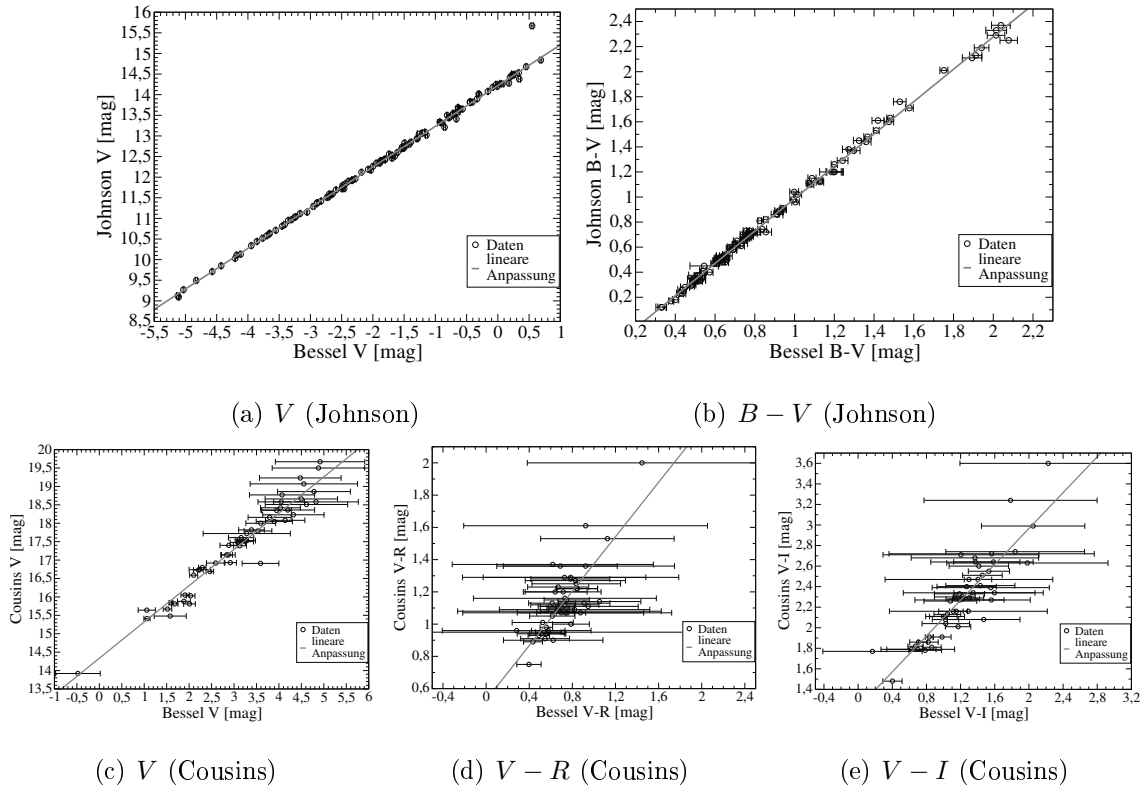


Abbildung A.5: Vergleich der Literaturhelligkeiten im Johnson- oder Cousins- System mit denen der STK (Besselsystem).

Beobachtungen mit der Schmidt Teleskop Kamera (STK)

Tabelle A.1: Zusammenfassung der Beobachtungen mit der Schmidt Teleskop Kamera (STK). Angegeben sind die Anzahl der Aufnahmen (nach Filter getrennt, sowie insgesamt), welche unter guten Wetterbedingungen aufgenommen werden konnten.

Jahr	Nächte ^a	Anzahl Aufnahmen				insgesamt ^a
		<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>I</i>	
2009	37/0	9	9	12673	9	12700/0
2010	46/14	603	625	5040	1237	7505/2697
2011	104/17	2064	350	13268	998	16680/3544
gesamt	187/31	2676	984	30981	2244	36885/6241

Bemerkungen: ^a insgesamt/davon während YETI-Kampagnen

Detektionslimit der Transitplaneten

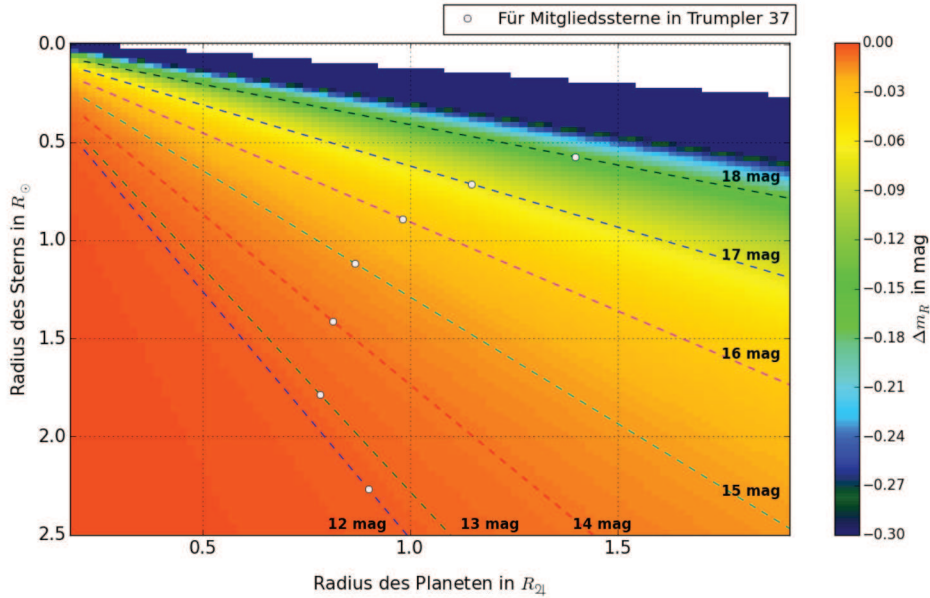


Abbildung A.6: Limitierung der Planetendetektion. Dargestellt ist der planetare Radius R_{Pl} gegenüber dem stellaren Radius R_{\odot} . Die Farbkodierung gibt die Tiefe der Bedeckung unter der Annahme eines zentralen Vorüberzugs an. Zusätzlich sind mit den gestrichelten Linien die Detektionslimits für die STK gegeben (Abbildung 2.9), das heißt für einen Stern der gegebenen Helligkeit ist nur der Bereich rechts oberhalb der Linie detektierbar. Die weißen Punkte geben die erwarteten Massen für Mitgliedssterne in Trumpler 37 mit dem jeweiligen Detektionslimit an. Für Mitgliedssterne ist nur der Bereich rechts der weißen Punkte beobachtbar, das heißt nur planetare Radien größer als $\approx 0,8 R_{\text{Jup}}$ können bei Sternen von Trumpler 37 gefunden werden.

Hectochelle Spektrum

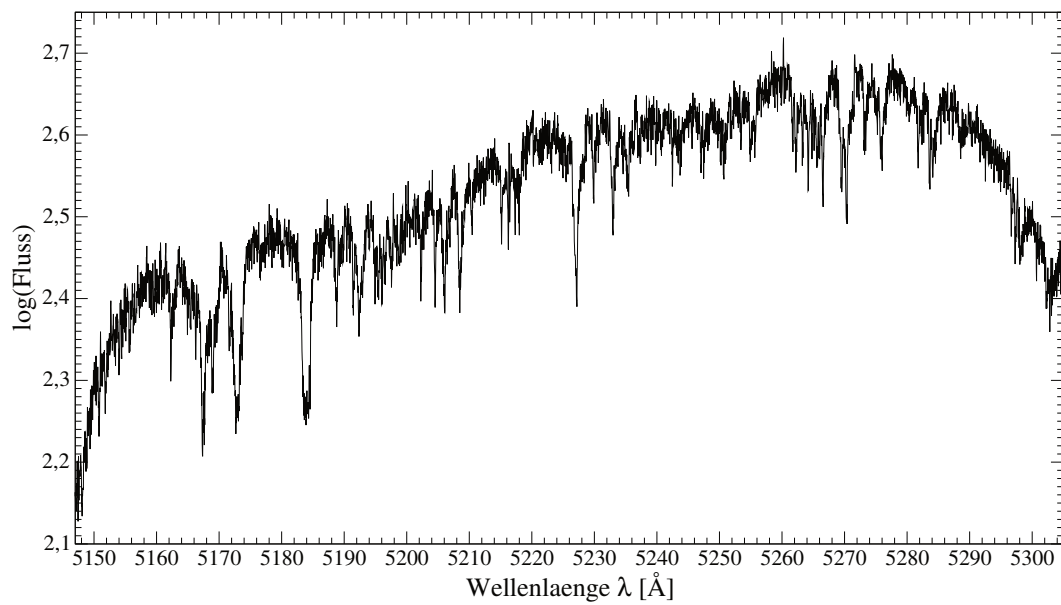


Abbildung A.7: Spektrum des Sterns 3218, aufgenommen mit Hectochelle am MMT.

Lithiumabsorption für Sterne in Trumpler 37

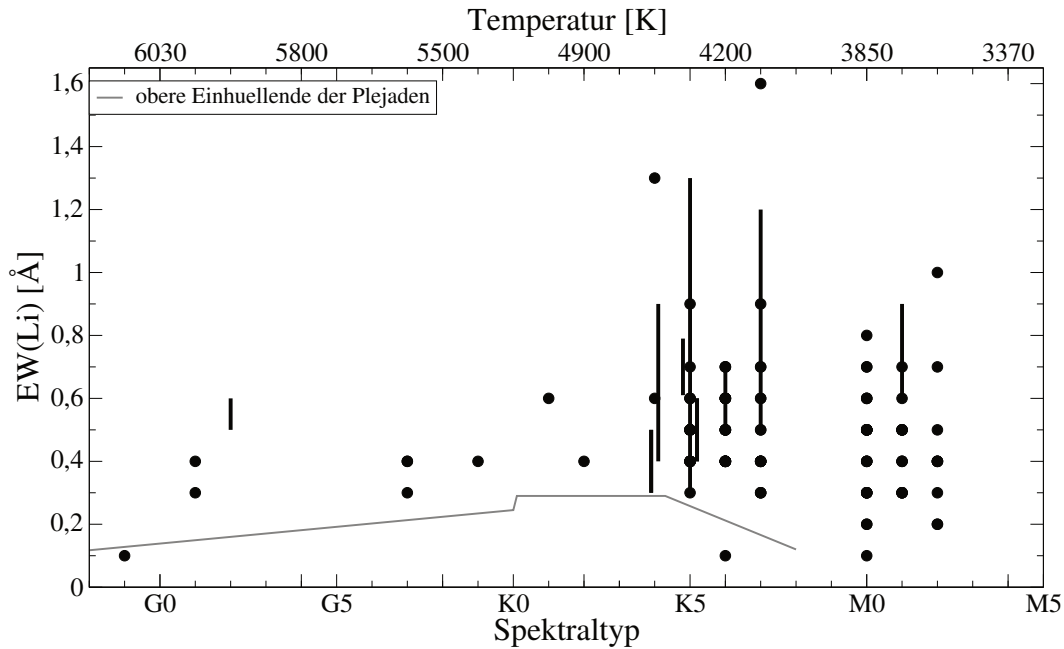
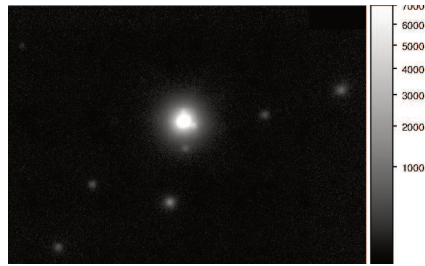


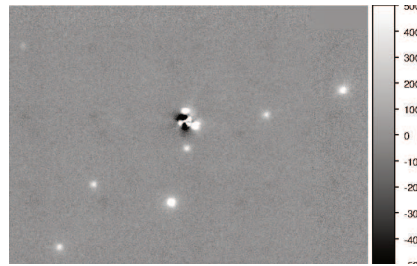
Abbildung A.8: Lithiumabsorption aus der Literatur für die Mitgliedssterne in Trumpler 37 (nach Errmann u. a. 2013). Im Falle, dass in der Literatur für einen Stern Mehrfachmessungen zur Verfügung standen, wurde der Bereich gegeben, für die anderen Sterne nur ein einzelner Punkt. Da in den Primärquellen nur Spektraltyp angegeben wurde, wurde dieser für die Abszisse verwendet, zusätzlich sind die Effektivtemperaturen nach Kenyon & Hartmann (1995) gegeben. Zum Vergleich wurde die obere Einhüllende der Plejadenmitgliedssterne dargestellt (Neuhäuser 1997). Bei der Bewertung der Äquivalentbreiten ist zu beachten, dass ein Teil Messungen an niedrig aufgelösten Spektren durchgeführt wurden, wodurch die Lithiumabsorption überschätzt worden sein kann (zum Beispiel Covino u. a. 1997).

Vorbereitung zur PSF-Photometrie der IRCS *H*-Band Aufnahmen des Sterns 3218

Zur Veranschaulichung der in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Schritte, welche für die Photometrie der Quellen in den hoch aufgelösten Aufnahmen der Transitkandidaten mittels IRCS nötig waren, sind in Abbildung A.9 einige der Zwischenschritte gezeigt.



(a) Originalbild (**O**)



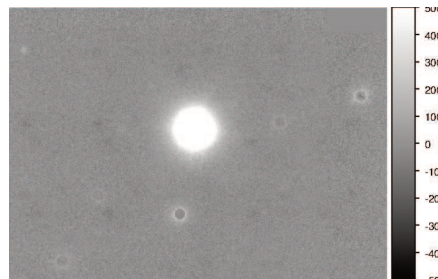
(b) Nach Abzug des um den Hauptstern azimuthal gemittelten Bildes (**Q**)



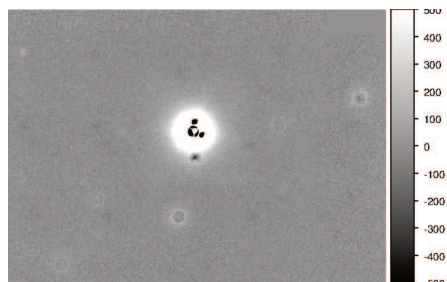
(c) PSF der Quelle 5



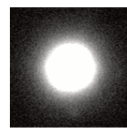
(d) Synthetisches Bild (**S**) nach Anpassung der PSF der Quelle 5



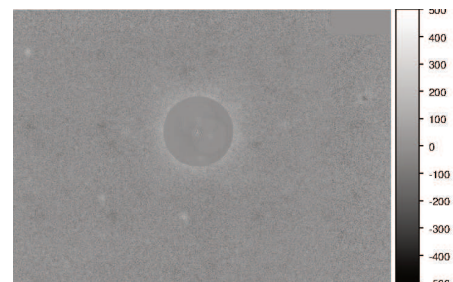
(e) Nach Abzug des synthetischen Bildes **S** vom Originalbild **O** im ersten Schritt



(f) Residuen nach Anpassung der PSFs im dritten Schritt an das Originalbild **O**



(g) PSF der Quelle 1 im neunten Schritt



(h) Residuen nach Anpassung der PSFs im neunten Schritt an das Originalbild **O**

Abbildung A.9: Veranschaulichung einiger Schritte der PSF-Photometrie für die IRCS *H*-Band Aufnahmen des Sterns 3218. Eine Verbesserung der Residuenbildern mit zunehmender Iteration ist sichtbar.

Radialgeschwindigkeitskurve des Transitkandidaten 1

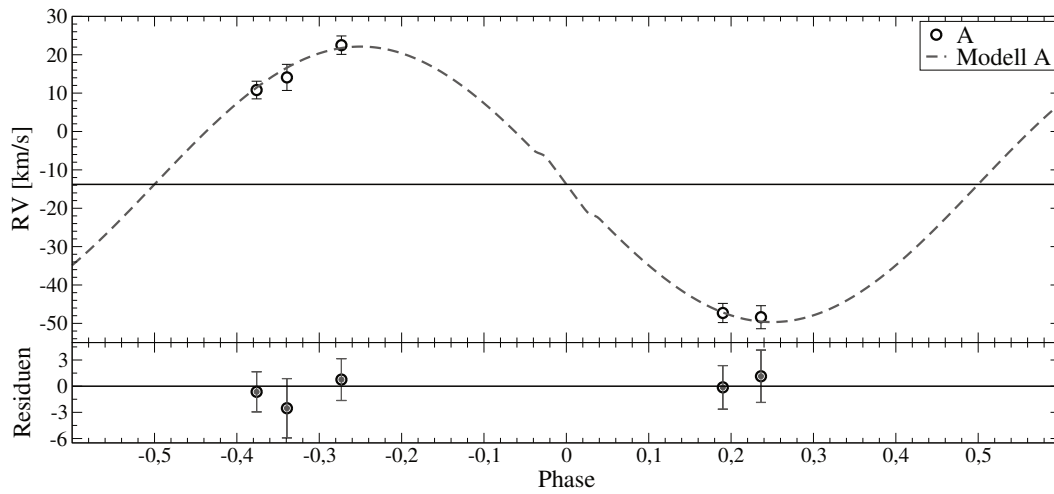


Abbildung A.10: Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 3218 nach Anpassung mit dem Modell eines Doppelsterns.

Lithiumabsorption in den HIRES-Spektren des Doppelsterns 118

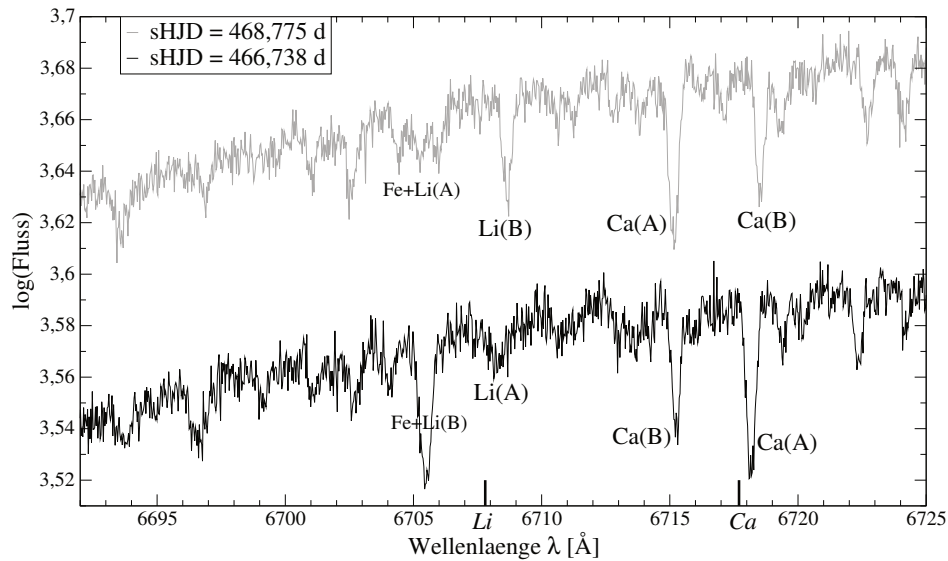


Abbildung A.11: Lithiumabsorption der beiden Komponenten A und B des Doppelsternsystems 118. Gezeigt ist jeweils die zweite Ordnung des roten Chips des dritten (grau, $\varphi = 0,19$) und ersten (schwarz, $\varphi = -0,15$) HIRES Spektrum. Auf der Abszisse sind die Laborwerte für die Lithium- ($6707,8 \text{ \AA}$) und Calciumlinie ($6717,7 \text{ \AA}$) gegeben, außerdem sind diese und die Eisenlinien ($6703,6 \dots 6705,1 \text{ \AA}$) für die Komponenten des Doppelsternsystems in den Spektren markiert.

Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 522

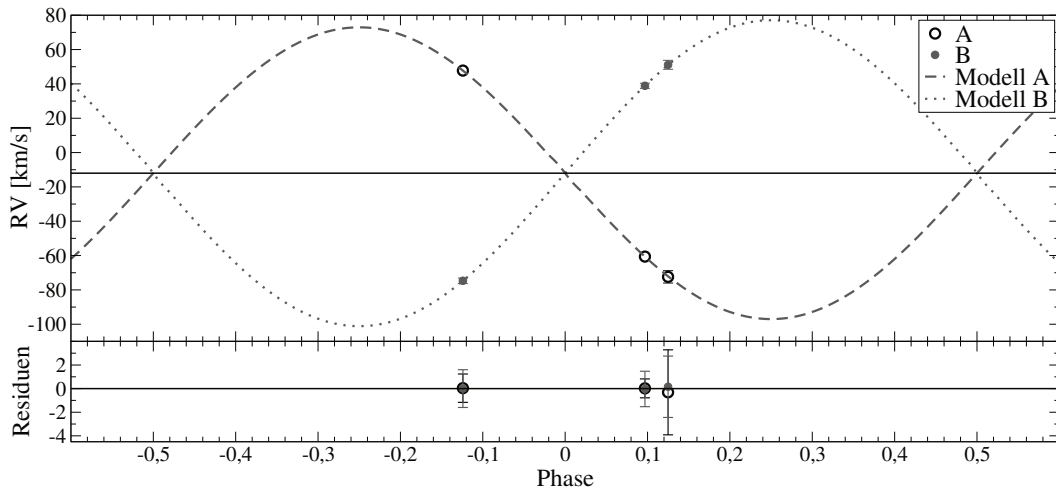


Abbildung A.12: Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 522 nach Anpassung des Modells eines Doppelsterns unter Verwendung von PHOEBE. Die Residuen, inklusive Fehler der Datenpunkte, sind für beide Komponenten gegeben.

Massenabschätzung für Stern 2028

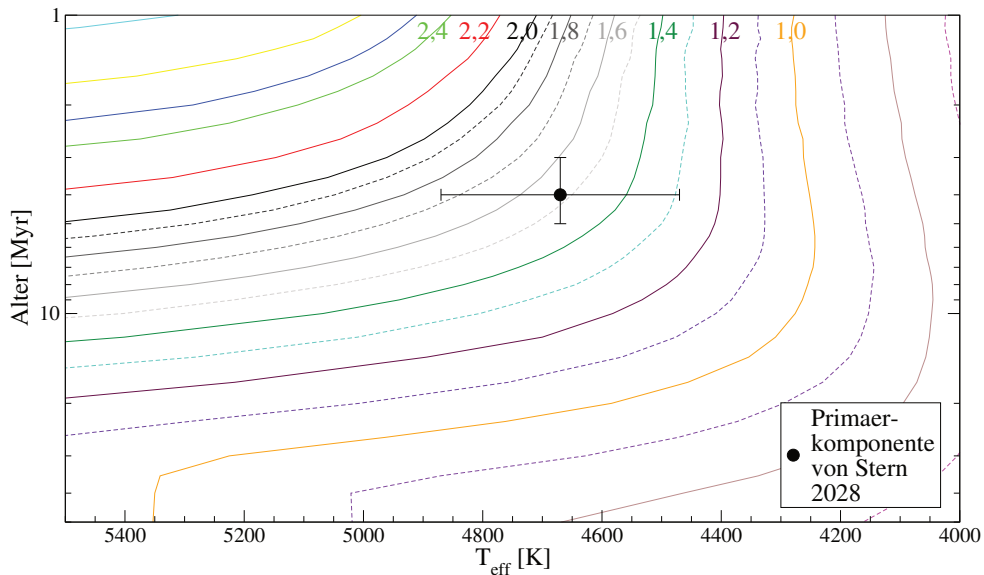


Abbildung A.13: Veränderung der Effektivtemperaturen von Vorhauptreihensternen während ihrer Entwicklung aus Siess u. a. (2000). Die Massen sind im oberen Bereich für die durchgezogenen Linien gegeben. Anhand der Unsicherheiten des Alters und der Effektivtemperatur der Primärkomponente von Stern 2028 ergibt sich ein Massenbereich von $M_A = (1,3 \dots 1,9)M_{\odot}$.

Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 2028

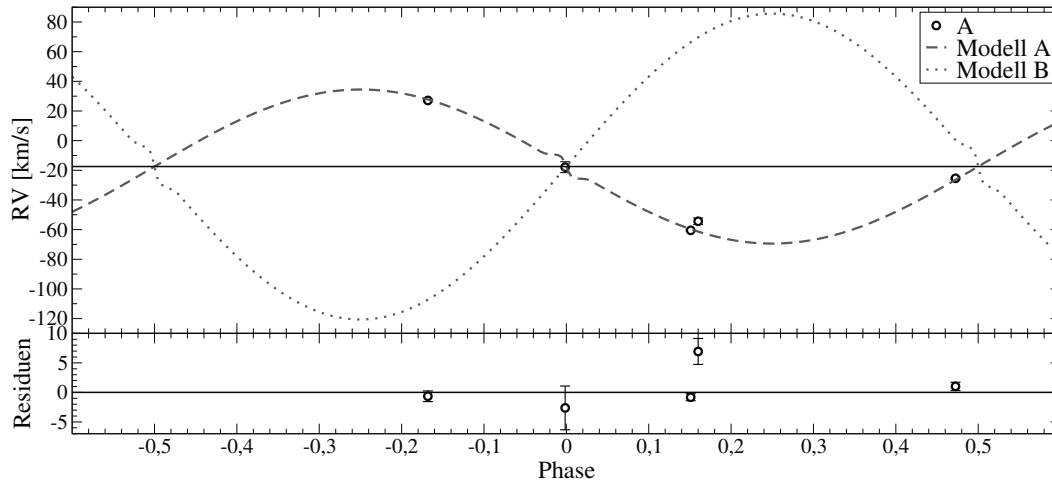


Abbildung A.14: Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 2028 nach Anpassung mit dem Modell eines Doppelsterns. Für den um 3σ abweichenden Datenpunkt (dritte HDS Spektrum) könnte stellare Variabilität aufgrund des jungen Alters des System ursächlich sein.

Radialgeschwindigkeitskurve des Doppelsterns 3132

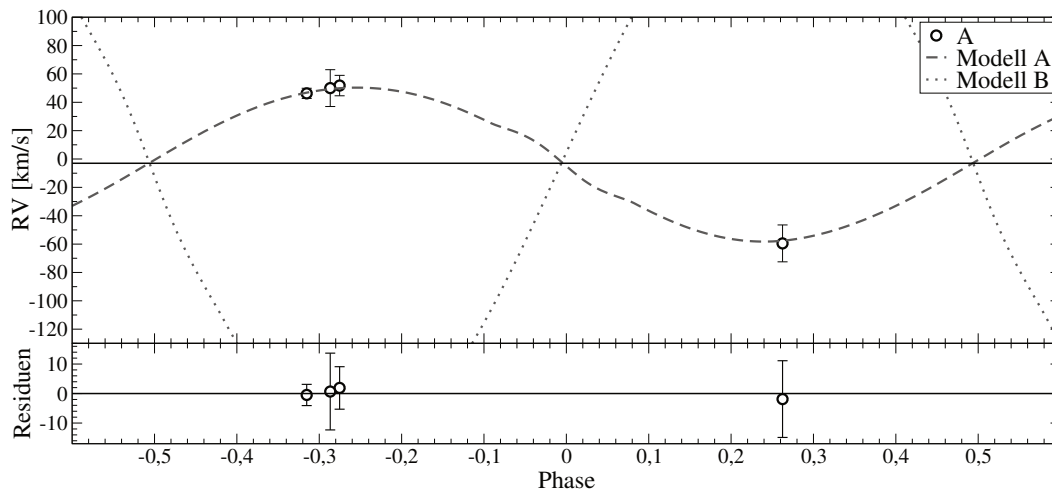


Abbildung A.15: Die Radialgeschwindigkeitskurve des Sterns 3132 nach Anpassung mit dem Modell eines Doppelsterns. Der theoretische Verlauf der Radialgeschwindigkeit für die Sekundärkomponente (B) ist angedeutet, da jedoch keine Messwerte dafür existieren wurde die Skalierung anhand des Verlaufs der Primärkomponente (A) gewählt.

Auswahl von im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Routinen

Die hier vorgestellten Programme werden fortlaufend ergänzt, insbesondere durch Rückmeldung anderer Nutzer.

Spektraltyp aus *BVRIJHK*

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2 import math
3 import numpy
4 #Bestimmt den besten fittenden Spektraltyp bei gegebenen Helligkeiten
5 #Autor: Ronny Errmann
6
7 #Variable Parameter
8 sigma=1 #Fehlerbereich entgueltiger Spektraltyp
9 zwischen=5 #Referenzraster in diese Teile unterteilen
10 einschr_av=[0.5,2.0] #Einschraenkung fuer Av
11 minerror=0.5 #Wenn kein Fehler vorhanden, nutze diesen
12
13 av_inp=[1.3313,1.0000,0.7490,0.4817,0.2817,0.1825,0.1163] #Ab/Av,Av/Av,...,Ak/Av aus Mittel aus
14 #Rieke & Lebofsky, Savage & Mathis und Cardelli
15 av_errinp=[0.0060,0.0050,0.0017,0.0025,0.0006,0.0106,0.0059] #Stabwe des Mittelwertes
16 band=["B","V","R","I","J","H","K"]
17 #lumclass=['V','IV','III','II','Ib','Ia'] Alle LKs
18 lumclass=['V','III','Ia']
19 lumclass=['V']
20
21 sigma=sigma**2
22 anzband=len(band) #Wie viele Helligkeiten sollen maximal genutzt werden
23
24 av_ref=[]
25 av_err=[]
26 farbe=[]
27 for i in range(anzband-1):
28     for j in range(i+1,anzband):
29         av_ref.append(av_inp[i]-av_inp[j]) #Ab-Av,Ab-Ar,...,Ah-Ak, jeweils geteilt durch Av
30         av_err.append(math.sqrt(av_errinp[i]**2+av_errinp[j]**2)) #zugehoeriger Fehler
31         farbe.append(band[i]+band[j])
32     referenz=[]
33     for i in range(len(lumclass)):
34         referenz.append(i)
35     alleSp=""
36     interpol=False
37     file=open('referenz2.dat','r') #SpTyp | t LK | t B | t V | t RC | t IC...., wobei B=M_V+(B-V) aus
38     #Kenyon, Hartmann
39     for line in file:
40         if line[0]!='#': #Titel weglassen
41             interpol=False
42             continue
43             line=line.split()
44             if len(line)<9:
45                 interpol=False #nicht interpolieren über leeren Zeilen
46                 continue
47             temp=False
48             for lk in range(len(lumclass)): #lk wird index der Luminosity Class
49                 if line[1]==lumclass[lk]:
50                     temp=True
51                     break
52             if temp==False:
53                 print "Luminosity_Class_not_available_in",lumclass,"_fuer_Zeile_in_referenz2.dat",line
54                 continue
55             alleSp=alleSp+line[0]+line[1]+' '
56             for i in range(2,anzband+2):
57                 line[i]=float(line[i])
58             zuefueg=[line[0]+'0 ',line[1],line[3]] #SpTyp,LK,Mv
59             for i in range(2,anzband+1): #Farben hinzuefuegen
```

```

59     for j in range(i+1,anzband+2):
60         zufueg.append(line[i]-line[j]) #Fuehrt zu SpTyp,LK,B-V,B-R,...,B-K,V-R,V-I,...,H-K
61     if interpol==False: #nicht interpolieren über leeren Zeilen
62         interpol=True
63         referenz[lk].append(zufueg)
64     continue
65     refzw=[]
66     for k in range(1,zwischen): #Interpolieren
67         strstep=str(round(k*1./zwischen,2))
68         refzw.append([referenz[lk][i-1][0][-2]+strstep[1:],referenz[lk][i-1][1]]) #SpTyp, LK
69     for j in range(2,len(zufueg)): #Mv, Farben berechnen
70         step=(zufueg[j]-referenz[lk][i-1][j])/zwischen
71         for k in range(1,zwischen):
72             refzw[k-1].append(k*step+referenz[lk][i-1][j])
73     for i in refzw:
74         referenz[lk].append(i)
75     referenz[lk].append(zufueg)
76     file.close()
77     sterne=[]
78     fehler=[]
79     mags=[]
80     file=open('sterne2.dat','r') #B | t V | t RC ....
81     for line in file:
82         line=line[:-1].split('\t')
83         for i in range(len(line)):
84             try:
85                 line[i]=float(line[i])
86             except:
87                 line[i]=" #Leerstring falls keine Zahl
88     if len(line)<14:
89         print "zu_kurze_Zeile",line
90     continue
91     temp=[]
92     for i in range(anzband): #Magnituden Sammeln
93         temp.append(line[i])
94     mags.append(temp)
95     temp=[line[1]] #V
96     for i in range(anzband-1): #Farben -> erste Helligkeit
97         for j in range(i+1,anzband): #-> zweite Helligkeit
98             if line[i]<>" and line[j]<>":
99                 temp.append(line[i]-line[j]) #Fuehrt zu B-V,B-R,...
100            else:
101                temp.append(100)
102     sterne.append(temp) #Fuehrt zu V,B-V,B-R,...,B-K,V-R,V-I,...,H-K
103     del line[0:anzband] #Helligkeiten loeschen
104     if line[1]<>":
105         temp=[line[1]]
106     else:
107         temp=[minerror]
108     for i in range(anzband-1): #Fehler addieren -> erste Helligkeit
109         if line[i]=="":
110             line[i]=minerror
111         if line[i]<=0:
112             print "Fehler_von_<=0:",line, "_wird_durch_minerror_(",minerror,")_ersetzt"
113             line[i]=minerror
114         for j in range(i+1,anzband): #-> zweite Helligkeit
115             if line[j]=="":
116                 line[j]=minerror
117             if line[j]<=0:
118                 print "Fehler_von_<=0:",line, "_wird_durch_minerror_(",minerror,")_ersetzt"
119                 line[j]=minerror
120         temp.append(math.sqrt((line[i]**2+line[j]**2))) #relativer Fehler^2 (Anteil Magnituden) ->
121             Gauss
122     fehler.append(temp) #Fuehrt zu Fehlern B-V,B-R,...,B-K,V-R,V-I,...,H-K
123     file.close()
124     erglk=[]
125     for i in range(len(lumclass)):
126         erglk.append([])
127     #x- V R I J H K
128     #B- 0 1 2 3 4 5
129     #V- 6 7 8 9 10
130     #R- 11 12 13 14
131     #I- 15 16 17
132     #J- 18 19
133     #H- 20
134     probdist=False
135     for lk in range(len(lumclass)):
136         sptyp=[]
137         for j in range(len(sterne)): #alle Sterne mit...
138             vergleich=[]
139             for k in range(len(referenz[lk])): #... allen Refernzwerten und in...
140                 Av=[]
141                 entfernung=[]
142                 for i in range(len(sterne[j])-1): #... allen Farben vergleichen.
143                     if i in [11]: #... auslassen Farbe R-I
144                         continue
145                     #if i in [0,6,15,18,20]: #... auslassen Farben aus benachbarten Baendern
146                     #continue
147                     #if i in [6,7,12,13,14,15,16,17]:#auslassen von V-RI,R-JHK,I-JHK
148                     #if i in [0,1,2,3,4,5,6,7,11,15,16,17]:#auslassen von B,R,I
149                     #if i in [0,1,2,3,4,5,8,9,10,12,13,14,15,16,17]:#ohne B,auslassen von VRI-JHK
150                     #if i in [3,4,5,8,9,10,12,13,14,15,16,17]:#auslassen von BVRI-JHK
151                     #if i in [3,4,5,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20]:#ohne JHK
152                     #if i<18:#ohne BVRI
153                     if i in []:
154                         continue
155                     if sterne[j][i+1]<100: #Messwert vorhanden

```


ANHANG B. QUELLCODE

```

155     av_local=(sterne[j][i+1]-referenz[lk][k][i+3])/av_ref[i]
156     av_err_local=fehler[j][i+1]/av_ref[i]+abs(av_local)*av_err[i]/av_ref[i]
157     #relative Fehler, aber 0 moeglich: abs(av_local)*(fehler[j][i+1]/abs(sterne[j][i+1]-
158     #old error math.sqrt((av_local**2)**2*av_err[i]+ fehler[j][i+1]/av_ref[i]**2)
159     Av.append([av_local,av_err_local,farbe[i]]) #Av und Fehler fuer eine Farbe bestimmen -> in
160     Liste mit allen Av eines Spektraltyps
161     if len(Av)<=2: #keine Messwerte
162         continue
163     #for Avi in Av:
164     #print Avi
165     gew_err=sum(1/pow(Avi[1],2) for Avi in Av) #Summe 1/Fehler^2->Anfang Fehler
166     gew_mit=sum(Avi[0]/pow(Avi[1],2) for Avi in Av)/gew_err #gewichteter Mittelwert
167     if gew_mit<einschr_av[0] or gew_mit>einschr_av[1]: #Av nicht im passenden Bereich
168         #if j==8:
169         # print k,gew_mit,gew_err,einschr_av,Av[0:2], "nicht passende"
170         continue
171     gew_err=math.sqrt(1/gew_err) #Fehler zum gewichtetem Mittelwert
172     #chi=sum(pow(Avi[0]-gew_mit,2)/pow(Avi[1]+gew_err,2) for Avi in Av) #Chi^2 mit Fehler
173     Mittelwert
174     chi=sum(pow(Avi[0]-gew_mit,2)/pow(Avi[1],2) for Avi in Av) #Chi^2 ohne Fehler Mittelwert,
175     besser, deswegen ab Juli 2012
176     chi=chi/(len(Av)-1) #reduced chi^2=chi^2/(N-n-1) with N: No of obs, n: No of fitted
177     parameters=>f(x)=0*x+a =>n=1 (a)
178     nachfarbe=["", "", ""]
179     for line in Av:
180         nachfarbe[0]=nachfarbe[0]+line[2]+' '
181         nachfarbe[1]=nachfarbe[1]+'%5.3f'%line[0]+' '
182         nachfarbe[2]=nachfarbe[2]+'%5.3f'%line[1]+' '
183     if sterne[j][0]<>'': #kein V gemessen
184         dist=10*10**0.2*(sterne[j][0]-referenz[lk][k][2]-gew_mit) #10pc*10^(.2(Mv-m+Av))
185         disterr=dist*math.log(10)*0.2*(gew_err+fehler[j][0])
186         #disterr=dist*abs(math.log(0.2*(sterne[j][0]-referenz[lk][k][2]-gew_mit)))*0.2*(gew_err+
187         fehler[j][0])
188     else:
189         temp=[]
190         for i in 0,6,7,8,9,10: #Bestimmen von V aus anderen Baendern
191             if i==0:
192                 if mags[j][0]<>'':
193                     temp.append(mags[j][0]-referenz[lk][k][i+3]-gew_mit*av_ref[i]) #B-(B-V)0-Av*(Ab/Av-Av
194                     /Av)
195             else:
196                 if mags[j][i-4]<>'':
197                     temp.append(mags[j][i-4]+referenz[lk][k][i+3]+gew_mit*av_ref[i]) #restliche Farben
198         v=numpy.mean(temp)
199         verr=numpy.std(temp, ddof=1)
200         dist=10*10**0.2*(v-referenz[lk][k][2]-gew_mit) #10pc*10^(.2(Mv-m+Av))
201         disterr=dist*math.log(10)*0.2*(gew_err+verr)
202         #if referenz[lk][k][0]=='M2.4':
203         # print "Distanzberechnung aus abgeschatztem V: V, Verr, dist, disterr, alle V",referenz[lk][
204         k][0],v,verr,dist,disterr,temp
205     probdist=True
206     vergleich.append([chi,len(Av),gew_mit,gew_err,k,dist,disterr,nachfarbe]) #Jeden SpTyp
207     hinzufuegen
208 #print j,vergleich
209 if len(vergleich)>0: #ausreichend passende Spektraltypen
210     vergleich.sort() #Sortieren nach Chi^2
211     best=vergleich[0] #Bester Werte bei minimalem Chi^2
212     all_spt=referenz[lk][vergleich[0][4]][0]+referenz[lk][vergleich[0][4]][1]
213     all_dist=str(int(vergleich[0][5])) #Distanz bester SpT
214     all_av=str(round(vergleich[0][2],3)) #Av bester SpT
215     all_chi=str(round(vergleich[0][0],2)) #Chi^2 bester SpT
216     minmax=[best[4],0],[best[4],0] #Bestimmen der x Sigmagrenzen, Index=4: Index in
217     referenz
218     for i in range(1,len(vergleich)):
219         if vergleich[i][0]>best[0]+sigma: #groesser als Bereich der Fehlergrenzen
220             break
221 #->Hinzufuegen vom Verweis auf Referenz und Verweis auf Zeile
222     if vergleich[i][4]<best[4]: #frueherer Spektraltyp
223         minmax[0].append([vergleich[i][4],i])
224         if referenz[lk][vergleich[i][4]][0][0]== '0':
225             all_av=str(round(vergleich[i][2],2))+', '+all_av
226             all_dist=str(int(vergleich[i][5]))+', '+all_dist
227             all_spt=referenz[lk][vergleich[i][4]][0]+referenz[lk][vergleich[i][4]][1]+' '+all_spt
228             all_chi=str(round(vergleich[i][0],2))+', '+all_chi
229         else: #spaeterer SpTyp
230             minmax[1].append([vergleich[i][4],i])
231             if referenz[lk][vergleich[i][4]][0][0]== '0':
232                 all_av=all_av+', '+str(round(vergleich[i][2],2))
233                 all_dist=all_dist+', '+str(int(vergleich[i][5]))
234                 all_spt=all_spt+', '+referenz[lk][vergleich[i][4]][0]+referenz[lk][vergleich[i][4]][1]
235                 all_chi=all_chi+', '+str(round(vergleich[i][0],2))
236     grenzen=[min(minmax[0]),max(minmax[1])] #Grenzwerte
237     minbest=vergleich[grenzen[0][1]] #Zeile mit Grenzwert
238     maxbest=vergleich[grenzen[1][1]] #Zeile mit Grenzwert
239     spzahl=referenz[lk][best[4]][0] #Spektraltyp in Nummern umwandeln
240     spzahl=spzahl.replace('O','0')
241     spzahl=spzahl.replace('B','1')
242     spzahl=spzahl.replace('A','2')
243     spzahl=spzahl.replace('F','3')
244     spzahl=spzahl.replace('G','4')
245     spzahl=spzahl.replace('K','5')
246     spzahl=spzahl.replace('M','6')
247     sptyp.append(referenz[lk][minbest[4]][0]+referenz[lk][minbest[4]][1]+' \t'+referenz[lk][best
248     [4]][0]+referenz[lk][best[4]][1]+' \t'+referenz[lk][maxbest[4]][0]+referenz[lk][maxbest
249     [4]][1]+' \t'+str(round(minbest[2],3))+' \t'+str(round(best[2],3))+' \t'+str(round(

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```
best[3],3))+ '\t'+ str(round(maxbest[2],3))+ '\t'+ str(round(best[0],3))+ '\t'+ str(best
[1])+ '\t'+
239 spzahl+ '\t'+str(int(minbest[5]))+'\t'+str(int(best[5]))+'\t'+str(int(best[6]))+'\t'+ str(int(
maxbest[5]))+'\t'+best[7][0][:-1]+ '\t'+best[7][1][:-1]+ '\t'+best[7][2][:-1]+ '\t'+
all_spt+ '\t'+all_av+ '\t'+all_dist+ '\t'+all_chi) #Ergebnis vorbereiten #Chi^2,SpT+LK,
Av,Dist,No Farben
240 erglk[lk].append([best[0],referenz[lk][best[4]][0]+referenz[lk][best[4]][1],best[2],best[5],
best[1]])
241 else:
242 sptyp.append('kein_passender')
243 erglk[lk].append([])
244 file=open('erg_lk'+lumclass[lk], 'w') #Ausgabe
245 file.write('Sigma^2:\t'+str(sigma)+'\tFehler_fuer_Werte_ohne_Fehler:\t'+str(minerror)+'\t erlaubtes
Intervall_fuer_Av:\t'+str(einschr_av[0])+'-'+str(einschr_av[1])+'\t vorhandene_SpT:\t'+alleSp
[:-1]+' \n')
246 file.write('minSpT\tbestSpT\tmaxSpT\tAv(min)\tAv(best\tErr_Av\tAv(max)\tChi^2\t#Colors\tNo(SpT)\ttr
(min)\ttr(best)\tdr\ttr(max)\tFarben(best)\tEinzel-Av(best)\tFehler_Einzel-Av(best)\tRange_SpT\
tRange_Av\tRange_Dist\tRange_Chi^2\n')
247 for line in sptyp:
248 file.write(line+'\n')
249 file.close()
250 file=open('erg', 'w')
251 file.write('SpT\tAv\tChi^2\t#Colors\tDist\n')
252 for j in range(len(sterne)):
253 erg=[]
254 for lk in range(len(lumclass)):
255 if erglk[lk][j]<>[]:
256 erg.append(erglk[lk][j]) #Chi^2,SpT+LK,Av,Dist,No Farben
257 erg.sort() #Nach Chi^2
258 text=[' ',' ',' ',' ',' '] #SpT,Av,Chi^2,No Colors,Dist
259 for line in erg:
260 text[0]=text[0]+' '+line[1] #SpT
261 text[1]=text[1]+' '+str(round(line[2],3)) #Av
262 text[2]=text[2]+' '+str(round(line[0],3)) #Chi^2
263 text[3]=text[3]+' '+str(line[4]) #No Colors
264 text[4]=text[4]+' '+str(int(line[3])) #Dist
265 file.write(text[0][1:]+ '\t'+text[1][1:]+ '\t'+text[2][1:]+ '\t'+text[3][1:]+ '\t'+text[4][1:]+ '\n')
266 file.close()
267 if probdist==True:
268 print "Distanzberechnung_zum_Teil_mit_Vmag_aus_anderen_Magnituden"
```

Zusammensetzung der Lichtkurven aller Teleskope

```
1 # -*- coding: utf-8 -*-
2
3 Version="26.01.2016"
4
5 ##### Changelog
6 #18.2.14 Aenderungen damit Dateien beim Ausfuehren verschiedener Filter nicht ueberschrieben werden
7 #28.5. Bisher wurden beim ausfuehren von Var2-Vorbereitung magnitfiles der anderen Filter in
oldmagnitoid verschoben -> behoben
8 #28.5. mv, rm durch find -exec ersetzt um Fehlermeldungen zu vermindern
9 #5.6. dphotsource entfernt, alles mit dphot+band+source
10 #6.6. wenn bei 2a,2b,2c im Unterordner keine dphotsource zu einzeldphot-Datei, dann Name der dphot-
Datei statt ??? nutzen
11 #25.6. nr to name zursaeztlich mit Band, da sonst eventuell falsch ueberschrieben
12 #26.6. maxstars eingefuegt
13 #31.7. Variante 2e hinzugefuegt
14 #31.7. Vorbereitung Var2 wird nur noch einmal pro Rechner ausgefuehrt, sonst bremsst es Rechner zu
stark aus.
15 #13.8. nonvar kann auch Belzeit angehaengt haben
16 #15.8. Abfangen, falls minstars zu gross gewaecht, Jonas exit-Codes uebernommen
17 #26.1.16 Bug in 2e entfernt: wenn "zu wenig Datenpunkte" fuer eine Teleskop und Belichtungszeit,
dann war die Indexbehandlung zwischen Dten und Teleskopen nicht mehr richtig -> Offsets wurden
falsch angewandt
18
19 #!!!!!!! Achtung: Variante 2e: Beim Durchfuehren der teleskopweisen differentiellen Photometrie
werden manche bis ettliche Bilder doppelt verwendet. Zum Beispiel passiert fuer 523R
RozhenSchmidt, Xinglong und fast alle STK und
20
21 import os
22 import sys
23 import math
24 import time
25 import numpy
26 import bz2
27 pfad_python="/astro/p4erro/python_skripts/"
28 sys.path.append(pfad_python)
29 import routinen_reduktion
30 import pexpect
31
32 print "cp_/astro/p4erro/Reduziert/Dokumente/colorinf_/astro/p4erro/Reduziert/Dokumente/naechte_/
astro/p4erro/Reduziert/Dokumente/nonvar_."
33
34 if len(sys.argv)<10:
35 print "mit_Parameter_Stern-Nr, Radius_fuer_Vergleichssterne ,max_Magnitudenunterschied_der_
Vergleichssterne ,Farbdifferenz_der_Vergleichssterne ,Filter ,Belichtungszeiten_(durch_
getrennt) ,Auswerteveriante ,Anzahl_interessante_Ebenen_fuer_Dateinamen_(3) und Schritte_der_
Differentiellen_Photometrie_starten \n Auswertevarianten:\n 1: nochmal_Photometrie_mit_
Aperturtesting_nacht_und_teleskopweise\n 2a: Eine_dphot-Datei_mit_einmal_aus_allen_magnit-
Dateien_erstellen\n 2b_dphot-Dateien_naehteweise_erstellen\n 2c: Wie_2b_nur_Instrument_und_
```

ANHANG B. QUELLCODE

```
Jahrweise\n_2d:\_wie_\_2b_\_nur_\_Instrumente_\_und_\_NICHT_\_Jahrweise\n_2e:\_Vorbereitung_\_wie_\_2d,\_
Korrelation_\_zwischen_\_den_\_Instrumenten_\_durch_\_Datenpunkte,\_welche_\_zur_\_selben_\_Zeit_\_aufgenommen_\_
wurden"
36 print "Belzeiten: 5s,9s,10,12,20,30,50s,60,80,90,100,105,120,150,180,300 oder all"
37 exit(8)
38 print "starting different colors in the same folder doesn't matter!"
39
40 stern=sys.argv[1] #Nummer des interessanten Sterns
41 radius=int(sys.argv[2]) #Radius fuer Vergleichssterne in der ersten Kamera
42 magdiff=float(sys.argv[3])
43 colordiff=float(sys.argv[4])
44 band=sys.argv[5]
45 belzeiten=sys.argv[6].split(',')
46 variante=sys.argv[7].split(',') #Wie bearbeiten: 1: Nochmal Photometrie (-> Aperturtesting nacht und
    Teleskopweise, Photoemtrie, dann 2a/2b)
47 # 2: Magnitdateien aus ursprünglichen magnitdateien extrahieren (-> 2a: auf alle Magnit
    Chrisphot anwenden, oder 2b: nächteweise und dann 3
48 # 3: Zusammensetzen der dphot-Dateien entweder mit 3a Chrisphot (nach Zusammenfassen von
    mehreren Datenpunkten zu einem) oder 3b wie in all-light
49 ebenen_naechte=int(sys.argv[8]) #interessante letzte Unterordner, wenn Instrumente, Naechte, dann 2,
    wen nur Naechte, dann 1
50 photschritt=sys.argv[9]
51
52 nureineKam="STK" #Für 1, falls Info nicht in Pfad in Datei naechte
53 FWHM_imp="2.5" #Für 1, falls Info nicht in ursprünglicher status.log
54 magordner='engmagnit' # ohne /
55 #magordner='magnit' # ohne /
56 refcoords='refcoords_eng' #'refcoords_'
57 #refcoords='refcoords_' #'refcoords_'
58 parallel=True #Für halbparallele Bearbeitung bei 1, in automat.py os.system("nice -n 10 bzip2 *.
    fits") auskommentieren
59 #Vorbereitung"
60 maxvergl=500 #Maximale Anzahl an Vergleichssterne
61 #Vorbereitung Var2
62 sortout=False #Benutze aussortierte Dateien
63 sigma=3 #Stabd zum Aussortieren schlechter Bilder
64 minstars=5 #Minimum Number of comparison stars
65 minstars2e=15 #Minimum Number of comparison stars
66 maxstars=40 #Maximum Number of comparison stars
67 minvergl=2 #absolute Mindestzahl an Vergleichssterne
68 maxrejima=4000 #Bilder aussortieren, welche len(images)/maxrejima INDEFs bei Vergleichssterne
    erzeugen
69 maximarej=10 %% of images maximal removed
70 maxsepa=0.1 #fuer 2e: Differenz in JD zu Bestimmung der Offsets
71 maxnrcompstars=16000 #Aufhoeren bei Vergleichsstern (keine dunkleren Verwenden), wichtig bei hellen
    Sternen.
72 #Var2
73 if '2a' in variante:
74     cps_multirange=[1.0,1.0,0.2] #Start,Ende,Step fuer Multiplikator
75     cps_noninstringe=[0.000,0.000,0.002] #Start,Ende,Step fuer Additiven Term
76     cps_finesteps=1 #Feineinteilung nach Minimum in cps_multirange und cps_noninstringe
77 else:
78     cps_multirange=[0.9,1.5,0.3] #Start,Ende,Step fuer Multiplikator
79     cps_noninstringe=[0.000,0.009,0.003] #Start,Ende,Step fuer Additiven Term
80     cps_finesteps=3 #Feineinteilung nach Minimum in cps_multirange und cps_noninstringe
81 cps_maximages=20000
82 cp_nrstarrej=1 #wenn Stern nur in cp_nrstarrej-% der Bilder INDEF, dann diese Bilder rauschmeiß
    en
83 cp_maximarej=5 #maximal cp_maximarej-% der Bilder rauswerfen
84 binning3a=20
85
86 jdsub=2455000 #Abziehen dieses Werts im Plot
87
88 simexp=[] #fuer 2c,2d
89 temp=[]
90 temp.append('10s')
91 temp.append('5s')
92 temp.append('9s')
93 temp.append('12s')
94 temp.append('20s')
95 simexp.append(temp)
96 temp=[]
97 temp.append('60s')
98 temp.append('30s')
99 temp.append('50s')
100 temp.append('80s')
101 temp.append('90s')
102 temp.append('100s')
103 temp.append('105s')
104 temp.append('120s')
105 temp.append('150s')
106 simexp.append(temp)
107 temp=[]
108 temp.append('180s')
109 temp.append('300s')
110 simexp.append(temp)
111
112 extrastabws=[] #fuer 2e: Variable Teleskope sollen weniger zum Vergleich der anderen Teleskope
    verwendet werden
113 extrastabws.append(['CTK-11',1])
114 #extrastabws.append(['RozhenS',1])
115
116 temp=''
117 for i in sys.argv:
118     temp=temp+' '+i
119 logfile=open('logfile','a')
```


ANHANG B. QUELLCODE

```

202 ersetzungen.append(['2011_pnt8_2011', 'Tenagra2_2011_p8'])
203 ersetzungen.append(['2010_pnt9_10', 'Tenagra2_2010_p9'])
204 ersetzungen.append(['2011_pnt9_2011', 'Tenagra2_2011_p9'])
205 ersetzungen.append(['2010_pntGMcep_1009', 'Tenagra2_2010_pG'])
206 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt1', 'Lulin_0.4_2010_p1'])
207 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt2', 'Lulin_0.4_2010_p2'])
208 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt3', 'Lulin_0.4_2010_p3'])
209 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt4', 'Lulin_0.4_2010_p4'])
210 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt1', 'Rozhen60_2010_p1'])
211 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt2', 'Rozhen60_2010_p2'])
212 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt3', 'Rozhen60_2010_p3'])
213 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt4', 'Rozhen60_2010_p4'])
214 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2011', 'Rozhen60_2011_p5'])
215 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt1_2010', 'Gettysburg_2010_p1'])
216 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt2_2010', 'Gettysburg_2010_p2'])
217 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt3_2010', 'Gettysburg_2010_p3'])
218 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt4_2010', 'Gettysburg_2010_p4'])
219 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt1_2011', 'Gettysburg_2011_p1'])
220 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt2_2011', 'Gettysburg_2011_p2'])
221 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt3_2011', 'Gettysburg_2011_p3'])
222 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt4_2011', 'Gettysburg_2011_p4'])
223 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt1', 'Lulin_lm_2010_p1'])
224 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt2', 'Lulin_lm_2010_p2'])
225 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt3', 'Lulin_lm_2010_p3'])
226 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt4', 'Lulin_lm_2010_p4'])
227 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt1', 'Byurakan_p1'])
228 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt2', 'Byurakan_p2'])
229 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt3', 'Byurakan_p3'])
230 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt4', 'Byurakan_p4'])
231 ersetzungen.append(['CTK-II-Data_10', 'CTK-II_2010'])
232 ersetzungen.append(['CTK-II-Data_11', 'CTK-II_2011'])
233 ersetzungen.append(['OSN_pnt1', 'OSN_p1'])
234 ersetzungen.append(['OSN_pnt2', 'OSN_p2'])
235 ersetzungen.append(['OSN_pnt3', 'OSN_p3'])
236 ersetzungen.append(['OSN_pnt4', 'OSN_p4'])
237 ersetzungen.append(['OSN_pnt6', 'OSN_p6'])
238 ersetzungen.append(['OSN_pnt8', 'OSN_p8'])
239 elif "2d" in variante or "2e" in variante: #nach Teleskop und Pointing
240 ersetzungen.append(['STK-Data_', 'STK'])
241 ersetzungen.append(['RozhenSchmidt_20', 'RozhenS'])
242 ersetzungen.append(['Swarthmore-Data_20', 'pnt1', 'Swarthmore_p1'])
243 ersetzungen.append(['Swarthmore-Data_20', 'pnt2', 'Swarthmore_p2'])
244 ersetzungen.append(['Swarthmore-Data_20', 'pnt3', 'Swarthmore_p3'])
245 ersetzungen.append(['Swarthmore-Data_20', 'pnt4', 'Swarthmore_p4'])
246 ersetzungen.append(['Xinglong-Data_', 'Xinglong'])
247 ersetzungen.append(['2010_pnt1_10', 'Tenagra2_p1'])
248 ersetzungen.append(['2011_pnt1_2011', 'Tenagra2_p1'])
249 ersetzungen.append(['2010_pnt2_10', 'Tenagra2_p2'])
250 ersetzungen.append(['2011_pnt2_2011', 'Tenagra2_p2'])
251 ersetzungen.append(['2010_pnt3_10', 'Tenagra2_p3'])
252 ersetzungen.append(['2011_pnt3_2011', 'Tenagra2_p3'])
253 ersetzungen.append(['2010_pnt4_10', 'Tenagra2_p4'])
254 ersetzungen.append(['2011_pnt4_2011', 'Tenagra2_p4'])
255 ersetzungen.append(['2010_pnt5_10', 'Tenagra2_p5'])
256 ersetzungen.append(['2011_pnt5_2011', 'Tenagra2_p5'])
257 ersetzungen.append(['2010_pnt6_10', 'Tenagra2_p6'])
258 ersetzungen.append(['2011_pnt6_2011', 'Tenagra2_p6'])
259 ersetzungen.append(['2010_pnt7_10', 'Tenagra2_p7'])
260 ersetzungen.append(['2011_pnt7_2011', 'Tenagra2_p7'])
261 ersetzungen.append(['2010_pnt8_10', 'Tenagra2_p8'])
262 ersetzungen.append(['2011_pnt8_2011', 'Tenagra2_p8'])
263 ersetzungen.append(['2010_pnt9_10', 'Tenagra2_p9'])
264 ersetzungen.append(['2011_pnt9_2011', 'Tenagra2_p9'])
265 ersetzungen.append(['2010_pntGMcep_1009', 'Tenagra2_pG'])
266 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt1', 'Lulin_0.4_p1'])
267 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt2', 'Lulin_0.4_p2'])
268 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt3', 'Lulin_0.4_p3'])
269 ersetzungen.append(['Lulin.4_2010', 'pnt4', 'Lulin_0.4_p4'])
270 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt1', 'Rozhen60_p1'])
271 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt2', 'Rozhen60_p2'])
272 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt3', 'Rozhen60_p3'])
273 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2010', 'pnt4', 'Rozhen60_p4'])
274 ersetzungen.append(['Rozhen60cm_2011', 'Rozhen60_p5'])
275 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt1_20', 'Gettysburg_p1'])
276 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt2_20', 'Gettysburg_p2'])
277 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt3_20', 'Gettysburg_p3'])
278 ersetzungen.append(['Gettysburg', 'pnt4_20', 'Gettysburg_p4'])
279 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt1', 'Lulin_lm_p1'])
280 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt2', 'Lulin_lm_p2'])
281 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt3', 'Lulin_lm_p3'])
282 ersetzungen.append(['LOT-Data_LOT2010', 'pnt4', 'Lulin_lm_p4'])
283 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt1', 'Byurakan_p1'])
284 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt2', 'Byurakan_p2'])
285 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt3', 'Byurakan_p3'])
286 ersetzungen.append(['Byurakan-Data_pnt4', 'Byurakan_p4'])
287 ersetzungen.append(['CTK-II-Data_1', 'CTK-II'])
288 ersetzungen.append(['OSN_pnt1', 'OSN_p1'])
289 ersetzungen.append(['OSN_pnt2', 'OSN_p2'])
290 ersetzungen.append(['OSN_pnt3', 'OSN_p3'])
291 ersetzungen.append(['OSN_pnt4', 'OSN_p4'])
292 ersetzungen.append(['OSN_pnt6', 'OSN_p6'])
293 ersetzungen.append(['OSN_pnt8', 'OSN_p8'])
294
295 if photoschritt <> '!':
296     if photoschritt[-1:] <<> 'n' or photoschritt.find('!') > -1:
297         print "Fehler_in_Schritte_photometrie"
298         exit(2)

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

299 if belzeiten[0]=='all':
300     for i in range(1,300):
301         belzeiten.append(str(i))
302 for i in range(len(belzeiten)): #eventuell Fehlendes s an Belzeiten anhängen
303     if belzeiten[i][:-1]<>'s':
304         belzeiten[i]=belzeiten[i]+'s'
305
306 status=[]
307 try:
308     file=open("status.log",'r')
309     for line in file:
310         status.append(line)
311     file.close()
312 except:
313     status=[]
314 if "Vorbereitung_"+stern+band+belzeiten[0)+"\n" not in status:
315     naechte=[]
316     #ohnefirst=False
317     file=open("naechte",'r') #Einlesen der Naechte
318     for line in file:
319         line=line.split()
320         if line[0][-1]=='/': #Entfernen des letzten / , falls vorhanden
321             line[0]=line[0][:-1]
322         #if line[1]=="yf" or line[1]=="fy":
323         # ohnefirst=True
324         # naechte.append(line[0])
325         if line[1]=="y":
326             naechte.append(line[0])
327             if line[0].find('/magnit')<>-1 or line[0].find('_magnit')<>-1:
328                 print 'in naechte sollte kein /magnit oder _magnit vorkommen'
329                 exit(3)
330     file.close()
331     nonvar=[]
332 try:
333     file=open('nonvar_'+belzeiten[0],'r') #einlesen konstanter Sterne
334     for line in file: #vergleich mit c_-File, wo auf jeden Fall die richtigen Nummern stehen
335         if len(line)<=1:
336             continue
337         line=int(line[:-1])
338         if line>maxnrcompstars:
339             break
340         nonvar.append(line)
341     file.close()
342     temp=line
343 except:
344     try:
345         file=open('nonvar','r') #einlesen konstanter Sterne
346         for line in file: #vergleich mit c_-File, wo auf jeden Fall die richtigen Nummern stehen
347             if len(line)<=1:
348                 continue
349             line=int(line[:-1])
350             if line>maxnrcompstars:
351                 break
352             nonvar.append(line)
353         file.close()
354         temp=line
355     except: #Liste erstellen, falls nicht vorhanden
356         temp=2
357         print "keine_Datei_nonvar_gefunden"
358 for i in range(temp,maxnrcompstars): #nonvar auffuellen
359     nonvar.append(i)
360 colorinf=[]
361 try: #Farbinformationen
362     file=open('colorinf','r')
363     for line in file:
364         line=line[:-1].split('\t')
365         if len(line)<2:
366             continue
367         for i in range(1,len(line)): #in Float umwandeln oder als INDEF markieren
368             try:
369                 line[i]=float(line[i])
370             except:
371                 line[i]=100000
372         line[0]=int(line[0])
373         if line[0]==int(stern):
374             colorinf.insert(0,line)
375         else:
376             if line[0] in nonvar:
377                 colorinf.append(line) #Liste mit Stern-Nr,x,y,B,V,R,I
378     file.close()
379 except:
380     print "keine_Datei_mit_Farbinformationen_gefunden:_colorinf"
381     exit(4)
382 if colorinf[0][0]<>int(stern):
383     print "Stern_nicht_in_Colorinf_gefunden"
384     exit(5)
385 vergleichssterne=[]
386 for line in colorinf:
387     if line[0]==1: #erster Stern sind verschiedene Sterne in verschiedenen Datensätzen
388         continue
389     if abs(line[3+bandind]-colorinf[0][3+bandind])<magdiff or line[3+bandind]+colorinf[0][3+bandind]
390         >100: #Farbe passt
391         if (line[1]-colorinf[0][1])**2+(line[2]-colorinf[0][2])**2<=radius**2: #Abstand passt
392             farbdiff1=0
393             farbdiff2=0
394             if bandind>0: #Farbdifferenz zur blaueren Magnitude

```

ANHANG B. QUELLCODE

```
394         farbdiff1=abs((line[3+bandind-1]-line[3+bandind])-(colorinf[0][3+bandind-1]-colorinf[0][3+
395         bandind]))
396     if bandind<3: #Farbdifferenz zur röteren Magnitude
397         farbdiff2=abs((line[3+bandind]-line[3+bandind+1])-(colorinf[0][3+bandind]-colorinf[0][3+
398         bandind+1]))
399     if farbdiff1<colordiff and farbdiff2<colordiff: #Farbe passt
400         vergleichssterne.append(line[0]) #Vergleichssterne der ersten Koordinatendatei
401     elif line[3+bandind]==100000 or colorinf[0][3+bandind]==100000:
402         vergleichssterne.append(line[0]) #trotzdem hinzufuegen
403     elif bandind>0: #Abfangen von U und J Band
404         if line[3+bandind-1]==100000 or colorinf[0][3+bandind-1]==100000: #Wenn eine Helligkeit
405             nicht bekannt
406             vergleichssterne.append(line[0]) #trotzdem hinzufuegen
407         continue
408     elif bandind<3:
409         if line[3+bandind+1]==100000 or colorinf[0][3+bandind+1]==100000: #Wenn eine Helligkeit
410             nicht bekannt
411             vergleichssterne.append(line[0]) #trotzdem hinzufuegen
412     print "nonvar-Sterne_mit_richtigem_Abstand,_Farbe_und_Helligkeit:_" ,len(vergleichssterne)
413     logfile=open('logfile','a')
414     logfile.write("nonvar-Sterne_mit_richtigem_Abstand,_Farbe_und_Helligkeit:_" +str(len(
415         vergleichssterne))+'\n')
416     logfile.close()
417     if len(vergleichssterne)<3:
418         print "Zu_wenig_passende_Sterne->>Radius,_Magnitudenunterschied_oder_Farbdifferenz_erhöhen"
419         exit(6)
420     vergleichssterne=numpy.array(vergleichssterne)
421     os.system('find_maxdepth_1_name_'+stern+'-origrefcoords*"-exec_rm_{_}\;')
422     naechtebelzeit=[]
423     allindexes=[]
424     allrefcoords=[]
425     for ordner in naechte:
426         temp=ordner.split('/')
427         neuordner='' #wichtig fuer Benennung magnitdateien-> Abbildung der Ordnerstruktur
428         for i in range(ebenen_naechte):
429             neuordner=temp[-(i+1)]+'/' +neuordner
430         nachtstatus=[]
431         try:
432             file=open(ordner+'/status.log','r')
433             for line in file:
434                 nachtstatus.append(line)
435             file.close()
436         except:
437             print ordner+'/status.log_ fehlt !!!'
438             for belzeit in belzeiten:
439                 nachtstatus.append('bla'+band+belzeit+'\n')
440         for belzeit in belzeiten:
441             vorhanden=False
442             for line in nachtstatus: #Belichtungszeit nur verwenden, wenn auch bearbeitet
443                 if line.find(band+belzeit+'\n')>0:
444                     vorhanden=True
445                     break
446             if vorhanden==False:
447                 continue
448             vorhand=False
449             try:
450                 file=open(ordner+'/'+refcoords+belzeit,'r')
451                 vorhand=True
452             except:
453                 print "keine_Datei:_" +ordner+'/'+refcoords+belzeit
454                 if vorhand==False:
455                     continue
456             indexes=numpy.zeros(len(vergleichssterne))-1 #alle Positionen der Vergleichssterne -1 setzen
457             index=0
458             for line in file:
459                 line=line.split() #Besteht aus x,y,Nr,mag
460                 if len(line)<3:# or line[2]!='1': #letzte Leerzeile oder Stern 1, da dieser ja nach Teleskop
461                     variiert
462                     continue
463                 i=numpy.where(vergleichssterne==int(line[2])) #Leer, wenn Vergleichstern nicht in refcoords
464                 indexes[i]=index #Zeilenindex, wie dann auch in magnitdatei
465                 index+=1
466             file.close()
467             logfile=open('logfile','a')
468             if indexes[0]==-1: #interessanter Stern nicht dabei
469                 #print "Koordinatendatei "+ordner+'/'+refcoords+belzeit," nicht verwendet, Stern nicht dabei
470                 logfile.write("Koordinatendatei_"+ordner+'/'+refcoords+belzeit+"_nicht_verwendet,_Stern_
471                 nicht_dabei\n")
472                 logfile.close()
473                 continue
474             temp=len(indexes[numpy.where(indexes<>-1)])
475             print "Koordinatendatei_"+ordner+'/'+refcoords+belzeit,"_verwendet,_Anzahl_Einträge:_" ,temp
476             logfile.write("Koordinatendatei_"+ordner+'/'+refcoords+belzeit+"_verwendet,_Anzahl_Einträge:_"
477                 +str(temp)+'\n')
478             if temp<=minstars:
479                 #print "Koordinatendatei "+ordner+'/'+refcoords+belzeit," nicht verwendet, zu wenig Sterne:
480                 ",temp
481                 logfile.write("Koordinatendatei_"+ordner+'/'+refcoords+belzeit+"_nicht_verwendet,_zu_wenig_
482                 Sterne:_" +str(temp)+'\n')
483                 logfile.close()
484                 continue
485             logfile.close()
486             temp=open(ordner+'/'+refcoords+belzeit,'r').readlines()
487             if temp not in allrefcoords:
488                 allrefcoords.append(temp)
489             naechtebelzeit.append([ordner,neuordner,belzeit])
```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

480     allindexes.append(indexes)
481 if allindexes==[]:
482     print "Keine_passende_Nacht_gefunden,_minstars_eventuell_verringern"
483     exit(9)
484 for i in range(len(allrefcoords)):
485     file=open(stern+'-origrefcoords%2.2i%i','w')
486     for line in allrefcoords[i]:
487         file.write(line)
488     file.close()
489 vergleichssterneall=vergleichssterne[:] #Sterne aussortieren, welche immer nicht vorhanden sind
490 allindexes=numpy.array(allindexes)
491 for i in range(len(allindexes[0]))[:-1]:
492     if sum(allindexes[:,i]+1)==0: #-1 fuer nicht vorhanden, deswegen +1
493         allindexes=numpy.delete(allindexes,i,1) #i-te Spalte löschen
494         print vergleichssterneall[i],"wird_geloecht,_da_nie_vorhanden"
495         vergleichssterneall=numpy.delete(vergleichssterneall,i,0)
496 if len(vergleichssterneall)>maxvergl:
497     print "mindestens_einer_Koordinatendateien_vorhande_Sterne:",len(vergleichssterneall),"da_das
        _zu_viele_sind_(",maxvergl,")_wird_aussortiert"
498     temp=[]
499     for i in range(len(allindexes[0])):
500         temp.append([len(numpy.where(allindexes[:,i]>>-1)[0]),i]) #Zaehlen, wie of jeder Stern in
        Koordinatendateien
501     temp.sort()
502     delindex=[]
503     for i in range(len(temp)-maxvergl):
504         delindex.append(temp[i][1])
505     for j in range(len(temp)-maxvergl*14/10,i-1):[:-1]:
506         if temp[j][0]==temp[i][0]:
507             del delindex[-1]
508         else:
509             break
510     delindex.sort()
511     for i in delindex[:-1]:
512         allindexes=numpy.delete(allindexes,i,1) #i-te Spalte löschen
513         vergleichssterneall=numpy.delete(vergleichssterneall,i,0)
514     temp=''
515     for i in vergleichssterneall:
516         temp=temp+str(i)+'\t'
517     file=open(stern+band+belzeiten[0]+'_vergleichssterne','w')
518     file.write(temp[:-1]+'\\n')
519     for j in range(len(allindexes)):
520         temp=''
521         for i in allindexes[j]:
522             if i==-1:
523                 temp=temp+'\\t'
524             else:
525                 temp=temp+str(int(i)+'\\t')
526         file.write(temp+naechtebelzeit[j][0]+'\\t'+naechtebelzeit[j][1].replace('/','_')+'\\t'+
            naechtebelzeit[j][2]+'\\n') #Ordner, Neuordner, Belzeit
527     file.close()
528     print "Von_",len(vergleichssterne),"Sternen_fuer",stern+band,"mit_passendem_Abstand,_
        Magnitudenunterschied_und_Farbdifferenz_sind_in_mindestens_einer_Koordinatendateien_vorhanden
        :_",len(vergleichssterneall)
529     logfile=open('logfile','a')
530     logfile.write("Von_"+str(len(vergleichssterne))+"_Sternen_mit_passendem_Abstand,_
        Magnitudenunterschied_und_Farbdifferenz_sind_in_Koordinatendateien_vorhanden:_"+str(len(
            vergleichssterneall)+'\\n')
531     logfile.close()
532     if len(vergleichssterneall)<3:
533         print "Das_sind_zu_wenige"
534         exit(7)
535     status.append("Vorbereitung_"+stern+band+belzeiten[0]+"\\n")
536     file=open("status.log",'w')
537     for line in status:
538         file.write(line)
539     file.close()
540
541 status=[]
542 try:
543     file=open("status.log",'r')
544     for line in file:
545         status.append(line)
546     file.close()
547 except:
548     status=[]
549
550 if "1" in variante and "All-Aperturtesting_"+stern+band+belzeiten[0]+"\\n" not in status: #Muss
    komplett ueberarbeitet werden
551     os.system("mkdir_p_koords_fertigkoords_vorbereitung")
552     lastpy="Eine_Zeile_die_nicht_bei_ps_fA_existieren_darf"
553     lastneuord="erster"
554     allebilder=[]
555     for i in range(len(naechtebelzeit)):
556         if "Vorbereitung1_"+band+naechtebelzeit[i][1]+"\\n" in status:
557             continue
558         print naechtebelzeit[i][1], "_wird_kopiert"
559         status=[]
560         try:
561             file=open("status.log",'r')
562             for line in file:
563                 status.append(line)
564             file.close()
565         except:
566             status=[]
567         aussortiert=[]
568         if sortout==False:

```


ANHANG B. QUELLCODE

```

569     try:
570         file=open(naechtebelzeit[i][0]+"/aussortiert",'r')
571         for line in file:
572             if len(line)>10: #Leerzeilen abfangen
573                 aussortiert.append(line.replace('_magnit','_fits'))
574         file.close()
575     except:
576         aussortiert=[]
577     nachtbilder=[]
578     for line in os.popen('find'+pfad_bilder+'/'+'naechtebelzeit[i][1]+'/'+'_name_*'+band+'_'+'
naechtebelzeit[i][2]+'_fits*'):
579         pfade=line[:-1].split('/')
580         if pfade[-1] in aussortiert:
581             continue
582     os.system("cp"+line[:-1]+'_'+'vorbereitung/'+'naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+pfade[-1] #
Bilder kopieren
583     if pfade[-1][-3:]=="gz":
584         os.system('nice-n5_gunzip-f_vorbereitung/*'+pfade[-1]+'&")
585         pfade[-1]=pfade[-1][:-3]
586     if pfade[-1][-4:]=="bz2":
587         os.system('nice-n5_bunzip2-f_vorbereitung/*'+pfade[-1]+'&")
588         pfade[-1]=pfade[-1][:-4]
589     for zeile in os.popen('find'+pfad_koords+'/'+'naechtebelzeit[i][1]+'/'+'koords/_name_c_'+pfade
[-1][:-5]+'*'):
590         if zeile[-4:]=="gz\n":
591             os.system("gunzip"+zeile) #Falls c_Datei gepackt
592         if zeile[-5:]=="bz2\n":
593             os.system("bunzip2"+zeile) #Falls c_Datei gepackt
594     coords=[]
595     try:
596         file=open(pfad_koords+"/"+naechtebelzeit[i][1]+"/koords/c_"+pfade[-1][:-5],'r')
597         for line in file:
598             temp=line.split()
599             if temp[2]==stern:
600                 coords.insert(0,line)
601             elif temp[2] in vergleichssterneall:
602                 coords.append(line)
603         file.close()
604     except:
605         print "Konnte_Datei_"+pfad_koords+"/"+naechtebelzeit[i][1]+"/koords/c_"+pfade[-1][:-5], "
nicht_oeffnen"
606         file=open("prob_fehlende_c_files",'a')
607         file.write(pfad_koords+"/"+naechtebelzeit[i][1]+"/koords/c_"+pfade[-1][:-5]+"\\n")
608         file.close()
609         continue
610     file=open("vorbereitung/c_"+naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+pfade[-1][:-5],'w')
611     for line in coords:
612         file.write(line)
613     file.close()
614     nachtbilder.append(naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+pfade[-1][:-5]) #ohne Endung
615     if nachtbilder==[]: #Keine Bilder im Ordner
616         print "Leere_Nacht:_"+'naechtebelzeit[i][0]
617         file=open("prob_leere_naechte",'a')
618         file.write(naechtebelzeit[i][0]+"\\n")
619         file.close()
620     os.system('find-maxdepth_1_name_'+naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+'*_fits*_exec_rm_
{ }_\\;')
621     continue
622     os.system('nice-n10_find'+pfad_koords+'/'+'naechtebelzeit[i][1]+'/'+'koords/_name_c_*s*_exec_
bz2_{ }_\\;&')
623     ### Paralleles Kopieren der nächsten Nacht:
624     if parallel==True and lastneuord<>"erster": #Warten auf Ende des vorherigen automat-Prozess,
falls nicht erster
625         for j in range(4000):
626             stop=True
627             for line in os.popen("ps-fA_|grep'+lastpy+'"):
628                 if line.find("grep")==-1: #Zeile ohne das gegrepte ist das Program
629                     stop=False #nicht anhalten, wenn och vorkommt
630             if stop==True: #Ende
631                 break
632             time.sleep(0.5) #Warten
633             if j/400==j/400.:
634                 print "warte_auf_Ende_von_",lastpy,"..."
635             print "automat.py_auf_",lastneuord,"_ist_fertig"
636             err=os.system("mv"+magordner+'*_magnit_Varlmag/'+'lastneuord+'/'+'magordner)
637             if err>0:
638                 file=open("prob_magnit",'a')
639                 file.write(str(err)+"_"+lastneuord+"\\n")
640                 file.close()
641             os.system("mv_koords/c_"+lastneuord.replace('/', '_')+"*_fertigkoords")
642             file=open("status.log",'a')
643             file.write("Vorbereitung1-"+band+lastneuord+"\\n")
644             file.close()
645             os.system("rm"+lastneuord.replace('/', '_')+"*_fits*_oldlogin.cl_&")
646     ### Ende Paralleles Kopieren
647     os.system("mv_vorbereitung/c_*_koords")
648     for j in range(300): #Warten, wenn bilder noch nicht fertig entzippt
649         stop=True
650         time.sleep(1)
651         for line in os.popen("ls-1_vorbereitung/*_gz_vorbereitung/*_bz2"):
652             if line.find("cannot_access")==-1:
653                 stop=False
654             if stop==True:
655                 break
656     if stop==False: #Es waren noch gezippte Dateien im Ordner
657         file=open("status.log",'a')

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

658     file.write("Vorbereitung1-problem-"+band+naechtebelzeit[i][1]+":_noch_gezippte_Files_in_
        vorbereitung->_zipfiles\n")
659     file.close()
660     os.system("ls_vorbereitung/*_gz_vorbereitung/*_bz2->_zipfiles")
661     os.system("mv_vorbereitung/*_fits_")
662     file=open('liste_'+band+naechtebelzeit[i][2], 'w') #Liste für Photometrie schreiben
663     for line in nachtbilder:
664         file.write(line+'.fits\n')
665     file.close()
666     file=open('liste_allmagnit'+band+belzeiten[0], 'a') #Liste aller Magnitdateien schreiben
667     for line in nachtbilder:
668         file.write(line+'_magnit\n')
669     file.close()
670     kameras=["STK", "CTK", "RTK", "CTK-II", "Xinglong", "Byurakan", "Swarthmore", "LOT", "Lulin.4", "
        Tenagra2", "RozhenS", "Rozhen60", 'Trebur', 'OSN', 'Getty'] #Kamera muss im Ordnernamen
        enthalten sein
671     temp=False
672     for kamera in kameras:
673         if naechtebelzeit[i][1].find(kamera)>-1:
674             temp=True
675             break
676     if temp==False: #keine Kamera im Dateinamen -> Festgelegte Kamera verwenden
677         kamera=nureineKam
678         print kamera, "wird verwendet"
679     os.system("cp_"+naechtebelzeit[i][0]+"/"+refcoords+naechtebelzeit[i][2]+".") #refcoords
        kopieren, da von automat.py benötigt
680     status=[]
681     try:
682         file=open("status.log", 'r')
683         for line in file:
684             status.append(line)
685         file.close()
686     except:
687         status=[]
688     if "Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status: #Anpassen des status.log für
        automat.py
689         status.append("Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
690     if "Cross-cor"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status:
691         status.append("Cross-cor"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
692     if "Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status:
693         status.append("Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
694     if "Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status:
695         status.append("Reduziert"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
696     for j in range(len(status)-1,-1,-1):
697         if status[j]=="Apertur-Test"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n":
698             del status[j]
699             continue
700         if status[j]=="IRAF-Photometrie"+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n":
701             del status[j]
702             continue
703         if status[j].find("maxnummer"+band+naechtebelzeit[i][2]+"=")==0:
704             del status[j]
705             continue
706         if status[j].find("Apertur"+band+naechtebelzeit[i][2]+"=")==0:
707             status[j]="Save"+status[j]
708         if status[j].find("FWHM"+band+naechtebelzeit[i][2]+"=")==0:
709             del status[j]
710     if "Chrisphotsettings"+magordner+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status:
711         status.append("Chrisphotsettings"+magordner+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
712     if "Chris-Photometrie"+magordner+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n" not in status:
713         status.append("Chris-Photometrie"+magordner+band+naechtebelzeit[i][2]+" \n")
714     FWHM=FWHM_inp
715     try: #FWHM bestimmen
716         file=open(naechtebelzeit[i][0]+"/status.log", 'r')
717         for line in file:
718             if line.find("FWHM"+band+naechtebelzeit[i][2]+"=")==0:
719                 line=line[:-1].split("=")
720                 FWHM=line[-1]
721             break
722         file.close()
723     except:
724         FWHM=FWHM_inp
725     status.append("maxnummer"+band+naechtebelzeit[i][2]+"="+str(len(vergleichssterneall))+"\n")
726     status.append("FWHM"+band+naechtebelzeit[i][2]+"="+FWHM+"\n")
727     file=open("status.log", 'w')
728     for line in status:
729         file.write(line)
730     file.close()
731     os.system("mkdir_p_Varlmag/"+naechtebelzeit[i][1]+"/"+magordner)
732     print "automat.py_auf_", naechtebelzeit[i][1], "_wird_gestartet"
733     print "python_"+pfad_python+"automat.py_"+kamera+"_"+liste_'+band+naechtebelzeit[i][2]+".
        liste_nix_"+band+naechtebelzeit[i][2]:-1]+"._false_false_"+photschritt
734     if parallel==True:
735         lastpy="python_"+pfad_python+"automat.py_"+kamera+"_"+liste_'+band+naechtebelzeit[i][2]+".
        liste_nix_"+band+naechtebelzeit[i][2]:-1]+"._false_false_"+photschritt+"_false"
736         os.system(lastpy+"&")
737         lastneuord=naechtebelzeit[i][1]
738         continue
739     else:
740         os.system("python_"+pfad_python+"automat.py_"+kamera+"_"+liste_'+band+naechtebelzeit[i][2]+".
        liste_nix_"+band+naechtebelzeit[i][2]:-1]+"._false_false_"+photschritt+"_false")
741     print "automat.py_auf_", naechtebelzeit[i][1], "_ist_fertig"
742     err=os.system("mv_"+magordner+"/*_magnit_Varlmag/"+naechtebelzeit[i][1]+"/"+magordner)
743     if err>0:
744         file=open("prob_magnit", 'a')
745         file.write(str(err)+"_"+naechtebelzeit[i][1]+"\n")
746         file.close()

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

747     os.system("mv_koords/c_"+naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+"*_fertigkoords")
748     file=open("status.log", 'a')
749     file.write("Vorbereitung1-"+band+naechtebelzeit[i][1]+\n")
750     file.close()
751     os.system("rm_"+naechtebelzeit[i][1].replace('/', '_')+"*.fits*_oldlogin.cl&")
752 if parallel==True: #nach letztem Durchlaufen noch Aufräumen
753     for j in range(6000):
754         stop=True
755         for line in os.popen("ps_A_|grep'+lastpy+'"):
756             if line.find("grep")==-1: #Zeile ohne das gegrepte ist das Program
757                 stop=False #nicht anhalten, wenn och vorkommt
758             if stop==True: #Ende
759                 break
760             time.sleep(0.5)
761         print "automat.py_auf_", lastneuord, "_ist_fertig"
762         err=os.system("mv_"+magordner+"*_magnit_Varlmag/"+lastneuord+"/"+magordner)
763         if err>0:
764             file=open("prob_magnit", 'a')
765             file.write(str(err)+"_"+lastneuord+"\n")
766             file.close()
767         os.system("mv_koords/c_"+lastneuord+"*_fertigkoords")
768         file=open("status.log", 'a')
769         file.write("Vorbereitung1-"+band+lastneuord+"\n")
770         file.close()
771         os.system("rm_"+lastneuord.replace('/', '_')+"*.fits*_oldlogin.cl&")
772
773 #-> Vorbereiten für 2
774 for i in range(len(naechtebelzeit)):
775     naechtebelzeit[i][0]="Varlmag/"+naechtebelzeit[i][1]+"/" #neuer Quellpfad für magnitdateien
776     for j in range(len(naechtebelzeit[i][3])): #Index der Zeilen anpassen
777         naechtebelzeit[i][3][j][3]=j
778     status=[]
779     file=open("status.log", 'r') #Zeilen für 2 aus Status.log löschen
780     for line in file:
781         if line not in ["Chrisphotsettings"+magordner+band+belzeiten[0]+\n", "Chris-Photometrie"+
782             magordner+band+belzeiten[0]+\n", "Vorbereitung-Var2"+band+belzeiten[0]+\n"]:
783             status.append(line)
784     file.close()
785     if "Chrisphotsettings"+magordner+"-Var2a_"+stern+band+belzeiten[0]+\n" in status:
786         status.append("Chrisphotsettings"+magordner+band+belzeiten[0]+\n")
787     file=open("status.log", 'w')
788     for line in status:
789         file.write(line)
790     file.close()
791
792 #for i in range(len(vergleichssterneall)): #vergleichssterneall mit durchgehenden Nummern fü
793     llen
794     #vergleichssterneall[i]=str(i+1)
795
796 status=[]
797 try:
798     file=open("status.log", 'r')
799     for line in file:
800         status.append(line)
801     file.close()
802 except:
803     status=[]
804
805 if ("2a" in variante or "2b" in variante or "2c" in variante or "2d" in variante or "2e" in variante:
806     temp=open(stern+band+belzeiten[0]+'_vergleichssterne', 'r').readlines()
807     vergleichssterne=numpy.array(temp[0].split())
808     del temp[0]
809     indexes=[]
810     naechtebelzeit=[]
811     for line in temp:
812         line=line[:-1].split('\t')
813         for i in range(len(line)-3):
814             if line[i]=='':
815                 line[i]=-1
816             else:
817                 line[i]=int(line[i])
818             indexes.append(line[-3])
819         naechtebelzeit.append(line[-3:]) #Ordner, Neuordner, Belzeit
820     indexes=numpy.array(indexes)
821
822 if (("2a" in variante or "2b" in variante or "2c" in variante or "2d" in variante) and "Vorbereitung
823     -Var2_"+stern+band+belzeiten[0]+\n" not in status) or ("2e" in variante and "Vorbereitung-
824     Var2e_"+stern+band+belzeiten[0]+\n" not in status):
825     #Einlesen der Vorbereitung
826     os.system('mkdir_p_'+magordner)
827     #Alte Magnitdateien sichern
828     for line in os.popen('find'+magordner+'/_name'+stern+'*_'+band+'_*').readlines():
829         os.system('mkdir_p_old'+magordner+'_old; mv'+line[:-1]+'_old'+magordner+'_old/&')
830     if os.path.isdir('old'+magordner+'_old')==True:
831         os.system('find_old'+magordner+'_old/_name*_magnit*_exec_bzip2_-f_{ }_&')
832     i=0
833     for j in range(900): #Testen, ob noch ein Prozess laeuft, da diese den Rechner ausknocken koenen
834         running=False
835         try:
836             daten=open('/tmp/all_light_fuer_ein_stern_blocked', 'r').readlines()
837         except:
838             daten=[]
839         for line in daten:
840             line=line.split()
841             temp=os.popen('ps_A_|grep'+line[0]).readlines()
842             for zeile in temp:

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```
840     zeile=zeile.split()
841     if zeile[0]==line[0] and zeile[-1].find('python')>-1:
842         running=True
843         break
844 if running==True:
845     if i==0:
846         print "\nWarte_auf_freie_Lese_und_Schreibkapazitaet_zum_sofortigem_Start_rm_/tmp/
all_light_fuer_ein_stern_blocked'_ausfuehren"
847         i=1
848         time.sleep(10)
849     elif i==1:
850         print "..._starte"
851         break
852 os.system('echo'+str(os.getpid())+'>>_/tmp/all_light_fuer_ein_stern_blocked')
853
854 magnits=[] #magnituden interessanter Stern
855 magnitsfull=[] #Magnituden Vergleichssterne
856 magnitfile=[] #Dateiname magnit-Datei
857 #dphotsource=[]
858 for i in range(len(naechtebelzeit)): #Fuer jeden Ordner und Belzeit magnit Dateien suchen
859     aussortiert=[]
860     if sortout==False:
861         try:
862             file=open(naechtebelzeit[i][0]+"/aussortiert",'r')
863             for line in file:
864                 if len(line)>10: #Leerzeilen abfangen
865                     aussortiert.append(line[:-1])
866             file.close()
867         except:
868             aussortiert=[]
869     nraussort=0
870     tempmagnitsfull=[]
871     tempmagnits=[]
872     tempmagnitfile=[]
873     temperrors=[]
874     for magnit in os.popen('find'+naechtebelzeit[i][0]+'/'+'magordner+'/_name_*'+band+'_'+'
naechtebelzeit[i][2]+'_magnit*'|sort'): #alle Magnitdateien eines Ordner und einer
belzeit suchen
875         magnit=magnit[:-1] #Zeilenumbruch entfernen
876         if magnit[-4:]=='bz2': #Gepackte Dateien antpacken
877             #os.system('bunzip2 '+magnit)
878             magnit=magnit[:-4]
879         if magnit[-3:]=='gz':
880             os.system('gunzip '+magnit)
881             magnit=magnit[:-3]
882         inaussortiert=False #Checken, ob Datei in aussortiert vorhanden
883         for line in aussortiert:
884             if magnit.find(line)<>-1:
885                 inaussortiert=True
886                 nraussort+=1
887             break
888         if inaussortiert==True: #Wenn in aussortiert, dann naechste Datei
889             continue
890         #print time.time(),"Beginn Einlesen"
891         if os.path.isfile(magnit)==True:
892             temp=open(magnit,'r').readlines() #Magnitdatei einlesen
893         else:
894             temp=bz2.BZ2File(magnit+'.bz2','r').readlines()
895             temp.append('-1_100000_100000_JD\n') #Dummyzeile fuer nicht enthaltene Sterne hinzufuegen
(haben index: -1 -> letzte Zeile)
896         #line=temp[0].split() #JD raussuchen
897         #dphotsource.append([float(line[3]),naechtebelzeit[i][1]]) #JD und Ordner fuer dphot_source
898         temp=numpy.array(temp)
899         temp=temp[indexes[i]] #Array welches nur noch Zeilen aus Magnitdatei fuer die Vergleichssterne
enthaelt
900         posi=temp[0].find('100000') #testen, ob Interersanter Stern INDEF
901         if posi>0 and posi<=19: #INDEF vorhanden
902             print "Stern",stern,"ist INDEF_in_",magnit,"->_Magnitdatei_weggelassen"
903             continue
904         tempmagnitsfull.append(temp) #Volle Zeilen
905         mags=[]
906         errors=[]
907         for line in temp:
908             line=line.split()
909             mags.append(float(line[1]))
910             errors.append(float(line[2]))
911         tempmagnits.append(mags) #nur Magnituden einer Magnitdatei
912         temperrors.append(errors)
913         temp=magnit.split('/')
914         tempmagnitfile.append(stern+'_'+naechtebelzeit[i][1]+temp[-1])
915         tempmagnits=numpy.array(tempmagnits)
916         temperrors=numpy.array(temperrors)
917         aussortiert=0
918         if len(tempmagnits)>3:
919             changes=True
920         else: #Bei drei dateien und weniger wird nicht gerechnet -> deswegen auch nichts aussortiert
921             changes=False
922             mittel=[0,0]
923             stabw=[0,0]
924         while changes==True:
925             changes=False
926             mags=[]
927             for j in range(len(tempmagnits)):
928                 line=numpy.where(abs(tempmagnits[j,:])+abs(temperrors[j,:])<100) #Nur nicht-INDEF-Werte
vergleichen
929                 mags.append([numpy.mean(tempmagnits[j,line]),numpy.mean(temperrors[j,line])])
930             mags=numpy.array(mags)
```

ANHANG B. QUELLCODE

```

931 mittel=numpy.mean(mags,axis=0)
932 stabw=sigma*numpy.std(mags,axis=0,ddof=1)
933 stabw[0]=max(stabw[0],0.5) #0.7mag Unterschied ok=0.5facher Fluss
934 stabw[1]=max(stabw[1],1.0*mittel[1]) #3-facher Fehler ok
935 maxmag=mittel+stabw
936 for j in range(len(tempmagnitfile))[:-1]:
937     temp=numpy.array(mags[j])>maxmag
938     if True in temp: #mag oder Fehler groesser
939         del tempmagnitsfull[j]
940         tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,j,0)
941         temperrors=numpy.delete(temperrors,j,0)
942         del tempmagnitfile[j]
943         changes=True
944         aussortiert+=1
945 for j in range(len(tempmagnitfile)):
946     magnitsfull.append(tempmagnitsfull[j])
947     magnits.append(tempmagnits[j])
948     magnitfile.append([tempmagnitfile[j],naechtebelzeit[i][1]])
949 print naechtebelzeit[i][0]+"_%4s"%naechtebelzeit[i][2]+" :_%3.1i"%len(tempmagnitfile)+"_files ,
Magnit_in_Datei_aussortiert :_%3.1i"%nraussort+" ,_aussortiert :_%3.1i"%aussortiert+" ,_mags_
%5.2f"%mittel[0]+"+"-%4.2f"%stabw[0]+" ,_err_%5.3f"%mittel[1]+"+"-%5.3f"%stabw[1]
950 #mittel und stabw=0, wenn 3 oder weniger Magnitdateien im Ordner
951 logfile=open('logfile','a')
952 logfile.write(naechtebelzeit[i][0]+"_%4s"%naechtebelzeit[i][2]+" :_%3.1i"%len(tempmagnitfile)+"_
files ,_Magnit_in_Datei_aussortiert :_%3.1i"%nraussort+" ,_aussortiert :_%3.1i"%aussortiert+" ,_
mags_%5.2f"%mittel[0]+"+"-%4.2f"%stabw[0]+" ,_err_%5.3f"%mittel[1]+"+"-%5.3f"%stabw[1]+'\n')
953 logfile.close()
954 #Es geht direkt weiter
955 if ("2a" in variante or "2b" in variante or "2c" in variante or "2d" in variante) and "Vorbereitung-
Var2 "+stern+band+belzeiten[0]+"\n" not in status:
956     print "\nDEF-Sterne und -Bilder fuer",stern+band,"aussortieren"
957     magnits=numpy.array(magnits) #nur Magnituden
958     tempmagnits=magnits[:] #nur Magnituden
959     magnitfile=numpy.array(magnitfile)
960     tempmagnitfile=magnitfile[:]
961     tempvergleichsstern=vergleichsstern[:] #Vergleichsstern
962     orig=len(vergleichsstern),len(magnitfile)
963     bearb=1
964     #1: Die Bilder entfernen, die bei Vergleichsstern <3 INDEFs erzeugen
965     #2: Auf 10 Vergleichsstern aussortieren
966     #3: Bilder entfernen, die INDEF
967     deletedstars=[] #try: 13.06.14
968     deletedimas=[] #try: 13.06.14
969     hinzu=['ima','star']
970     delima=[]
971     logfile=open('logfile','a')
972     while True: # or (bearb<3 and "2b" in Variante):
973         #print len(tempvergleichsstern),len(tempmagnits)
974         if bearb<=2:
975             temp=[]
976             for i in range(1,len(tempvergleichsstern)): #ohne Stern 1 -> wirklich nur Vergleichsstern
977                 temp.append([len(numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[:,i])>100)[0]),i)] #Wie viele INDEFs pro
Spalte, Spalte]
978             temp.sort(reverse=True) #Meisten INDEFs am Anfang
979             if temp[0][0]==0: #Alle Sterne niemals INDEF -> Yeah!!!
980                 break
981             #if raw_input('weiter'+str(bearb))== '99':
982             #    exit(0)
983             if bearb==1: #Die Bilder entfernen, die Vergleichsstern 3 INDEFs erzeugen
984                 temp.sort() #Wenigste INDEF am Anfang
985                 delima=[]
986                 dels=0
987                 for i in range(len(temp)):
988                     if temp[i][0]>max(3,len(magnitfile)/maxrejima): #Zu viele INDEFs -> Abbruch, maxrejima=4000
989                         if i>=minvergl or delima<>[]: #... Abbruch nur, wenn mind 2 Vergleichsstern nicht INDEF
oder eine Aenderung (sonst weiter aussortieren)
990                             break
991                         if temp[i][0]>0: #Mindestens einmal INDEF
992                             delima.append(temp[i][1]) #Index des Sterns, welcher max. 3x INDEF
993                 for j in range(i,len(temp)): #weiter schauen, ob naechste Zeile genau so viele INDEFs
994                     if temp[j][0]==temp[i-1][0]: #gleiche Menge INDEFs
995                         delima.append(temp[j][1])
996                 else:
997                     break
998                 for i in delima:
999                     temp=numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[:,i])>100)[0]
1000                     dels+=len(temp) #delima enthaelt nur Stern, nicht Bilder
1001                     for j in temp[:-1]:
1002                         deletedimas.append([tempmagnitfile[j,0],'Bearb1'])
1003                         tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,j,0) #i-te Zeile löschen: nur Magnituden
1004                         tempmagnitfile=numpy.delete(tempmagnitfile,j,0) #i-te Zeile löschen
1005                     if delima==[]: #keine Aenderungen beim Aussortieren der Bilder mit max 3 INDEFs
1006                         bearb+=1
1007                         continue
1008                     #break #fuer 2b, 2c, 2d -> funktioniert nicht wegen Bilder hinzufuegen
1009                 else:
1010                     logfile.write(str(dels)+"_Bilder_entfernt;_Uebrig:_"+str(len(tempvergleichsstern))+"_Sterne
"+str(len(tempmagnits))+"_Bilder\n")
1011                     print dels,"Bilder_entfernt ,_Uebrig:_Sterne:",len(tempvergleichsstern)," ,_Bilder:",len(
tempmagnits)," folgende_Sterne_(Indexes)_nur_<=3x_INDEF:" ,delima
1012             if bearb==2: #Auf 10 Vergleichsstern aussortieren (nur wichtig bei 2a, bei 2b nur häufig INDEFs
entfernen)
1013                 delstar=[]
1014                 temp.sort() #Wenigste INDEF am Anfang
1015                 for i in range(minstars,len(temp)): #Alle Sterne mit gleichhaeufiger #INDEFs wie 10.
Vergleichsstern nicht aussortieren
1016                     if temp[i][0]<>temp[minstars-1][0]: #erster Verschiedener

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

1017     delstar=range(i, len(temp)) #->alle Sterne hiernach loeschen
1018     break
1019     if delstar <> []:
1020         temp=numpy.array(temp)
1021         delindex=temp[numpy.array(delstar),1] #Indexe, welche entfernt werden sollen
1022         delindex.sort()
1023         for i in delindex[::-1]: #Spalten rueckwaerts loeschen
1024             tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,i,1) #i-te Spalte loeschen
1025             tempvergleichssterne=numpy.delete(tempvergleichssterne,i,0) #i-te Spalte loeschen
1026             logfile.write(str(len(delima))+",Sterne_entfernt;" +str(len(tempvergleichssterne))+",
1027                 Sterne,"+str(len(tempmagnits))+",Bilder\n")
1028         else: #kein Stern aussortiert ->Bilder aussortieren
1029             bearb+=1
1030     if bearb==3: #Bilder entfernen, die INDEF (nur wichtig bei 2a, bei 2b nur häufig INDEFs
1031         entfernen)
1032         temp=[]
1033         for i in range(len(tempmagnits)):
1034             temp.append([len(numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[i,:])>100)[0]),i)] #[Wie viele INDEFs pro
1035             Zeile, Zeile]
1036         temp.sort(reverse=True)
1037         if temp[0][0]==0: #Alle Bilder niemals INDEF -> Yeah!!!
1038             break
1039         for i in range(1,len(temp)):
1040             if temp[i][0]<>temp[0][0]: #nicht mehr gleiche Haefufigkeit
1041                 break
1042         delima=range(i) #Alle Bilder mit gleicher+hoechster Haefufigkeit INDEF loeschen, range(1)=[]
1043         if len(magnitfile)-(len(tempmagnitfile)-len(delima))>len(magnitfile)*maximarej/100: #Zu viele
1044             Bilder auszusortieren -> Stern entfernen
1045         if minstars>minvergl:
1046             bearb=2
1047             minstars-=1
1048             print "Zu_viele_Magnitdateien(",maximarej,"%)_muessten_entfernt_werden->_entferne_Sterne
1049             "
1050         else:
1051             print "Zu_wenig_Vergleichssterne(",minvergl,")->_zu_viele_Magnitdateien_muessten_
1052             entfernt_werden"
1053         temp=numpy.array(temp)
1054         delindex=temp[numpy.array(delima),1] #Indexe, welche entfernt werden sollen
1055         delindex.sort()
1056         for i in delindex[::-1]: #Zeilen rueckwaerts loeschen
1057             deletedimas.append([tempmagnitfile[i,0], 'Bearb3'])
1058             tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,i,0) #i-te Zeile loeschen
1059             tempmagnitfile=numpy.delete(tempmagnitfile,i,0) #i-te Zeile loeschen
1060         if delima <> []:
1061             logfile.write(str(len(delima))+",Bilder_entfernt;" +str(len(tempvergleichssterne))+",
1062                 Sterne,"+str(len(tempmagnits))+",Bilder\n")
1063             print len(delima),"Bilder_entfernt," +str(len(tempvergleichssterne)),"Bilder:",
1064                 len(tempmagnits)
1065         if len(tempvergleichssterne)<10:
1066             hinzu=['star','ima']
1067         for i in range(maxstars,len(tempvergleichssterne)-1): #Zu viele Vergleichsterne
1068             tempvergleichssterne=numpy.delete(tempvergleichssterne,maxstars+1,0)
1069             hinzu=['ima']
1070             logfile.close()
1071             indexes=[]
1072         for i in range(len(tempvergleichssterne)): #Indexes der uebriggebliebenen Vergleichssterne in
1073             gesamter List
1074             indexes.append(numpy.where(vergleichssterne==tempvergleichssterne[i])[0][0]) #2x [0] da
1075             ergebniss array
1076         indexes=numpy.array(indexes)
1077         magnit=[]
1078         for i in range(len(tempmagnits)): #Indexes der uebriggebliebenen Magnitdateien
1079             magnit.append(numpy.where(magnitfile[:,0]==tempmagnitfile[i,0])[0])
1080         min1=0
1081         min2=0
1082         if "2a" not in variante and len(tempvergleichssterne)<maxstars:
1083             min1=len(magnits[1,indexes])/100 #len(magnits[1,indexes]) == number of good reference stars
1084             min2=numpy.sqrt(len(magnits[1,indexes]))
1085             print "wenige_INDEFs_bei_Vergleichssterne_OK,Sterne_maximal_INDEF:",min1,"Bilder_maximal_
1086                 INDEF:",min2
1087         for j in hinzu:
1088             if j=='ima': #Bilder hinzufuegen
1089                 magnit=[]
1090                 for i in range(len(magnits)): #Hinzufuegen aussortierter Magnitdateien
1091                     temp=magnits[i,indexes] #magnits der uebriggebliebenen Vergleichsterne
1092                     if len(numpy.where(numpy.abs(temp)>100)[0])<=min1:#==0: #Keine INDEFs
1093                         magnit.append(i) #Liste aller guten Magnitdateien
1094                     print "Bilder_hinzufuegt," +str(len(indexes)),"Bilder:",len(magnit)
1095             if j=='star': #Sterne hinzufuegen
1096                 indexes=[]
1097                 for i in range(len(vergleichssterne)): #Hinzufuegen aussortierter Vergleichssterne
1098                     temp=magnits[magnit,i] #uebriggebliebenen magnits des i-ten Vergleichsternes
1099                     if len(numpy.where(numpy.abs(temp)>100)[0])<=min2:#==0: #Keine INDEFs
1100                         indexes.append(i)
1101                 indexes=numpy.array(indexes)
1102                 print "Sterne_hinzufuegt," +str(len(indexes)),"Bilder:",len(magnit)
1103             #for line in deletedimas:
1104             # print line
1105             tempmagnits=[] #nur loeschen, del gibt RAM nicht frei
1106             magnits=[]
1107             instmagnit=[]
1108             print "Schreibe_magnit-Dateien"
1109             for i in range(len(magnitsfull)):
1110                 if i in magnit:

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

1102 magnits.append(magnitfile[i,0])
1103 file=open(magordner+'/'+magnitfile[i,0], 'w')  #[ '600_Data_STK-Data_09_07_16_trump37-075
1104     R_10s_magnit']
1105 for j in range(len(indexes)): #jede Zeile
1106     line=magnitsfull[i][indexes[j]] #Aendern der Nummerierung in magnits
1107     file.write(str(j+1)+line[line.find('\n'):])
1108     if j==0:
1109         line=line.split()
1110         instmagnit.append(line[3]+'\\t'+line[1]+'\\t'+line[2]+'\\t'+line[0]+'\\n') #JD, mag, magerr,
1111         ID in magnit-Datei
1112     file.close()
1113 os.system('rm_/tmp/all_light_fuer_ein_stern_blocked')
1114 del magnitsfull
1115 del magnit
1116 vergleichsstern=vergleichsstern[indexes]
1117 print "Vergleichsstern:",len(vergleichsstern),"von",origs[0],",_Bilder:",len(magnits),"von",origs
1118 [1]
1119 logfile=open('logfile','a')
1120 logfile.write("Von%6.1i"%origs[0]+"_Vergleichssternen_sind_uebrig_geblieben_(selten_INDEF):_"+str
1121 (len(vergleichsstern))+'\n')
1122 logfile.write("Von%6.1i"%origs[1]+"_Magnitdateien_sind_uebrig_geblieben_(selten_INDEF):_"+str(len
1123 (magnits))+'\n')
1124 logfile.close()
1125 maxnummer=len(vergleichsstern) #Benoetigt fuer routinen_reduktion
1126 file=open("nr_to_name_"+str(maxnummer-1), 'w') #Benoetigt fuer routinen_reduktion
1127 for i in range(1,maxnummer): #stern 1 auslassen
1128     file.write(str(i)+'\\t'+vergleichsstern[i]+'\\n')
1129 file.close()
1130 os.system('cp_nr_to_name_'+str(maxnummer-1)+'_nr_to_name_'+str(maxnummer-1)+band)
1131 #file=open(stern+'_'+belzeiten[0]+'_dphotsource'+band+str(maxnummer-1), 'w') #dphotsource schreiben
1132 #for line in dphotsource:
1133 #file.write("%13.5f"%line[0]+'\\t'+line[1]+'\\n')
1134 #file.close()
1135 file=open(stern+'listeall_'+band+belzeiten[0], 'w') #Benoetigt fuer routinen_reduktion
1136 for line in magnits:
1137     file.write(line.replace('_magnit', '.fits')+'\\n') #Magnitdatei schreiben
1138 file.close()
1139 del magnits
1140
1141 file=open("insterg"+band+str(maxnummer)+"-"+stern+".dat", 'w') #Instrumentelle Helligkeiten
1142 schreiben
1143 for line in instmagnit:
1144     file.write(line) #JD, mag, magerr, ID in magnit-Datei
1145 file.close()
1146 file=open("status.log", 'a')
1147 file.write("Vorbereitung-Var2_"+stern+band+belzeiten[0]+"\\nmaxnummer"+band+belzeiten[0]+"="+str(
1148 maxnummer)+"\\n")
1149 file.close()
1150 elif ("2e" in variante) and "Vorbereitung-Var2e_"+stern+band+belzeiten[0]+"\\n" not in status:
1151 #magnits: #magnituden interessanter Stern
1152 #magnitsfull: #Magnituden Vergleichsstern
1153 #magnitfile: #Dateiname magnit-Datei
1154 telescopes=[]
1155 for i in range(len(naechtebelzeit)): #Ordner, Neuordner, Belzeit
1156     line=naechtebelzeit[i][1] #umbenannte Nacht
1157     for zeile in ersetzungen: #jeder Ersetzung ueberpruefen
1158         passend=True
1159         suchstart=-1
1160         for j in range(len(zeile)-1):
1161             suchstart=line[suchstart+1:].find(zeile[j]) #Mehrfache Suchstrings in Reihenfolge suchen
1162             if suchstart==-1: #nicht vorhanden
1163                 passend=False
1164                 break
1165             suchstart+=len(zeile[j])
1166         if passend==True:
1167             line=zeile[j+1]
1168         break
1169     if passend==False:
1170         print "Eintrag_nicht_ersetzt",line
1171
1172     vorhanden=False
1173     for j in range(len(telescopes)):
1174         if line==telescopes[j][0] and naechtebelzeit[i][2] in telescopes[j][1]:
1175             telescopes[j][2].append(naechtebelzeit[i][1])
1176             vorhanden=True
1177             break
1178     if vorhanden==False:
1179         passend=False
1180         for zeile in simexp:
1181             if naechtebelzeit[i][2] in zeile:
1182                 telescopes.append([line, zeile, [naechtebelzeit[i][1]]]) #STK, [9s,10s...],[ordner1,ordner2
1183                 ,...]
1184                 passend=True
1185             if passend==False:
1186                 telescopes.append([line, [naechtebelzeit[i][2], [naechtebelzeit[i][1]]]) #STK, [1s],[ordner1,
1187                 ordner2,...]
1188
1189     orimagnits=magnits[:]
1190     orimagnitsfull=magnitsfull[:]
1191     orimagnitfile=numpy.array(magnitfile[:])
1192     orivergleichsstern=vergleichsstern[:]
1193     maxnummers=[]
1194     os.system('rm_-f_'+stern+'listeall_'+band+belzeiten[0]+'_insterg'+band+"2e-"+stern+".dat")
1195     for teles in telescopes:
1196         magnits=[]
1197         magnitfile=[]
1198         magnitsfull=[]
1199         vergleichsstern=orivergleichsstern[:]
```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

1190 print "INDEF-Sterne_und_-Bilder_aussortieren", teles[0], teles[1][0], ':', len(teles[2])
1191 for i in range(len(orimagnitfile)): #jede magnit-Datei ueberpruefen, ob im ordner
1192     for zeile in teles[2]: #jede Nacht ueberpruefen
1193         if orimagnitfile[i][1]==zeile: #Magnitdatei der Nacht
1194             magnits.append(orimagnits[i])
1195             magnitfile.append(orimagnitfile[i])
1196             magnitsfull.append(orimagnitsfull[i])
1197             break
1198 if len(magnits)==0:
1199     continue
1200 magnits=numpy.array(magnits) #nur Magnituden
1201 tempmagnits=magnits[:] #nur Magnituden
1202 magnitfile=numpy.array(magnitfile)
1203 tempmagnitfile=magnitfile[:]
1204 tempvergleichssterne=vergleichssterne[:] #Vergleichssterne
1205 origs=[len(vergleichssterne),len(magnitfile)]
1206 bearb=2
1207 #1: Die Bilder entfernen, die bei Vergleichssterne <3 INDEFs erzeugen
1208 #2: Auf 10 Vergleichssterne aussortieren
1209 #3: Bilder entfernen, die INDEF
1210 deletedstars=[] #try: 13.06.14
1211 deletedimas=[] #try: 13.06.14
1212 logfile=open('logfile','a')
1213 delima=[]
1214 print len(tempmagnits)
1215 while True: # or (bearb<3 and "2b" in Variante):
1216     #print len(tempvergleichssterne),len(tempmagnits)
1217     if bearb<=2:
1218         temp=[]
1219         for i in range(1,len(tempvergleichssterne)): #ohne Stern 1 -> wirklich nur Vergleichssterne
1220             temp.append([len(numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[:,i])>100)[0],i) #Wie viele INDEFs
1221                          pro Spalte, Spalte]
1222             temp.sort(reverse=True) #Meisten INDEFs am Anfang
1223             if temp[0][0]==0: #Alle Sterne niemals INDEF -> Yeah!!!
1224                 break
1225             #if raw_input('weiter'+str(bearb))=='99':
1226             # exit(0)
1227             if bearb==1: #Die Bilder entfernen, die Vergleichssterne 3 INDEFs erzeugen
1228                 delima=[]
1229                 temp.sort() #Wenigste INDEF am Anfang
1230                 dels=0
1231                 for i in range(len(temp)):
1232                     if temp[i][0]>max(3,len(magnitfile)/maxrejima): #Zu viele INDEFs -> Abbruch, maxrejima
1233                         =4000
1234                         if i>=minvergl or delima<<[]: #... Abbruch nur, wenn mind 2 Vergleichssterne nicht INDEF
1235                             oder eine Aenderung (sonst weiter aussortieren)
1236                             break
1237                             if temp[i][0]>0: #Mindestens einmal INDEF
1238                                 delima.append(temp[i][1]) #Index des Sterns, welcher max. 3x INDEF
1239                                 for j in range(i,len(temp)): #weiter schauen, ob naechste Zeile genau so viele INDEFs
1240                                     if temp[j][0]==temp[i-1][0]: #gleiche Menge INDEFs
1241                                         delima.append(temp[j][1])
1242                                     else:
1243                                         break
1244                                 for i in delima:
1245                                     temp=numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[:,i])>100)[0]
1246                                     dels+=len(temp) #delima enthaelt nur Stern, nicht Bilder
1247                                     for j in temp[:-1]:
1248                                         deletedimas.append([tempmagnitfile[j,0], 'Bearb1'])
1249                                         tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,j,0) #i-te Zeile löschen: nur Magnituden
1250                                         tempmagnitfile=numpy.delete(tempmagnitfile,j,0) #i-te Zeile löschen
1251                                     if delima==[]: #keine Aenderungen beim Aussortieren der Bilder mit max 3 INDEFs
1252                                         bearb+=1
1253                                         continue
1254                                     #break #fuer 2b, 2c, 2d -> funktioniert nicht wegen Bilder hinzufuegen
1255                                     else:
1256                                         logfile.write(str(dels)+"_Bilder_entfernt;_Uebrig:_"+str(len(tempvergleichssterne))+"_
1257                                         Sterne,_"+str(len(tempmagnits))+"_Bilder\n")
1258                                         print dels,"Bilder_entfernt,_Uebrig:_Sterne:",len(tempvergleichssterne),",_Bilder:",len(
1259                                         tempmagnits),"folgende_Sterne_(Indexes)_nur<=3x_INDEF:",delima
1260                                         if bearb==2: #Auf 10 Vergleichssterne aussortieren (nur wichtig bei 2a, bei 2b nur häufig
1261                                             INDEFs entfernen)
1262                                             delstar=[]
1263                                             temp.sort() #Wenigste INDEF am Anfang
1264                                             for i in range(minstars,len(temp)): #Alle Sterne mit gleichhaeufiger #INDEFs wie 10.
1265                                                 Vergleichssterne nicht aussortieren
1266                                                 if temp[i][0]<>temp[minstars-1][0]: #erster Verschiedener
1267                                                     delstar=range(i,len(temp)) #-> alle Sterne hiernach loeschen
1268                                                     break
1269                                                     if delstar<>[]:
1270                                                         temp=numpy.array(temp)
1271                                                         delindex=temp[numpy.array(delstar),1] #Indeze, welche entfernt werden sollen
1272                                                         delindex.sort()
1273                                                         for i in delindex[:-1]: #Spalten rueckwaerts loeschen
1274                                                             tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,i,1) #i-te Spalte löschen
1275                                                             tempvergleichssterne=numpy.delete(tempvergleichssterne,i,0) #i-te Spalte löschen
1276                                                             logfile.write(str(len(delima))+"_Sterne_entfernt;_Uebrig:_"+str(len(tempvergleichssterne))
1277                                                             +"_Sterne,_"+str(len(tempmagnits))+"_Bilder\n")
1278                                                             print len(delstar),"Sterne_entfernt,_Uebrig:_Sterne:",len(tempvergleichssterne),",_Bilder:
1279                                                             ",len(tempmagnits)
1280                                                         else: #kein Stern aussortiert -> Bilder aussortieren
1281                                                             bearb+=1
1282                                         if bearb==3: #Bilder entfernen, die INDEF (nur wichtig bei 2a, bei 2b nur häufig INDEFs
1283                                             entfernen)
1284                                             temp=[]
1285                                             for i in range(len(tempmagnits)):

```


ANHANG B. QUELLCODE

```

1276     temp.append([len(numpy.where(numpy.abs(tempmagnits[i,:])>100)[0]),i)] #Wie viele INDEFS
1277         pro Zeile, Zeile]
1278     temp.sort(reverse=True)
1279     print temp
1279     if temp[0][0]==0: #Alle Bilder niemals INDEF -> Yeah!!!
1280         break
1281     for i in range(1,len(temp)):
1282         if temp[i][0]<>temp[0][0]: #nicht mehr gleiche Haeufigkeit
1283             break
1284     delima=range(i) #Alle Bilder mit gleicher+hoechster Haeufigkeit INDEF loeschen, range(1)=[0]
1285     if len(magnitfile)-(len(tempmagnitfile)-len(delima))>len(magnitfile)*maximarej/100: #Zu
1286         viele Bilder auszusortieren -> Stern entfernen
1286         if minstars>minvergl:
1287             bearb=2
1288             minstars-=1
1289             print "Zu_viele_Magnitdateien_(",maximarej,"%)_muessten_entfernt_werden_->_entferne_
1290                 Sterne"
1291             continue
1291         else:
1292             print "Zu_wenig_Vergleichssterne_(",minvergl,")_->_zu_viele_Magnitdateien_muessten_
1293                 entfernt_werden"
1294     temp=numpy.array(temp)
1294     delindex=temp[numpy.array(delima),1] #Indeze, welche entfernt werden sollen
1295     delindex.sort()
1296     for i in delindex[::-1]: #Zeilen rueckwaerts loeschen
1297         deletedimas.append([tempmagnitfile[i,0],'Bearb3'])
1298         tempmagnits=numpy.delete(tempmagnits,i,0) #i-te Zeile löschen
1299         tempmagnitfile=numpy.delete(tempmagnitfile,i,0) #i-te Zeile löschen
1300     if delima<>[]:
1301         logfile.write(str(len(delima))+"_Bilder_entfernt;_Uebrig:_"+str(len(tempvergleichssterne))
1302             +"_Sterne,_" +str(len(tempmagnits))+"_Bilder\n")
1303     print len(delima),"Bilder_entfernt,_"Uebrig:_"Sterne:",len(tempvergleichssterne),"_Bilder:"
1304         ,len(tempmagnits)
1305     for i in range(maxstars,len(tempvergleichssterne)-1): #Vergleichssterne entfernen die zu viel
1306         tempvergleichssterne=numpy.delete(tempvergleichssterne,maxstars+1,0)
1307     for line in deletedimas:
1308         print line
1309         logfile.close()
1310     indexes=[]
1310     for i in range(len(tempvergleichssterne)): #Indexes der uebriggebliebenen Vergleichssterne in
1311         gesamtter List
1312         indexes.append(numpy.where(vergleichssterne==tempvergleichssterne[i])[0][0]) #bei 2a-d ohne
1313             2. null, keine Ahnung warum
1314     indexes=numpy.array(indexes)
1315     magnit=[]
1316     for i in range(len(magnits)): #Hinzufuegen aussortierter Magnitdateien (falls maxstars<len(
1317         tempvergleichssterne))
1318         temp=magnits[i,indexes] #magnits der uebriggebliebenen Vergleichssterne
1319         if len(numpy.where(numpy.abs(temp)>100)[0])==0: #Keine INDEFS
1320             magnit.append(i) #Liste aller guten Magnitdateien
1321     print "Bilder_hinzugefuegt,_"Sterne:",len(indexes),"_Bilder:",len(magnit)
1322     magnits=[]
1323     instmagnit=[]
1324     print "Schreibe_magnit-Dateien"
1325     for i in range(len(magnitsfull)):
1326         if i in magnit:
1327             magnits.append(magnitfile[i,0])
1328             file=open(magordner+'/'+magnitfile[i,0], 'w') #['600_Data_STK-Data_09_07_16_trump37-075
1329                 R_10s_magnit']
1330             for j in range(len(indexes)): #jede Zeile
1331                 line=magnitsfull[i][indexes[j]] #Aendern der Nummerierung in magnits
1332                 file.write(str(j+1)+line[line.find('_'):])
1333                 if j==0:
1334                     line=line.split()
1335                     instmagnit.append(line[3]+'\\t'+line[1]+'\\t'+line[2]+'\\t'+line[0]+'\\n')
1336             file.close()
1337     vergleichssterne=vergleichssterne[indexes]
1338     print teles[0],":_Vergleichssterne:",len(vergleichssterne),"von",origs[0],"_Bilder:",len(magnits
1339         ),"von",origs[1]
1340     logfile=open('logfile','a')
1341     logfile.write(teles[0]+":_Von_%6.1i"%origs[0]+"_Vergleichssterne_sind_uebrig_geblieben_(selten_
1342         INDEF):_" +str(len(vergleichssterne))+'\n')
1343     logfile.write(teles[0]+":_Von_%6.1i"%origs[1]+"_Magnitdateien_sind_uebrig_geblieben_(selten_
1344         INDEF):_" +str(len(magnits))+'\n')
1345     logfile.close()
1346     maxnummers.append(len(vergleichssterne)) #Benoetigt fuer routinen_reduktion
1347     file=open(stern+'listeall_'+band+belzeiten[0], 'a') #Benoetigt fuer routinen_reduktion
1348     for line in magnits:
1349         file.write(line.replace('_magnit','_fits')+'\n') #Magnitdatei schreiben
1350     file.close()
1351     file=open("insterg"+band+"2e-"+stern+".dat", 'a') #Instrumentelle Helligkeiten schreiben
1352     for line in instmagnit:
1353         file.write(line)
1354     file.close()
1355     os.system('rm_/tmp/all_light_fuer_ein_stern_blocked')
1356     del magnitsfull
1357     del magnit
1358     tempmagnits=[] #nur loeschen, del gibt RAM nicht frei
1359     orimagnits=[]
1360     file=open("status.log", 'a')
1361     file.write("Vorbereitung-Var2e_" +stern+band+belzeiten[0]+ "\nmaxnummer"+band+belzeiten[0]+ "=" +str(
1362         max(maxnummers))+ "\n")
1363     file.close()
1364     if "2a" in variante:
1365         file=open("status.log", 'r')
1366         for line in file:

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

1359     status.append(line)
1360 file.close()
1361 if "Chrisphot-Photometrie"+magordner+"-Var2a_"+stern+band+belzeiten[0]+\n" not in status:
1362     os.system('cp_'+stern+'listeall_'+band+belzeiten[0]+'_liste_'+band+belzeiten[0]) #liste aller
1363     # sinnvollen magnitudateien kopieren
1364     if os.path.isfile(magordner)==True:
1365         result=os.system('tar_-xjf_'+magordner+'.tbz')
1366         if result==0:
1367             os.system('rm_-f_'+magordner+'.tbz')
1368     if "Chrisphotsettings"+magordner+"-Var2a_"+stern+band+belzeiten[0]+\n" not in status:
1369         file=open("status.log",'r')
1370         for line in file:
1371             if line.find('maxnummer'+band+belzeiten[0])==0:
1372                 line=line[:-1].split('=')
1373                 maxnummer=int(line[1])
1374         file.close()
1375         #for j in range(6,0,-1):
1376         # cps_maxsterne=maxnummer/j
1377         # if cps_maxsterne>20:
1378         #     break
1379         print "Stern:_" ,stern
1380         routinen_reduktion.chrisphotsettings("STK",band,belzeiten[0], pfad_photometry, photschritt,
1381         maxnummer, [], magordner+'/', maxnummer, cps_maximages, cps_multirange, cps_nonin strange,
1382         cps_finesteps)
1383     file=open("status.log",'a')
1384     file.write("Chrisphotsettings"+magordner+"-Var2a_"+stern+band+belzeiten[0]+\n")
1385     file.close()
1386
1387 noninstrumental=''
1388 multiplikator=''
1389 file=open("status.log",'r')
1390 for line in file:
1391     if line.find('chris-noninstrumental'+magordner+band+belzeiten[0])==0:
1392         temp=line[:-1].split('=')
1393         noninstrumental=temp[1]
1394     if line.find('chris-multiply'+magordner+band+belzeiten[0])==0:
1395         temp=line[:-1].split('=')
1396         multiplikator=float(temp[1])
1397     if line.find('maxnummer'+band+belzeiten[0])==0:
1398         line=line[:-1].split('=')
1399         maxnummer=int(line[1])
1400     file.close()
1401     if noninstrumental==' or multiplikator=='':
1402         print "kein_Ergebnis_bei_Chrisphotsettings_"+band+belzeiten[0]
1403     else:
1404         file=open(band+"settings.dat",'w') #Schreiben der Settingsdatei
1405         file.write("1.....object_line\n2.....first_cs_line\n"+str(noninstrumental)+
1406         ".....noninstrumental_error\n"+str(multiplikator)+".....Value_to_multiply_all
1407         .....errors\n0.....Offset_for_Julian_Dates\ntrue.....use_all_CS?\n2999.....
1408         number_of_CS_to_use\n2.....list_of_cs_to_use_in_original_positions\n")
1409         file.close()
1410         print "Stern:_" ,stern
1411         routinen_reduktion.chrisphot("STK", band, belzeiten[0], pfad, pfad_photometry, pfad_idl,
1412         pfad_plotstars, photschritt, maxnummer, [], magordner+'/', jds, cp_nrstarrej,
1413         cp_maximarej)
1414     os.system('mv_'+band+belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps_"+stern+"-2a-
1415     "+band+belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps")
1416     os.system('mv_'+band+belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps_"+stern+"-2a-"+band+
1417     belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps")
1418     for zeile in os.popen("ls_-l_"+belzeiten[0]+"dphot"+band+"*").readlines():
1419         os.system("mv_"+zeile[:-1]+ "_" +stern+"-2a-"+zeile[:-1])
1420     file=open("status.log",'a')
1421     file.write("Chrisphot-Photometrie"+magordner+"-Var2a_"+stern+band+belzeiten[0]+\n")
1422     file.close()
1423
1424     os.system('gzip_-f_*_ps_&')
1425     #cp '+stern+'-'+belzeiten[0]+' dphoto_source'+band+str(maxnummer-1)+' '+stern+'-2a-'+belzeiten[0]+'
1426     dphoto_source'+band+str(maxnummer-1)+' @')
1427
1428 if "2b" in variante:
1429     os.system('mkdir_-p_'+stern+'-2b')
1430     status=[]
1431     file=open("status.log",'r')
1432     for line in file: #unsinnige Zeilen weglassen
1433         if line not in ['Chrisphotsettings'+magordner+band+belzeiten[0]+\n',"Chris-Photometrie"+
1434         magordner+band+belzeiten[0]+\n", 'chris-noninstrumental'+magordner+band+belzeiten[0]+\n",
1435         'chris-multiply'+magordner+band+belzeiten[0]+\n"]:
1436             status.append(line)
1437         if line.find('maxnummer'+band+belzeiten[0])==0:
1438             line=line[:-1].split('=')
1439             maxnummer=int(line[1])
1440         file.close()
1441         file=open("status.log",'w')
1442     for line in status:
1443         file.write(line)
1444     file.close()
1445     magnits=[]
1446     file=open(stern+'listeall_'+band+belzeiten[0],'r') #liste einlesen
1447     for line in file:
1448         magnits.append(line[:-1])
1449     file.close()
1450     dphots=[]
1451     for i in range(len(naechtebelzeit)):
1452         if "2b"+naechtebelzeit[i][1]+'_'+band+belzeiten[0]+'_'+naechtebelzeit[i][2]+\n" not in status:
1453             #nur wenn noch nicht prozessiert
1454             if os.path.isfile(magordner)==True:
1455                 result=os.system('tar_-xjf_'+magordner+'.tbz')

```


B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```
1517 for line in file:
1518     zeile=line
1519     line=line.split() #Trennen der Spalten
1520     for j in range(len(line)):
1521         line[j]=float(line[j]) #alles zu float machen
1522     neudaten.append(line)
1523 file.close()
1524 try:
1525     neudatsource=open(stern+"-2b/"+dphot.replace("dphot"+band+str(maxnummer-1), "dphot"+band+
1526         source"+str(maxnummer-1)), 'r').readlines()
1527 except:
1528     print "keine_dphot"+band+source_Datei"
1529     neudatsource=[]
1530 stats=[]
1531 neustats=[]
1532 for star in range(4,maxnummer-1+4): #maxnummer-1=Anzahl vergleichssterne, erst bei Spalte 4
1533     #starten
1534     for k in [1,2]: #selbe Rechnung fuer neudaten und daten
1535         temp=[]
1536         if k==1:
1537             for line in neudaten:
1538                 if abs(line[star])<100:
1539                     temp.append(line[star]) #Helligkeiten eines Sterns sammeln
1540             else:
1541                 for line in daten:
1542                     if abs(line[star])<100:
1543                         temp.append(line[star])
1544             if len(temp)>=3: #Rechnungen ausfuehren
1545                 mittel=sum(j for j in temp)/len(temp)
1546                 temp.sort()
1547                 median=temp[len(temp)/2]
1548                 stabw=math.sqrt(sum((j-mittel)**2 for j in temp)/(len(temp)-1))
1549             else:
1550                 mittel=0
1551                 median=0
1552                 stabw=1000000
1553             if k==1:
1554                 neustats.append([mittel,median,stabw]) #Statistik sammeln
1555             else:
1556                 stats.append([mittel,median,stabw]) #Statistik sammeln
1557             #print mittel,median,stabw
1558 if len(daten)==0: #Beim ersten Mal beide Statistiken gleich
1559     stats=neustats[:]
1560     wichtung=[]
1561     for j in range(maxnummer-1):
1562         wichtung.append(1/(stats[j][2]+neustats[j][2])**2) #wichtungen berechnen
1563     #print wichtung
1564     gewmittel=sum((stats[j][1]-neustats[j][1])*wichtung[j] for j in range(maxnummer-1))/sum(j for j
1565         in wichtung) #gewichteter Mittelwert
1566     gewrerror=math.sqrt(sum(((stats[j][1]-neustats[j][1]-gewmittel)**2*wichtung[j] for j in range(
1567         maxnummer-1))/sum(j for j in wichtung)/(maxnummer-2))) #Standardabweichung mit gewichten
1568     print "Nacht: ", dphot, "\tOffset: ", "%3.3f"%gewmittel, "\tError: ", "%3.3f"%gewrerror
1569     logfile=open('logfile', 'a')
1570     logfile.write("Nacht: "+dphot+"\tOffset: "+str(gewmittel)+"\tError: "+str(gewrerror)+"\n")
1571     logfile.close()
1572     for line in neudaten:
1573         temp=[]
1574         temp.append(line[0]) #JD
1575         temp.append(line[1]) #Bildnummer
1576         temp.append(line[2]+gewmittel) #Stern 1, interessanter Stern
1577         temp.append(line[3]) #Fehler Stern 1
1578         for star in range(4,maxnummer-1+4): #maxnummer-1=Anzahl vergleichssterne, erst bei Spalte 4
1579             #starten
1580             temp.append(line[star]+gewmittel)
1581         for star in range(maxnummer-1+4,len(line)): #Fehler
1582             temp.append(line[star])
1583         daten.append(temp)
1584     if len(neudatsource)==len(neudaten):
1585         for line in neudatsource:
1586             datsource.append(line)
1587         else:
1588             for line in neudaten:
1589                 datsource.append(dphot.replace("-"+belzeiten[0]+"dphot"+band+str(maxnummer-1), "")+"\n")
1590             if neudatsource<<[]:
1591                 print "nicht_die_Richtige_Zeilenzahl_in_dphot+Band+source:", len(neudatsource), len(neudaten)
1592     print "Speichere", len(daten), "Zeilen"
1593     file=open("dphot"+band+str(maxnummer-1), 'w')
1594     for line in daten:
1595         temp="%2.5f"%line[0]+" "+str(line[1]) #JD und Bildnummer
1596         del line[1]
1597         del line[0]
1598         for j in line:
1599             temp=temp+" "+str("%2.3f"%j)
1600         temp=temp+"\n"
1601         file.write(temp)
1602     file.close()
1603     file=open("dphot"+band+source"+str(maxnummer-1), 'w')
1604     for line in datsource:
1605         file.write(line)
1606     file.close()
1607     pexpect.run('nice -n 2 '+pfad_idl, events={'REN>': ". r "+pfad_plotstars+"\nplot_stars_g, '"+pfad+"
1608         '+band+', "+str(maxnummer)+" \nextitle='JD-"+str(jdsub)+"', \cytitle='normalisierte relative
1609         Magnitude', \JDsub="+str(jdsub)+" \nextitle='IDL>'. r "+pfad_plotstars+"\nplot_stars_g, '"+pfad+"
1610         '+band+', "+str(maxnummer)+" \nextitle='JD-"+str(jdsub)+"', \cytitle='normalisierte relative
1611         Magnitude', \JDsub="+str(jdsub)+" \nextitle='n'")
1612     os.system("mv "+str(maxnummer-1)+" Lightcurves_further_stars_g.ps "+stern+"-2b-"+band+belzeiten[0]+
1613         str(maxnummer-1)+" Lightcurves_further_stars_g.ps")
```

ANHANG B. QUELLCODE

```
1604 os.system("mv"+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps"+stern+"-2b-"+band+belzeiten[0]+str(
1605     maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps")
1606 for zeile in os.popen("ls"+l_dphot"+band"+"*").readlines():
1607 os.system("mv"+zeile[-1]+l_dphot+stern+"-2b-"+band+belzeiten[0]+zeile[-1])
1608 os.system('nice-n10-gzip-f-ps&')#cp '+stern+'-'+belzeiten[0]+' dphotsource'+band+str(
1609     maxnummer-1)+' '+stern+'-2b-'+belzeiten[0]+' dphotsource'+band+str(maxnummer-1)+' &')
1610
1611 if "2c" in variante or "2d" in variante or "2e" in variante:
1612     if "2c" in variante:
1613         variant="2c"
1614     elif "2d" in variante:
1615         variant="2d"
1616     else:
1617         variant="2e"
1618 os.system('mkdir-p'+stern+'-'+variant)
1619 status=[]
1620 file=open("status.log",'r')
1621 for line in file: #unsinnige Zeilen weglassen
1622     if line not in ['Chrisphotsettings'+magordner+band+belzeiten[0]+\n","Chris-Photometrie"+
1623         magordner+band+belzeiten[0]+\n","chris-noninstrumental'+magordner+band+belzeiten[0]+\n",
1624         'chris-multiply'+magordner+band+belzeiten[0]+\n"]:
1625         status.append(line)
1626     if line.find('maxnummer'+band+belzeiten[0])==0:
1627         line=line[:-1].split('=')
1628         maxnummer=int(line[1])
1629 file.close()
1630 file=open("status.log",'w')
1631 for line in status:
1632     file.write(line)
1633 file.close()
1634 magnits=[]
1635 file=open(stern+'listeall_'+band+belzeiten[0],'r') #liste einlesen
1636 for line in file:
1637     magnits.append(line[:-1])
1638 file.close()
1639 dphotos=[]
1640 telescopes=[]
1641 for i in range(len(naechtebelzeit)):
1642     line=naechtebelzeit[i][1] #umbenannte Nacht
1643     for zeile in ersetzungen: #jeder Ersetzung ueberpruefen
1644         passend=True
1645         suchstart=-1
1646         for j in range(len(zeile)-1):
1647             suchstart=line[suchstart+1:].find(zeile[j]) #Mehrfache Suchstrings in Reihenfolge suchen
1648             if suchstart==-1: #nicht vorhanden
1649                 passend=False
1650                 break
1651             suchstart+=len(zeile[j])
1652         if passend==True:
1653             if zeile[j+1]==' ':
1654                 print "Eintrag_wird_geleert:",line
1655                 line=zeile[j+1]
1656                 break
1657         if passend==False:
1658             print "Eintrag_nicht_ersetzt",line
1659
1660 vorhanden=False
1661 for j in range(len(telescopes)):
1662     if line==telescopes[j][0] and naechtebelzeit[i][2] in telescopes[j][1]:
1663         telescopes[j][2].append(naechtebelzeit[i][1])
1664         vorhanden=True
1665         break
1666 if vorhanden==False:
1667     passend=False
1668     for zeile in simexp:
1669         if naechtebelzeit[i][2] in zeile:
1670             telescopes.append([line,zeile,[naechtebelzeit[i][1]]]) #STK, [9s,10s...],[magnit1,magnit2
1671             ,... ]
1672             passend=True
1673             if passend==False:
1674                 telescopes.append([line,[naechtebelzeit[i][2]],[naechtebelzeit[i][1]]]) #STK, [1s],[magnit1,
1675                 magnit2,... ]
1676 logfile=open('logfile','a')
1677 print "Teleskop_Belzeit:\tNaechte/Pointings"
1678 logfile.write("Teleskop\tBelzeit\tNaechte/Pointings\n")
1679 for line in telescopes:
1680     print line[0],line[1][0],':',len(line[2])
1681     logfile.write(line[0]+'\\t'+line[1][0]+'\\t:'+str(len(line[2]))+'\\n')
1682 logfile.close()
1683
1684 for i in range(len(telescopes)):
1685     if variant+telescopes[i][0]+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+\n not in status: #
1686         nur wenn noch nicht prozessiert
1687         if os.path.isfile(magordner)==True:
1688             result=os.system('tar-xjf'+magordner+'.tbz')
1689             if result==0:
1690                 os.system('rm-f'+magordner+'.tbz')
1691             magnitfiles=[]
1692             for line in magnits:
1693                 for j in range(len(telescopes[i][2])): #jedes Teleskop
1694                     if line.find('_'+telescopes[i][2][j])>-1:
1695                         for k in range(len(telescopes[i][1])): #jede passende Belzeit
1696                             if line.find('_'+telescopes[i][1][k]+'_fits')>-1:
1697                                 magnitfiles.append(line)
1698                                 break
1699             if len(magnitfiles)<3:
```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

1694     print "zu_wenig_Datenpunkte:", len(magnitfiles), ' fuer: ', telescopes[i][0], telescopes[i][1][0]
1695     logfile=open('logfile', 'a')
1696     logfile.write('\n'+variant+telescopes[i][0]+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+"
1697         \tzu_wenig_Datenpunkte\n")
1698     logfile.close()
1699     continue
1700     maxnummers=[]
1701     file=open('liste_'+band+belzeiten[0], 'w') #liste schreiben
1702     for line in magnitfiles:
1703         file.write(line+'\n')
1704         if variant=='2e':
1705             data=open(magordner+'/' +line.replace('.fits', '_magnit'), 'r').readlines()
1706             maxnummers.append(len(data))
1707         file.close()
1708         print "\t...", stern, telescopes[i][0], telescopes[i][1][0], band, "... "
1709         #for j in range(6,0,-1):
1710         # cps_maxsterne=maxnummer/j
1711         # if cps_maxsterne > 20:
1712         #     break
1713         if variant=='2e': #maxnummer bestimmen
1714             if numpy.std(maxnummers, ddof=1)==0:
1715                 maxnummer=maxnummers[0]
1716             else:
1717                 print "Unterschiedliche Magnit-Dateilaengen: ", min(maxnummers), max(maxnummers)
1718                 continue
1719     routinen_reduktion.chrisphotsettings("STK", band, belzeiten[0], pfad_photometry, photschritt,
1720         maxnummer, [], magordner+'/', maxnummer, cps_maximages, cps_multirange, cps_noninrange,
1721         cps_finesteps)
1722     noninstrumental=''
1723     multiplikator=''
1724     status=[]
1725     file=open("status.log", 'r')
1726     for line in file:
1727         if line.find('chris-noninstrumental'+magordner+band+belzeiten[0])==0:
1728             temp=line[:-1].split('=')
1729             noninstrumental=temp[1]
1730         if line.find('chris-multiply'+magordner+band+belzeiten[0])==0:
1731             temp=line[:-1].split('=')
1732             multiplikator=temp[1]
1733         if line.find('chris-noninstrumental'+magordner+band+belzeiten[0])==-1 and line.find('chris-
1734             multiply'+magordner+band+belzeiten[0])==-1 and line.find('Chrisphotsettings'+magordner+
1735             band+belzeiten[0])==-1 and line.find('ChrisphotPhotometrie'+magordner+band+belzeiten
1736             [0])==-1:
1737             status.append(line)
1738     file.close()
1739     if noninstrumental==' ' or multiplikator==' ':
1740         print "\n!!!! kein_Ergebnis_bei_Chrisphotsettings_"+band+belzeiten[0]
1741     else:
1742         file=open(band+"settings.dat", 'w') #Schreiben der Settingsdatei
1743         file.write("1.....object_line\n2.....first_ces_line\n"+noninstrumental+".....
1744             non_instrumental_error\n"+multiplikator+".....Value_to_multiply_all_
1745             errors\n0.....Offset_for_Julian_Dates\ntrue.....use_all_CS?\n2999.....
1746             number_of_CS_to_use\n2.....list_of_ces_to_use_in_original_positions\n")
1747         file.close()
1748         routinen_reduktion.chrisphot("STK", band, belzeiten[0], pfad, pfad_photometry, pfad_idl,
1749             pfad_plotstars, photschritt, maxnummer, [], magordner+'/', jds, cp_nrstarrej,
1750             cp_maximarej)
1751     logfile=open('logfile', 'a')
1752     logfile.write('\n'+variant+telescopes[i][0]+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+" \t"
1753         + noninstrumental+ "\t"+multiplikator+"\n")
1754     logfile.close()
1755     os.system("mv_"+band+belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps_"+stern+"-
1756         "+variant+"/"+telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+
1757         belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps")
1758     os.system("mv_"+band+belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps_"+stern+"-"+variant
1759         +"/"+telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+
1760         str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps")
1761     vorhand=False
1762     for zeile in os.popen("ls "+band+belzeiten[0]+"dphot"+band+"*").readlines():
1763         os.system("mv_"+zeile[:-1]+"_"+stern+"-"+variant+"/"+telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'
1764             +telescopes[i][1][0]+'_'+band+zeile[:-1])
1765         if zeile[:-1]==belzeiten[0]+"dphot"+band+str(maxnummer-1):
1766             vorhand=True
1767     os.system("bzip2 -f "+stern+"-"+variant+"/"+telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i]
1768         [1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+"dphot"+band+"full*.*&")
1769     file=open("status.log", 'w')
1770     for line in status:
1771         file.write(line)
1772     if vorhand==True:
1773         file.write(variant+telescopes[i][0]+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+" \n")
1774         dphots.append(telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+
1775             "dphot"+band+str(maxnummer-1))
1776     else:
1777         print "\n!!!!!!!!!!!!!! Problem, ", belzeiten[0]+'_'+telescopes[i][1][0]+' "dphot"+band+str(
1778             maxnummer-1), ", nicht_erzeugt\n"
1779         logfile=open('logfile', 'a')
1780         logfile.write('Problem, '+belzeiten[0]+'_'+telescopes[i][1][0]+' "dphot"+band+str(maxnummer-1)
1781             '+ '\n nicht_erzeugt\n')
1782         logfile.close()
1783     file.close()
1784     else:
1785         print "\t", telescopes[i][0], telescopes[i][1][0], "\n bereits_erledigt"
1786         dphots.append(telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i][1][0]+'_'+band+belzeiten[0]+
1787             "dphot"+band+str(maxnummer-1))
1788     os.system("gzip -f "+stern+"-"+variant+"/*.ps*")
1789     daten=[]
1790     datsource=[]

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

1769 if "2c" in variante or "2d" in variante:
1770     for dphot in dphotos:
1771         neudaten=[]
1772         file=open(stern+"-"+variant+"/"+dphot,'r')      #Einlesen dphot
1773         for line in file:
1774             zeile=line
1775             line=line.split()      #Trennen der Spalten
1776             for j in range(len(line)):
1777                 line[j]=float(line[j])      #alles zu float machen
1778             neudaten.append(line)
1779         file.close()
1780     try:
1781         neudatsource=open(stern+"-"+variant+"/"+dphot.replace("dphot"+band+str(maxnummer-1), "dphot"+
            band+"source"+str(maxnummer-1)), 'r').readlines()
1782     except:
1783         print "keine_dphot"+band+source_Datei:",stern+"-"+variant+"/"+ dphot.replace("dphot"+band+str(
            maxnummer-1), "dphot"+band+"source"+str(maxnummer-1))
1784         neudatsource=[]
1785     stats=[]
1786     neustats=[]
1787     #print dphot,len(neudaten),len(daten)
1788     for star in range(4,maxnummer-1+4): #maxnummer-1=Anzahl vergleichssterne, erst bei Spalte 4
        starten
1789         for k in [1,2]: #selbe Rechnung fuer neudaten und daten
1790             temp=[]
1791             #print star,k
1792             if k==1:
1793                 for line in neudaten:
1794                     #print len(line),line
1795                     if abs(line[star])<100:
1796                         temp.append(line[star]) #Helligkeiten eines Sterns sammeln
1797             else:
1798                 for line in daten:
1799                     if abs(line[star])<100:
1800                         temp.append(line[star])
1801             if len(temp)>=3: #Rechnungen ausfuehren
1802                 mittel=numpy.mean(temp) #sum(j for j in temp)/len(temp)
1803                 #temp.sort()
1804                 median=numpy.median(temp) #temp[len(temp)/2]
1805                 stabw=numpy.std(temp,ddof=1) #math.sqrt(sum((j-mittel)**2 for j in temp)/(len(temp)-1))
1806             else:
1807                 mittel=0
1808                 median=0
1809                 stabw=1000000
1810             if k==1:
1811                 neustats.append([mittel,median,stabw]) #Statistik sammeln
1812             else:
1813                 stats.append([mittel,median,stabw]) #Statistik sammeln
1814             #print mittel,median,stabw
1815         if len(daten)==0: #Beim ersten Mal beide Statistiken gleich
1816             stats=neustats[: ]
1817         wichtung=[]
1818         for j in range(maxnummer-1):
1819             wichtung.append(1/(stats[j][2]+neustats[j][2])**2) #wichtungen berechnen
1820         #print wichtung
1821         gewmittel=sum((stats[j][1]-neustats[j][1])*wichtung[j] for j in range(maxnummer-1))/sum(j for j
            in wichtung) #gewichteter Mittelwert
1822         gewerror=math.sqrt(sum((stats[j][1]-neustats[j][1]-gewmittel)**2*wichtung[j] for j in range(
            maxnummer-1))/sum(j for j in wichtung)/(maxnummer-2)) #Standardabweichung mit gewichten
1823         print 'Nacht:_', dphot,'\tOffset:_%3.3f'%gewmittel,'\tError:_%3.3f'%gewerror #,stats,neustats
1824         logfile=open('logfile','a')
1825         logfile.write('Nacht:_'+dphot+'\tOffset:_%3.3f'%gewmittel+'\tError:_%3.3f'%gewerror+'\n')
1826         logfile.close()
1827         for line in neudaten:
1828             temp=[]
1829             temp.append(line[0]) #JD
1830             temp.append(line[1]) #Bildnummer
1831             temp.append(line[2]+gewmittel) #Stern 1, interessanter Stern
1832             temp.append(line[3]) #Fehler Stern 1
1833             for star in range(4,maxnummer-1+4): #maznummer-1=Anzahl vergleichssterne, erst bei Spalte 4
                starten
1834                 temp.append(line[star]+gewmittel)
1835             for star in range(maxnummer-1+4,len(line)): #Fehler
1836                 temp.append(line[star])
1837             daten.append(temp)
1838         if len(neudatsource)==len(neudaten):
1839             for line in neudatsource:
1840                 datsource.append(line)
1841         else:
1842             for line in neudaten:
1843                 datsource.append(dphot.replace("-"+belzeiten[0]+"dphot"+band+ str(maxnummer-1), "")+'\n')
1844             #datsource.append('???\n')
1845             if neudatsource<>[]:
1846                 print "nicht_die_Richtige_Zeilenzahl_in_dphot+Band+source:",stern+"-"+variant+"/"+dphot.
                    replace("dphot"+band+str(maxnummer-1), "dphot"+band+"source"+str(maxnummer-1)),len(
                    neudatsource),len(neudaten)
1847     print "Speichere", len(daten), 'Zeilen'
1848     file=open("dphot"+band+str(maxnummer-1),'w')
1849     for line in daten:
1850         temp='%2.5f'%line[0]+' '+str(line[1]) #JD und Bildnummer
1851         del line[1]
1852         del line[0]
1853         for j in line:
1854             temp=temp+' '+str(j)
1855         temp=temp+'\n'
1856         file.write(temp)
1857     file.close()

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

1858 file=open("dphot"+band+"source"+str(maxnummer-1),'w')
1859 for line in datsource:
1860     file.write(line)
1861 file.close()
1862 pexpect.run('nice -n 2 '+pfad_idl, events={'REN>':". r"+pfad_plotstars+"\nplot_stars_g,'" +pfad+"
    '+band+' '+str(maxnummer)+" \", xtitle='JD-'+str(jdsub)+'", ytitle='normalisierte relative
    Magnitude', JDsub="+str(jdsub)+"\nexit\n", 'IDL>':". r"+pfad_plotstars+"\nplot_stars_g,'" +pfad+"
    '+band+' '+str(maxnummer)+" \", xtitle='JD-'+str(jdsub)+'", ytitle='normalisierte relative
    Magnitude', JDsub="+str(jdsub)+"\nexit\n"})
1863 os.system("mv "+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps"+stern+"-"+variant+"-"+band+
    belzeiten[0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps")
1864 os.system("mv "+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps"+stern+"-"+variant+"-"+band+belzeiten
    [0]+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps")
1865 for zeile in os.popen("ls -l dphot"+band+"*").readlines():
1866     os.system("mv "+zeile[:-1]+" "+stern+"-"+variant+"-"+belzeiten[0]+zeile[:-1])
1867 os.system('nice -n 10 gzip -f *.ps &')
1868 #cp '+stern+'-'+belzeiten[0]+' dphotsource'+band+str(maxnummer-1)+' '+stern+'-'+variant+'-'+
    belzeiten[0]+' dphotsource'+band+str(maxnummer-1)+' @'
1869 elif "2e" in variante:
1870     #print dphots, len(dphots), dphots[0], 1861
1871     orimaxnummer=maxnummer
1872     dphotonotexist=[]
1873     for dphot in dphots:
1874         maxnummer=orimaxnummer
1875         neudaten=[]
1876         if os.path.isfile(stern+"-"+variant+"/"+dphot)==False: #Weniger als orimaxnummer Sterne in
            dphot-Datei
1877             temp=dphot.rsplit(band,1) #maxnummer abtrennen
1878             maxnummer=0
1879             for i in range(2,orimaxnummer)[::-1]: #fuer verschiedene maxnummern testen
1880                 dphot=temp[0]+band+str(i-1)
1881                 if os.path.isfile(stern+"-"+variant+"/"+dphot)==True:
1882                     maxnummer=i
1883                     break
1884             if maxnummer==0: #sollte eigentlich nie passieren
1885                 print "keine Datei gefunden:", stern+"-"+variant+"/"+temp[0]+band+"*"
1886                 dphotonotexist.append(dphot)
1887             continue
1888             file=open(stern+"-"+variant+"/"+dphot, 'r') #Einlesen dphot
1889             for line in file:
1890                 zeile=line
1891                 line=line.split() #Trennen der Spalten
1892                 for j in [0,2,3]:
1893                     line[j]=float(line[j]) #alles zu float machen
1894                 neudaten.append([line[0], line[2], line[3]])
1895             file.close()
1896             try:
1897                 neudatsource=open(stern+"-"+variant+"/"+dphot.replace("dphot"+band, "dphot"+band+"source"), 'r'
                    ).readlines() #dphotsource oeffnen, ohne maxnummer, da diese nicht immer gleich ist
1898             except:
1899                 print "keine dphot"+band+"source Datei:", stern+"-"+variant+"/"+dphot.replace("dphot"+band+str(
                    maxnummer-1), "dphot"+band+"source"+str(maxnummer-1))
1900                 neudatsource=[]
1901             if len(neudatsource)==len(neudaten):
1902                 for i in range(len(neudaten)):
1903                     neudaten[i].append(neudatsource[i])
1904             else:
1905                 for i in range(len(neudaten)):
1906                     neudaten[i].append(dphot.replace("-"+belzeiten[0]+dphot+band+str(maxnummer-1), "")+'\n')
1907                 if neudatsource<>[]:
1908                     print "nicht die Richtige Zeilenzahl in dphot+Band+source:", stern+"-"+variant+"/"+dphot.
                        replace("dphot"+band+str(maxnummer-1), "dphot"+band+"source"+str(maxnummer-1)), len(
                            neudatsource), len(neudaten)
1909                 neudatsource.sort()
1910                 daten.append(neudaten) #!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
1911                 datsource.append(neudatsource)
1912             for i in range(len(telescopes))[:-1]:
1913                 teles=telescopes[i][0].replace('_', '-')+'_'+telescopes[i][1][0] #Teleskop+erste Belichtungszeit
                    == Name in dphot-Datei
1914                 for line in dphotonotexist: #existiert dphot-Datei?
1915                     if line.find(teles)<>-1:
1916                         print "Daten für Teleskop nicht auf Festplatte vorhanden:", teles
1917                         del telescopes[i]
1918                         teles='continue'
1919                     break
1920                 if teles=='continue': #nur eine Zeile loeschen
1921                     continue
1922                 exist=False
1923                 for line in dphots: #ist Teleskop ueberhaupt in dphots?
1924                     if line.find(teles)<>-1:
1925                         exist=True
1926                     break
1927                 if exist==False:
1928                     print "Daten für Teleskop nicht vorhanden:", teles
1929                     del telescopes[i]
1930             #for i in range(len(daten)):
1931             # print daten[i][0], telescopes[i][0], telescopes[i][1], telescopes[i][2][0]
1932             #print daten[0][0], len(daten), len(daten[0]), 1904
1933             #print len(telescopes), telescopes
1934             #telescopes[i][0] #Name des Teleskops nach ausfuehren von ersetzungen
1935             sgewm=[]
1936             for u in range(len(daten)): #jeden Index
1937                 temp=[]
1938                 for v in range(len(daten)):
1939                     temp.append(100.)
1940                 sgewm.append(temp)
1941             sgewm=numpy.array(sgewm) #gewmittel

```


ANHANG B. QUELLCODE

```

1942 sstabw=numpy.copy(sgewm)      #stabw
1943 snrdat=numpy.copy(sgewm)     #Anzahl an Datenpunkten
1944 vorhand=''
1945 for m in range(len(daten)-1): #jeden Datensatz ...
1946     datm=daten[m]
1947     for n in range(m+1,len(daten)): #... mit jedem Datensatz vergleichen
1948         offsetmn=[]
1949         datn=daten[n]
1950         startj=0
1951         for i in range(len(datm)): #jede Zeile ...
1952             conti=False
1953             for j in range(startj,len(datn)): #... mit jeder Zeile
1954                 if datm[i][0]-datn[j][0]<-1*maxsepa: #bei n zu grosse JD
1955                     conti=True
1956                     break
1957                 if datm[i][0]-datn[j][0]>maxsepa: #bei m zu grosse JD
1958                     startj=j
1959                     continue
1960                 offsetmn.append([datm[i][1]-datn[j][1], abs(datm[i][0]-datn[j][0]), numpy.sqrt(datm[i]
1961                                     [2]**2+datn[j][2]**2)]) #Magnitudendifferenz, JD-Differenz, Summe Magnitudenfehler
1962             if conti==True:
1963                 continue
1964             if offsetmn<>[]:
1965                 extrastabw=0
1966                 for line in extrastabws:
1967                     if line[0]==telescopes[m][0] or line[0]==telescopes[n][0]:
1968                         extrastabw+=line[1]
1969                         if vorhand.find(line[0])==-1:
1970                             vorhand=vorhand+'_'+line[0]
1971
1972                 offsetmn=numpy.array(offsetmn)
1973                 #for line in offsetmn:
1974                 # if line[1]==0:
1975                 #     print line,m,n
1976                 gewmittel=numpy.average(offsetmn[:,0],axis=0,weights=1/((offsetmn[:,1]/maxsepa)**2+(offsetmn
1977                                     [2]/numpy.median(offsetmn[:,2]))**2)) #Wichtungen normiert, sonst ueberwiegt eines
1978                 if len(offsetmn[:,0])>1:
1979                     stabw=numpy.std(offsetmn[:,0],ddof=1)
1980                 else:
1981                     stabw=offsetmn[0,2] #Magnitudendiff
1982                 #print m,n,len(offsetmn),gewmittel,stabw,min(offsetmn[:,0]),max(offsetmn[:,0])
1983                 sgewm[m,n]=gewmittel
1984                 sstabw[m,n]=stabw+extrastabw
1985                 snrdat[m,n]=len(offsetmn)
1986                 sgewm[n,m]=-gewmittel
1987                 sstabw[n,m]=stabw+extrastabw
1988                 snrdat[n,m]=len(offsetmn)
1989             if vorhand<='':
1990                 print "Wichtung_uer_die_Teleskope_verringert:",vorhand
1991             #print sgewm
1992             neustats=[]
1993             for u in range(len(daten)-1): #jeden Index
1994                 for v in range(u+1,len(daten)): #mit jeden Vergleichen
1995                     uv=[u,v]
1996                     gewmittel=[]
1997                     stabw=[]
1998                     nrdat=[]
1999                     if sgewm[u,v]<100:
2000                         gewmittel.append(sgewm[u,v])
2001                         stabw.append(sstabw[u,v])
2002                         nrdat.append(snrdat[u,v])
2003                     for i in range(len(daten)):
2004                         if i in uv: #nicht sich selber nehmen
2005                             continue
2006                         if sgewm[u,i]>99:
2007                             continue
2008                         if sgewm[i,v]<100:
2009                             gewmittel.append(sgewm[u,i]+sgewm[i,v])
2010                             stabw.append(sstabw[u,i]+sstabw[i,v])
2011                             nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,v]))
2012                     if len(daten)==2:
2013                         continue
2014                     uvi=[u,v,i]
2015                     for j in range(len(daten)):
2016                         if j in uvi: #nicht sich selber nehmen
2017                             continue
2018                         if sgewm[i,j]>99:
2019                             continue
2020                         if sgewm[j,v]<100:
2021                             gewmittel.append(sgewm[u,i]+sgewm[i,j]+sgewm[j,v])
2022                             stabw.append(sstabw[u,i]+sstabw[i,j]+sstabw[j,v])
2023                             nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,v]))
2024                     if len(daten)==3:
2025                         continue
2026                     uvij=[u,v,i,j]
2027                     for k in range(len(daten)):
2028                         if k in uvij: #nicht sich selber nehmen
2029                             continue
2030                         if sgewm[j,k]>99:
2031                             continue
2032                         if sgewm[k,v]<100:
2033                             gewmittel.append(sgewm[u,i]+sgewm[i,j]+sgewm[j,k]+sgewm[k,v])
2034                             stabw.append(sstabw[u,i]+sstabw[i,j]+sstabw[j,k]+sstabw[k,v])
2035                             nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,k], snrdat[k,v]))
2036                     if len(daten)==4:
2037                         continue
2038                     uvijk=[u,v,i,j,k]

```

B.2. ZUSAMMENSETZUNG DER LICHTKURVEN ALLER TELESKOPE

```

2037     for l in range(len(daten)):
2038         if l in uvijk: #nicht sich selber nehmen
2039             continue
2040         if sgeom[k,l]>99:
2041             continue
2042         if sgeom[l,v]<100:
2043             gewmittel.append(sgeom[u,i]+ sgeom[i,j]+ sgeom[j,k]+ sgeom[k,l]+ sgeom[l,v])
2044             stabw.append(sstabw[u,i]+ sstabw[i,j]+ sstabw[j,k]+ sstabw[k,l]+ sstabw[l,v])
2045             nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,k], snrdat[k,l], snrdat[l,v]))
2046         if len(daten)==5:
2047             continue
2048         uvijkl=[u,v,i,j,k,l]
2049         for m in range(len(daten)):
2050             if l in uvijkl: #nicht sich selber nehmen
2051                 continue
2052             if sgeom[l,m]>99:
2053                 continue
2054             if sgeom[m,v]<100:
2055                 gewmittel.append(sgeom[u,i]+ sgeom[i,j]+ sgeom[j,k]+ sgeom[k,l]+ sgeom[l,m]+ sgeom
2056                     [m,v])
2057                 stabw.append(sstabw[u,i]+ sstabw[i,j]+ sstabw[j,k]+ sstabw[k,l]+ sstabw[l,m]+
2058                     sstabw[m,v])
2059                 nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,k], snrdat[k,l], snrdat[l,m],
2060                     snrdat[m,v]))
2061             if len(daten)==6:
2062                 continue
2063             uvijklm=[u,v,i,j,k,l,m]
2064             for n in range(len(daten)):
2065                 if n in uvijklm: #nicht sich selber nehmen
2066                     continue
2067                 if sgeom[m,n]>99:
2068                     continue
2069                 if sgeom[n,v]<100:
2070                     gewmittel.append(sgeom[u,i]+ sgeom[i,j]+ sgeom[j,k]+ sgeom[k,l]+ sgeom[l,m]+
2071                         sgeom[m,n]+ sgeom[n,v])
2072                     stabw.append(sstabw[u,i]+ sstabw[i,j]+ sstabw[j,k]+ sstabw[k,l]+ sstabw[l,m]+
2073                         sstabw[m,n]+ sstabw[n,v])
2074                     nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,k], snrdat[k,l], snrdat[l,m],
2075                         snrdat[m,n], snrdat[n,v]))
2076             if len(daten)==7:
2077                 continue
2078             uvijklmn=[u,v,i,j,k,l,m,n]
2079             for o in range(len(daten)):
2080                 if o in uvijklmn: #nicht sich selber nehmen
2081                     continue
2082                 if sgeom[n,o]>99:
2083                     continue
2084                 if sgeom[o,v]<100:
2085                     gewmittel.append(sgeom[u,i]+ sgeom[i,j]+ sgeom[j,k]+ sgeom[k,l]+ sgeom[l,m]+
2086                         sgeom[m,n]+ sgeom[n,o]+ sgeom[o,v])
2087                     stabw.append(sstabw[u,i]+ sstabw[i,j]+ sstabw[j,k]+ sstabw[k,l]+ sstabw[l,m]+
2088                         sstabw[m,n]+ sstabw[n,o]+ sstabw[o,v])
2089                     nrdat.append(min(snrdat[u,i], snrdat[i,j], snrdat[j,k], snrdat[k,l], snrdat[l,
2090                         m], snrdat[m,n], snrdat[n,o], snrdat[n,v]))
2091             if len(daten)==8:
2092                 continue
2093
2094         #print u,v,gewmittel
2095         if len(gewmittel)>1:
2096             neustats.append([u,v,numpy.average(numpy.array(gewmittel),axis=0, weights=1/numpy.array(
2097                 stabw)**2+1/numpy.array(nrdat)**2), min(stabw)])
2098         elif len(gewmittel)==1:
2099             neustats.append([u,v,gewmittel[0],stabw[0]])
2100         #print u,v,gewmittel[u][v]
2101         #print " ",stabw[u][v]
2102         #print " ",weg[u][v]
2103     if len(daten)>9:
2104         print "eventuell_Programmcode_ergaenzen"
2105     stats=[]
2106     temp=[]
2107     done=[]
2108     if neustats<>[]: #Wenn nur ein Teleskop, dann ist neustats==[]
2109         start=neustats[0][0]
2110         for i in range(len(neustats)):
2111             if neustats[i][0]<>start: #Neuen Datensatz anfangen
2112                 if temp<>[]:
2113                     stats.append(temp)
2114                     temp=[]
2115                 start=neustats[i][0]
2116             if neustats[i][1] not in done: #Aber Index noch nicht hinzuefuegt
2117                 temp.append(neustats[i])
2118                 done.append(neustats[i][1])
2119         if temp<>[]: #finales Hinzuefuegen
2120             stats.append(temp)
2121         for i in range(len(stats)): #Zuordnung mit sich selber hinzuefuegen
2122             temp=stats[i][0][0] #Index in telescopes
2123             stats[i].insert(0,[temp,temp,0,0])
2124             done.append(temp)
2125     for i in range(len(daten)): #Datensaeetze ohne Zuordnung hinzuefuegen, auch der Fall, wenn nur ein
2126         Teleskop beobachtet hat
2127         if i not in done:
2128             stats.append([i,i,0,0])
2129     #print stats
2130     maxnummer=1
2131     logfile=open('logfile','a')
2132     for i in range(len(stats)):

```

ANHANG B. QUELLCODE

```
2123 file=open(stern+"-"+variant+"-"+belzeiten[0]+"%2.2i"%i+"-dphot"+band+str(maxnummer-1), 'w')
2124 sourcefile=open(stern+"-"+variant+"-"+belzeiten[0]+"%2.2i"%i+"-dphot"+band+"source"+str(
maxnummer-1), 'w')
2125 index=stats[i][0][0]
2126 logfile.write('neuer_Block: '+str(stats[i][0][0])+' '+telescopes[index][0]+'\\n')
2127 print('neuer_Block: '+str(stats[i][0][0])+' '+telescopes[index][0])
2128 for j in range(len(stats[i])):
2129     index=stats[i][j][1]
2130     logfile.write('Teleskop: '+telescopes[index][0]+' '+telescopes[index][1][0]+' \\tOffset: %3.3f'%
stats[i][j][2]+' \\tError: %3.3f'%stats[i][j][3]+'\\n')
2131 print('Teleskop: '+telescopes[index][0]+' '+telescopes[index][1][0]+' \\tOffset: %3.3f'%stats[i
][j][2]+' \\tError: %3.3f'%stats[i][j][3])
2132 for line in daten[index]:
2133     file.write(str(line[0])+'\\t'+str(j)+'\\t%6.4f'%(line[1]+stats[i][j][2])+'\\t%6.4f'%(line[2])+'
\\t'+\\n')
2134     sourcefile.write(line[3])
2135 file.close()
2136 sourcefile.close()
2137 logfile.close()
2138 print('python_'+pfad_python+'dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten
[0]+'??'+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2139 print('python_'+pfad_python+'dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'
??'+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2140 os.system('python_dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'??'+'-dphot'
+band+'source'+str(maxnummer-1))
2141 os.system('python_dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'??'+'-dphot'
+band+'source'+str(maxnummer-1))
2142 for i in range(len(stats)):
2143     print('python_'+pfad_python+'ein-stern.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+"%2.2i"%i+'-
dphot'+band+str(maxnummer-1)+'_true_false_true_1_&')
2144     os.system('python_ein-stern.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+"%2.2i"%i+'-dphot'+band+
str(maxnummer-1)+'_true_false_true_1')
2145 if len(stats)>1:
2146     print('python_'+pfad_python+'zusammenfassen_2e-fuer-phaseoffset.py'+stern+'-'+variant+'-'+
belzeiten[0]+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1)+'_&')
2147     os.system('python_'+pfad_python+'zusammenfassen_2e-fuer-phaseoffset.py'+stern+'-'+variant+'-'+
belzeiten[0]+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1)+'_&')
2148 stats=[]
2149 neustats=[]
2150
2151 for variant in ["2a", "2b", "2c", "2d"]: #Aufrauemen
2152     if variant in variante:
2153         os.system('find_maxdepth_1_name'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'erg'+band+str(maxnummer
-1)+'-1.dat'+exec_rm+';')
2154         print('python_'+pfad_python+'dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'
??'+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2155         print('python_'+pfad_python+'dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'
??'+'-dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2156         #os.system('python_dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'??'+'-
dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2157         #os.system('python_dphotsource_zusammenfassen.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'??'+'-
dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1))
2158         #os.system('python_'+pfad_python+'ein-stern.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'dphot'+
band+str(maxnummer-1)+'_true_false_false_1_&')
2159         print('python_'+pfad_python+'ein-stern.py'+stern+'-'+variant+'-'+belzeiten[0]+'dphot'+band+
str(maxnummer-1)+'_true_false_false_1_&')
2160
2161 if ("3a" or "3b") in variante:
2162     dphots=[]
2163     for i in range(len(naechtebelzeit)):
2164         for line in os.popen('ls-1'+naechtebelzeit[i][0]+'/'+'naechtebelzeit[i][2]+'dphot'+band+'*'):
2165             dphots.append([naechtebelzeit[i][0], naechtebelzeit[i][1], naechtebelzeit[i][2], naechtebelzeit[i
][3], line[:-1]])
2166     print("nichts programmiert")
2167
2168 #os.system('notify-send "all_light_fuer_ein_stern done" "...'+stern+' '+band+' '+belzeiten[0]+' '+
sys.argv[7]+' "')
2169 if os.path.isdir(magordner)==True and os.path.isfile(magordner+'.tbz')==False:
2170     result=os.system('tar -c jf'+magordner+'.tbz'+magordner)
2171     if result==0:
2172         os.system('rm -rf'+magordner)
2173     #print "magnit-Dateien werden noch gezippt, mittels strgz und bg kann weiter gearbeitet werden"
2174 #os.system('nice -n 10 find '+magordner+'/-name "*_magnit" -exec bzip2 -f {} \\;' ) #not for
all_light_for_i_stars.py
```

Routinen zur Datenreduktion, Photometrie und Er- stellung der Lichtkurven

```
1 #!/usr/bin/python
2 # -*- coding: utf-8 -*-
3 #Autor: Ronny Errmann, p4erro@uni-jena.de
4
5 #####
6 #### Name : routines_reduction.py
7 #### Version: 2.0
8 #### Usage : background program for light curve creation to be
9 ##### used by the code automat.py
```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```
10 ##### Author : Ronny Errmann, p4erro@uni-jena.de
11 ##### Date : 2015/06/25
12 #####
13 ##### remarks: based in part on the program photometry by Ch. Broeg
14 ##### Broeg, Fernandez, Neuhaeuser, 2005, AN 326
15 #####
16
17 #####
18 ##### Changelog
19 #4.5.11 login.cl beide Zeilen mit scips entfernt
20 #4.5. cross-cor: steps angepasst, so dass immer jede Kombination getestet wird
21 #4.5. corss-cor: aus der Referenzliste werden alle Kombinationen erstellt und nicht nur die
aufsteigenden
22 #4.5. cross-cor: Ausgabe Fehlermeldung wenn nicht genug Ubereinstimmungen gefunden werden
23 #4.5. Start des moduls chrisphot: Sicherung vor Absturz, falls keine Werte für noninstrumental error
und multiplikator in status.log stehen
24 #5.5. cross-cor: cc_abbruch eingefuehrt und Abbruchbedingung modifiziert: Testen, ob bei
Ubereinstimmungen ausreichend richtige vorhanden sind
25 #9.5. cross-cor: Abbruchbedingung modifiziert, so dass nur abgebrochen wird, wenn ausreichend
Ubereinstimmungen gefunden wurden -> komplette cross-cor routine Uebernehmen
26 #16.5. iraphot: sed durch Anpassen der Ersetzung von 100000 zu -100000 Routine ausgearbeitet, da
sinnlose Doppelausführung bei vielen Dateien
27 #18.5. cross-cor: Refcoords muss nur noch x,y,nr enthalten, der Rest ist optional. c_files enthalten
nur noch x,y,nr
28 #18.5. aperturtesting: arbeiten bei der nonvar mit Integers statt mit Strings-> keine Probleme falls
Zahlen mit Leerzeichen aufgefüllt
29 #25.5. cross-cor: Variable max_elong fuer schnelle Uebergabe der Maximalen Elongation eingefuehrt
30 #26.5. chrisphotsettings: aussortierte Bilder nicht mehr verwenden, Einlesen der Datei aussortiert
deswegen verschoben -> trat erst am 15.6. in Kraft
31 #30.5. aperturtesting: Anlegen datdataps.par von makefile zu aperturtesting verschoben, FWHM nicht
mehr aus FWHM_input
32 #30.5. Versionsdatum der jeweiligen Routinen eingefuehrt
33 #31.5. Einstellungen werden aus der optionalen automatsettings.py gelesen
34 #01.6. cross-cor: Wenn mehr als 100 Sterne aus refliste, dann per zufall nicht alle Kombinationen
nutzen; Schreiben einer ds9-Region-Datei mit den verwendeten Sternen in Referenz und Bild
35 #02.6. [-1].split(' '), [-1].split('\t'), replace(' ', '\t') durch .split() ersetzt
36 #07.6. chrisphot, chrisphotsettings suche im path_photometry nach am besten passender photometry
37 #08.6. default.sex: saturation level eingestellt
38 #15.6. Fehler behoben, so dass Aenderung vom 25.5. in Kraft treten
39 #21.6. Einbau Fehlermeldung, wenn alle Sterne irgendwo INDEF bei Aperturtesting
40 #22.6. nr_settings aus index array bestimmt
41 #28.6. chrisphotsettings: -> nur Ausfuehren wenn mehr als 2 Sterne gut
42 #28.6. chrisphot: Korrektur der sigmaverteilung, zwischen 2.6. und 28.6: Stern1 fehlt, Stern2 ist
Fehler Stern1 und letzter Stern ist Fehler Stern2
43 #28.6. aperturtesting: Aussortieren der Bilder mit vielen INDEFs, schreiben der Bilder ins logfile
angepasst
44 #29.6. chrisphotsettings: Aussortieren der Bilder mit vielen INDEFs, schreiben ins logfile angepasst
45 #01.7. chrisphotsettings: Magnitfiles nur bis maximal doppelt so vielen Zeilen wie cps_maxsterne
einlesen
46 #01.7. chrisphotsettings und chrisphot: ueberpruefen, ob magnitfiles in magnit-Ordner mittels
Ergebnis von os.system; am 5.7. wieder zurueckgeaendert
47 #06.7. chrisphotometry: Aussortieren der Bilder, bei welchen 60% INDEF
48 #07.7. makefile: p4erro in IRAF path durch login-Kennzeichen ersetzt
49 #11.7. reduktion durch Martins Routine ersetzt
50 #14.7. chrisphotsettings und chrisphot und iraphot: magnitordner eingefuegt, etwas angepasst, um
auch fuer nahphot nutzbar (zB arbeiten in magnit Ordner)
51 #14.7. nahphot hinzugefuegt
52 #19.7. crosscor: fehler beim drehen um positive Winkel behoben und dabei etwas verkürzt; Unterschied
bei 0 und 2Pi beachtet.
53 #21.7. gzip in weiten Teilen durch bzip2 ersetzt
54 #27.7. engraphot: erstellen der refcoords_eng+exptime eingefuehrt
55 #26.7. aperturtesting: Anpassung der lst_Band_Belzeit entfernt, da nur einige Bilder getestet und
das aussortieren deswegen zu willkuehrlich ist
56 #14.9. chrisphot: Datei sigmaverteilung* nicht mehr für enge Sterne schreiben
57 #27.9. cross_cor: Verwenden einer erweiterten refcoords [refcoords_full_+exptime] für Object
dedection, falls refcoords zu wenig Sterne enthält
58 #28.10 chrisphot: lst_+band+exptime statt os.popen(ls *magnit*) nutzen
59 #16.11 reduktion: Trennen zwischen Darks mit zB 120 und 20s, welche bisher beide in 20s-Liste
auftauchen
60 #1.2.12 diverse Routinen: Einbau von Sicherheiten (Verschieben vorhandener c_* und magnit Dateien,
statt überschreiben; Testen auf Ausreichend Darks)
61 #17.2. Chrisphotsettings: Auf Maximal 1000 Magnitfiles beschränken, Sicherheit falls cps_maxsterne
<50
62 #08.3. Chrisphot: Wenn ein Stern nur in wenigen Bildern Indef, dann diese Bilder aussortieren
63 #08.3. Beim Zippen und Entzippen überall "...+band+" "+exptime+"... eingefügt und nice überarbeitet
64 #11.4. FWHM_inp wird nicht mehr für aussortieren in CrossCor verwendet
65 #06.7. Plotten der instrumentellen Helligkeit Stern1
66 #17.6. nur nicht-INDEFs in instrumentellen Helligkeit plotten
67 #18.9. cross_cor: Einfuegen von cc_minnr
68 #18.9. Chrisphot: leichte Ueberarbeitung des Aussortierens der Bilder, wenn ein Stern nur in wenigen
Bildern Indef
69 #29.10. chrisphotsettings: Hinzufuegen von cps_maximages
70 #21.3.13 apt_startstar hinzugefügt
71 #22.3. aperturtesting: Aussortieren der Sterne mit zu vielen INDEFs etwas angepasst
72 #22.3. cp_nrstarrej und cp_maximarej hinzugefügt, zuvor auf 1% und 5% gesetzt
73 #29.4. aperturtesting: ändern, dass keine 15000 Sterne in nonvar, wenn Datei nicht existiert
74 #25.10. "mv *" und "ls *" und "bzip2 *" durch "find -name "*" -exec bzip2 {} \;" ersetzt
75 #28.1.14 Aperturtesting: kleinste Apertur: 0.7*FWHM statt 1.0*FWHM
76 #12.2. Aussortieren hinzugekommen, Teile von routinen-reduktion nach dahin kopiert -> After NGC7243-
Data: works quite good, nearly no data removal by hand necessary (but how many good data points
removed)
77 #25.4. Subprozess, der abgestürzte ./photometry abschießt hinzugefügt
78 #14.11. Translation into english started
79 #14.11. path_iraf zu start_iraf geaendert, iraf start verbessert und login.cl verbessert
80 #14.1.15 fpack eingefuehrt, gzip entpacken entfernt
81 #23.6. ['ecl>', 'expect.EOF'] changed to ['expect.EOF', 'ecl>']
82 #23.6. chphot replaced by ownphot (a short version of chphot, created in make_file
```


ANHANG B. QUELLCODE

```

213     print "!!! Attention ,only ,len(temp), ,Darks!!!"
214     write_logfile(logfile, 'Reduktion_(Version='+versio+'):'+band+exptime+" "+time.strftime("%d.%m
    %Y.%H:%M:%S", time.localtime()))
215     if biassec=="":
216         overscan="no"
217     else:
218         overscan="yes"
219     if trimsec=="":
220         trim="no"
221     else:
222         trim="yes"
223     print "start_the_IRAF_Reduktion_for_"+band+exptime #Reduktion mit IRAF
224     child=pexpect.spawn(start_irafr)
225     i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
226     if i<>0:
227         child.sendline('setinstrument_'+camera+' ,site='+site+' ,directo="home$" ,review=no ,query
            ="'+camera+'')
228     if overscan=="yes" or trim=="yes": #STK', CTK-II, LOT
229         i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
230     if i<>0:
231         child.sendline('@dark_'+exptime+' ,output="" ,ccdtype="" ,max_cac=200 ,noproc=no ,
            fixpix=no ,oversca='+overscan+' ,trim='+trim+' ,zerocor=no ,darkcor=no ,flatcor=no ,
            illumco=no ,fringec=no ,readcor=no ,scancor=no ,readaxi="line" ,biassec="'+biassec+' ,
            trimsec="'+trimsec+' ,minrepl=1 ,scantyp="shortscan" ,nscan=1 ,interac=no)')
232     print child.before
233     i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
234     if i<>0:
235         os.system('find -maxdepth 1 -name "dark_'+exptime+'_median.fits" -exec rm_{} \;')
236         #child.sendline('combine ("@biaslist", output="bias_median.fits", plfile="", sigma="", ccdtype
            ="", combine="median", reject="avsigclip", subsets=no, delete=no, clobber=no, project=no,
            outtype="real", offsets="none", masktype="none", blank=0., scale="none", zero="none",
            weight=no, statsec="", lthreshold=INDEF, hthreshold=INDEF, nlow=0, nhigh=1, nkeep=1, mclip
            =yes, lsigma=3, hsigma=3, rdnoise='+readnoise+', gain='+gain+', snoise=0, sigscale=0.1,
            pclip=-0.5, grow=0)') #ccdtype="dark"
237     child.sendline('@dark_'+exptime+' ,output="dark_'+exptime+'_median.fits" ,plfile="" ,
            sigma="" ,ccdtype="" ,combine="median" ,reject="avsigclip" ,subsets=no ,delete=no ,clobber=
            no ,project=no ,outtype="real" ,offsets="none" ,masktype="none" ,blank=0. ,scale="none" ,
            zero="none" ,weight=no ,statsec="" ,lthreshold=INDEF ,hthreshold=INDEF ,nlow=0 ,nhigh=1 ,
            nkeep=1 ,mclip=yes ,lsigma=3 ,hsigma=3 ,rdnoise='+readnoise+' ,gain='+gain+' ,snoise=0 ,
            sigscale=0.1 ,pclip=-0.5 ,grow=0)') #ccdtype="dark"
238     print child.before
239     todel=[]
240     for line in science:
241         if line.find(band+'_'+exptime+'.fits')>4:
242             print line
243             neu=line.split('/')
244             if line==neu[0]:
245                 neu[0]=''
246             i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
247             if i<>0:
248                 #child.sendline('ccdproc ("'+line+'", output="'+neu[-1]+'", ccdtyp="", max_cac=200, noproc=
                    no, fixpix=no, oversca='+overscan+', trim='+trim+', zerocor=yes, darkcor=no, flatcor=
                    yes, illumco=no, fringec=no, readcor=no, scancor=no, readaxi="line", biassec="'+biassec
                    +'", trimsec="'+trimsec+'", minrepl=1. , scantyp="shortscan", zero="bias_median.fits",
                    flat="flat_median_'+band+'.fits", nscan=1, interac=no)') #ccdtyp="object",
249                 child.sendline('ccdproc_'+line+' ,output="'+neu[-1]+'", ccdtyp="" ,max_cac=200 ,noproc=no
                    ,fixpix=no ,oversca='+overscan+' ,trim='+trim+' ,zerocor=no ,darkcor=yes ,flatcor=yes ,
                    illumco=no ,fringec=no ,readcor=no ,scancor=no ,readaxi="line" ,biassec="'+biassec+' ,
                    trimsec="'+trimsec+' ,minrepl=1 ,scantyp="shortscan" ,dark="dark_'+exptime+'_median
                    .fits" ,flat="flat_median_'+band+'.fits" ,nscan=1 ,interac=no)') #ccdtyp="object",
250                 i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
251                 if child.before.find(neu[-1])==-1:
252                     print "nothing done"
253                 if child.before.find('ERROR')==-1 and child.before.find('Warning')==-1:
254                     if neu[0]<>':
255                         os.system('rm_'+line)
256                 child.sendline('setjd ("'+neu[-1]+'", observa="'+site+'", date="DATE-OBS", time="" ,exposur="
                    '+header_exposure+' ,ra="RA" ,dec="Decl" ,epoch="Epoch" ,jd="jd" ,hjd="" ,ljd="" ,
                    utdate=yes ,uttime=yes ,uliston=no)')
257                 #if camera=="LOT" or camera=="Trebur": #Lulin not in IRAF-database -> Problem or camera
                    ==Trebur'
258                 # child.sendline('n')
259                 #child.sendline('')
260                 todel.append([line, neu[-1]])
261             else:
262                 print child.before
263                 child.sendline('')
264                 todel.append([line, 'prob'])
265             i=child.expect([pexpect.EOF, 'cl>', 'ecl>'])
266             if i<>0:
267                 child.sendline('logout')
268             i=child.expect([pexpect.EOF])
269             print child.before
270             print "IRAF-Reduktion done"
271             for line in todel:
272                 for j in range(len(science)):
273                     if line[0]==science[j]:
274                         del science[j]
275                 break
276             if line[1]<>'prob':
277                 science.append(line[1])
278             else:
279                 print 'Problem_with_'+line[0]
280             os.system('rm_dark_'+exptime) #Liste entfernen
281             file=open("status.log", 'a')
282             file.write("Reduced"+band+exptime+"\n")
283             file.close()

```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```
284
285 #routinen_reduktion.cross_cor(camera, band, exptime, path_sextract, illumcor, science, cc_phi,
    cc_rota, cc_deltar, cc_deltaw, cc_minr, cc_reject, cc_maxirev, cc_maxi, cc_winref, cc_winneu,
    cc_abbruch, cc_max_elong, cc_minnr, area[nr_setting], deplending[nr_setting], contrast[
    nr_setting], maxgood[nr_setting], gain[nr_setting], FWHM_imp[nr_setting], maxapertur[nr_setting
    ])
286 def cross_cor(camera, band, exptime, path_sextract, illumcor, science, cc_phi, cc_rota, cc_deltar,
    cc_deltaw, cc_minr, cc_reject, cc_maxirev, cc_maxi, cc_winref, cc_winneu, cc_abbruch,
    cc_max_elong, cc_minnr, area, deplending, contrast, maxgood, gain, FWHM_imp, maxapertur):
287 versio="18.09.12"
288 file=open("default.sex", 'w') #creates the Settings files fuer sextractor
289 file.write("#_GAIA_SEExtractor_configuration_parameters_file_.\nCATALOG_NAME_GaiaCatalog0.ASC\
    nPARAMETERS_NAME_default.param\nCATALOG_TYPE_ASCII_HEAD\nDETECT_MINAREA_ "+area+"\
    nTHRESH_TYPE_RELATIVE\nDETECT_THRESH_3\nANALYSIS_THRESH_3\nFILTER_
    nFILTER_NAME/as/GAIA/extractor/config/default.conv\nDEBLEND_NTHRESH_ "+deplending+"\
    nDEBLEND_MINCONT_ "+contrast+"\nCLEAN_
    nCLEAN_PARAM_1.0\nMAG_ZEROPOINT_
    0.0\nPHOT_APERTURES_5\nPHOT_AUTOPARAMS_2.5,3.5\nMASK_TYPE_CORRECT\nDETECT_TYPE_
    CCD\nPIXEL_SCALE_1.0\nSATUR_LEVEL_ "+maxgood+"\nGAIN_ "+gain+"\
    nMAG_GAMMA_4.0\nSEEING_FWHM_ "+FWHM_imp+"\nSTARANNW_NAME/as/GAIA/extractor/
    config/default.nnw\nBACK_SIZE_64\nBACK_FILTERSIZE_3\nBACK_TYPE_AUTO\
    nBACK_VALUE_0.0\nBACKPHOTO_TYPE_GLOBAL\nBACKPHOTO_THICK_24\nCHECKIMAGE_TYPE_
    BACKGROUND\nCHECKIMAGE_NAME_check.fits\nMEMORY_OBJSTACK_2000\nMEMORY_PIXSTACK_10000\
    nMEMORY_BUFSIZE_1024\nVERBOSE_TYPE_NORMAL\n")
290 file.close()
291 file=open("default.param", 'w')
292 file.write("#_GAIA_SEExtractor_catalogue_parameters_file_.\nNUMBER_X_IMAGE\nY_IMAGE\nMAG_BEST\
    nMAGERR_BEST\nFLUX_MAX\nISOAREA_IMAGE\nTHETA_IMAGE\nFWHM_IMAGE\nELONGATION\n")
293 file.close()
294 FWHM=[]
295 #os.system('find -maxdepth 1 -name "*"'+band+'_'+exptime+'.fits.fz" -exec /pastro/scisoft/bin/
    funpack -D {} \;')
296 os.system('find -maxdepth 1 -name "*"'+band+'_'+exptime+'.fits.bz2" -exec bunzip2 -fq {} \;')
297 write_logfile(logfile, 'Cross_Correlation (Version='+versio+') : '+band+exptime+"
    strftime("%H:%M:%S", time.localtime())+'\nRotation_of_Referencelist_cc_phi='+str(cc_phi)+'
    rad_ Search_for_rotation_cc_rota='+str(cc_rota)+'_ Tolerance_of_separation_cc_deltar='+str(
    cc_deltar)+'_ Pixel_ Tolerance_of_angle_cc_deltaw='+str(cc_deltaw)+'_ rad_ minimum_separation
    between_two_stars_cc_minr='+str(cc_minr)+'_px_ Rejection_cc_reject='+str(cc_reject)+'_ Sigma
    Maximum_number_of_comparison_stars_cc_maxirev='+str(cc_maxirev)+'_ Maximum_number_of
    stars_in_actual_image_cc_maxi='+str(cc_maxi)+'_ only_comparison_stars_in_the_window_ccwinref
    =' +str(cc_winref[0])+'...' +str(cc_winref[1])+'_ only_stars_of_actual_image_in_window
    cc_winneu=' +str(cc_winneu[0])+'...' +str(cc_winneu[1])+'_ elongation_smaller_than_
    cc_max_elong='+str(cc_max_elong))
298 files=[]
299 for line in science:
300     if line.find(band+'_'+exptime+'.fits') > 4:
301         files.append(line)
302     if files == []:
303         print "No_images_for_" + band + '_' + exptime + '.fits -> Break'
304         exit(2)
305     os.system("mkdir -p coords")
306     for line in os.popen('find coords -name "c_*'+band+'_'+exptime+'*").readlines():
307         os.system("mkdir -p oldcoordsold\nmv "+line[:-1] + "_oldcoordsold/")
308     coords_full=[]
309     if os.path.isfile("refcoords_full_"+exptime)==True:
310         file=open("refcoords_full_"+exptime, 'r')
311         for line in file:
312             if line.find('#')==0:
313                 continue
314             temp=line.split()
315             if temp == []:
316                 continue
317             del temp[3:]
318             rotx=float(temp[0])
319             roty=float(temp[1])
320             temp[0]=math.cos(cc_phi)*rotx-math.sin(cc_phi)*roty
321             temp[1]=math.sin(cc_phi)*rotx+math.cos(cc_phi)*roty
322             if rotx>cc_winref[0] and roty>cc_winref[0] and rotx<cc_winref[1] and roty<cc_winref[1]:
323                 coords_full.append(temp)
324             file.close()
325             print "Using_extra_list_for_Object_Detection"
326             coords=[] #Einlesen der Referenzkoordinaten
327             refcoords=[]
328             file=open("refcoords_"+exptime, 'r')
329             for line in file:
330                 if line.find('#')==0:
331                     continue
332                 temp=line.split()
333                 if temp == []:
334                     continue
335                 del temp[3:]
336                 rotx=float(temp[0])
337                 roty=float(temp[1])
338                 temp[0]=math.cos(cc_phi)*rotx-math.sin(cc_phi)*roty
339                 temp[1]=math.sin(cc_phi)*rotx+math.cos(cc_phi)*roty
340                 if rotx>cc_winref[0] and roty>cc_winref[0] and rotx<cc_winref[1] and roty<cc_winref[1]:
341                     coords.append(temp)
342                 refcoords.append(temp)
343             file.close()
344             if len(coords_full)>=len(coords): #Nutzen der verlaengerten Liste
345                 coords=coords_full
346             elif len(refcoords)<=5:
347                 temp='Only_'+str(len(refcoords))+' Stars_exist_in_refcoords_'+exptime_ To_avoid_wrong_offsets_in_
                    the_cross-correlation_create_refcoords_full_'+exptime_ which_contains_more_stars.'
348                 write_logfile(logfile, temp)
349                 print temp
350             maxnummer=len(refcoords)
351             inputkat=[] #Berechnen der Vergleichsverschiebungen
```


B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

444     if abs(radius1-zeile[1])<cc_deltar:
445         temp=zeile[1] #Umsortieren, so dass Radius1 bei an erster
446         zeile[1]=zeile[0] #und Radius2 an zweiter Stelle steht
447         zeile[0]=temp
448         testinput1.append(zeile)
449     if testinput1==[]:
450         continue #Wenn es Radius nicht gibt, dann ueberspringen
451     if delta1y>=0:
452         phi1=math.acos(delta1x/radius1)
453     else:
454         phi1=2*math.pi-math.acos(delta1x/radius1)
455     for k in range(j+1,laenge):
456         delta2x=neucoords[k][0]-neucoords[i][0]
457         delta2y=neucoords[k][1]-neucoords[i][1]
458         radius2=math.sqrt(pow(delta2x,2)+pow(delta2y,2))
459         if radius2<cc_minr: #Mindestabstand zwischen 2 Sternen erfullen
460             continue
461         testinput2=[] #Testen, ob radius2 und radius1 gemeinsam in restlichem Inputkatalog liegen
462         for zeile in testinput1:
463             if abs(radius2-zeile[1])<cc_deltar:
464                 testinput2.append(zeile)
465         if testinput2==[]:
466             continue #Wenn nicht beide Radien gibt, dann ueberspringen
467         if delta2y>=0:
468             phi2=math.acos(delta2x/radius2)
469         else:
470             phi2=2*math.pi-math.acos(delta2x/radius2)
471         phi=phi1-phi2 #ergibt phi zwischen -360 und 360
472         if phi<0: #negative phi eine Runde weiter drehen
473             phi+=2*math.pi
474         testinput3=[] #Testen, ob Winkel in Inputkatalog
475         for zeile in testinput2:
476             if abs(phi-zeile[2])<cc_deltaw or abs(abs(phi-zeile[2])-2*math.pi)<cc_deltaw: #
477                 beachten der Unstetigkeit bei 0/2Pi
478                 testinput3.append(zeile)
479         if testinput3==[]:
480             continue #Wenn es Winkel nicht gibt, dann ueberspringen
481         #-> Radien und Phi sind wie im Inputkatalog, Schenkel richtig rum angeordnet
482         for l in range(len(testinput3)): #Vergleich mit Inputkatalog
483             if cc_rota=='true':
484                 deltaphi1=phi1-testinput3[l][5]
485                 if deltaphi1<0:
486                     deltaphi1+=2*math.pi
487                 deltaphi2=phi2-testinput3[l][6]
488                 if deltaphi2<0:
489                     deltaphi2+=2*math.pi
490                 if (deltaphi1>6 and deltaphi2<1) or (deltaphi1<1 and deltaphi2>6): #problem wenn 0
491                     und 2*pi gleichzeitig
492                     rotphi=(deltaphi1+deltaphi2-2*math.pi)/2
493                     if rotphi<0: #falls kleinere Abweichung zu 0 bei Wert >6
494                         rotphi+=2*math.pi
495                 else:
496                     rotphi=(deltaphi1+deltaphi2)/2
497                 verschiebx=-testinput3[l][7]+(neucoords[i][0]*math.cos(rotphi)-neucoords[i][1]*math.
498                 sin(-rotphi))
499                 verschieby=-testinput3[l][8]+(neucoords[i][0]*math.sin(-rotphi)+neucoords[i][1]*math.
500                 cos(rotphi))
501             else:
502                 rotphi=0
503                 verschiebx=-testinput3[l][7]+neucoords[i][0]
504                 verschieby=-testinput3[l][8]+neucoords[i][1]
505             erg.append([rotphi,verschiebx,verschieby])
506             #print i,j,k,l, len(erg), len(inputkat), len(testinput1), len(testinput2), len(
507             testinput3), rotphi, verschiebx, verschieby
508         if len(erg)<2*cc_abbruch*weiter:
509             continue #nicht Ueberpruefen, wenn noch nicht ausreichend
510         if cc_rota=='true': #schonmal Ueberpruefen, obausreichend Winkel vorhanden
511             winkel=[]
512             for k in range(len(erg)):
513                 zahl=-1
514                 for l in range(len(erg)):
515                     if abs(erg[k][0]-erg[l][0])<cc_reject*cc_deltaw:
516                         zahl+=1
517                 winkel.append([zahl,erg[k][0],erg[k][1],erg[k][2]])
518             if winkel==[]: #noch nicht ausreichend gefunden
519                 weiter+=1
520             continue
521             winkel.sort(reverse=1) #meisten Uebereinstimmungen nach oben
522             help=0
523             for k in winkel:
524                 if winkel[0][0]-20>k[0]: #testen bis 20 Uebereinstimmungen weniger
525                     break
526                 if abs(winkel[0][1]-k[1])>5*cc_reject*cc_deltaw: #ob immer ein aehnlicher Winkel
527                     herauskommt
528                     help=1
529                     break
530             if help==1: #Winkel noch nicht eindeutig
531                 weiter+=1
532             continue
533             test=[]
534             for k in erg:
535                 if abs(k[0]-winkel[0][1])<cc_reject*cc_deltaw:
536                     test.append(k)
537             else:
538                 test=erg
539             abstand=[] #Abstandsuche durchfuehren, ob ausreichend vorhanden
540             for k in range(len(test)):

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

535     zahl=0
536     for l in range(len(test)):
537         if abs(test[k][l]-test[l][1])<cc_reject*cc_deltar and abs(test[k][2]-test[l][2])<
            cc_reject*cc_deltar:
538             zahl+=1
539         abstand.append([zahl, test[k][0], test[k][1], test[k][2]])
540     if abstand==[]: #noch nicht ausreichend gefunden-> weiter
541         weiter+=1
542     continue
543 abstand.sort(reverse=1) #meisten Uebereinstimmungen nach oben
544 help=0
545 for k in abstand:
546     if abstand[0][0]-50>k[0]: #testen bis 50 Uebereinstimmungen weniger
547         break
548     if abs(abstand[0][2]-k[2])>5*cc_reject*cc_deltar and abs(abstand[0][3]-k[3])>5*cc_reject*
            cc_deltar: #ob immer ein aehnlicher Abstand herauskommt
549         help=1
550         break
551     if help==1: #Abstand noch nicht eindeutig
552         weiter+=1
553     continue
554 l=0
555 for k in test:
556     if abs(k[1]-abstand[0][2])<cc_reject*cc_deltar and abs(k[2]-abstand[0][3])<cc_reject*
            cc_deltar:
557         l+=1
558     if l>cc_abbruch or weiter==cc_abbruch:
559         abbruch='true'
560         break #Ausreichend Werte fuer Ergebnis vorhanden-> Abbruch
561     else:
562         weiter+=1 #noch nicht ausreichend vergleichsterne gefunden
563     if abbruch=='true':
564         abbruch='%5.0i'%(cc_abbruch*weiter)
565         break #Ausreichend Werte fuer Ergebnis vorhanden
566 if cc_rota=='true':
567     winkel=[]
568     for i in range(len(erg)):
569         zahl=0
570         for j in range(len(erg)):
571             if abs(erg[i][0]-erg[j][0])<cc_reject*cc_deltaw or abs(abs(erg[i][0]-erg[j][0])-2*math.pi)
                <cc_reject*cc_deltaw:
572                 zahl+=1
573         winkel.append([zahl, i])
574     if winkel==[]:
575         print "no congruence found (searching angles):", line
576         write_logfile(logfile, line+'no congruence found searching angle, '+str(min(len(neucoords),
            cc_maxi))+', Gaia-detections used, '+str(len(erg))+', congruences with reference found')
577         problem.append(line)
578     continue
579     winkel.sort(reverse=1) #nach groesster Nennung
580     rotphi=erg[winkel[0][1]][0] #Haeufigster Winkel
581     for i in range(len(erg)-1,-1,-1):
582         if abs(erg[i][0]-rotphi)>cc_reject*cc_deltaw and abs(abs(erg[i][0]-rotphi)-2*math.pi)>
            cc_reject*cc_deltaw:
583             del erg[i]
584     abstand=[]
585     for i in range(len(erg)):
586         zahl=0
587         for j in range(len(erg)):
588             if abs(erg[i][1]-erg[j][1])<cc_reject*cc_deltar and abs(erg[i][2]-erg[j][2])<cc_reject*
                cc_deltar:
589                 zahl+=1
590         abstand.append([zahl, i])
591     if abstand==[]:
592         print "no congruence found (searching separation):", line
593         write_logfile(logfile, line+'no congruence found searching separation, '+str(min(len(neucoords),
            cc_maxi))+', Gaia-detections used, '+str(len(erg))+', congruences with reference found\n'
            )
594         problem.append(line)
595     continue
596     abstand.sort()
597     verschiebx=erg[abstand[-1][1]][1] #Haeufigster Abstand
598     verschieby=erg[abstand[-1][1]][2]
599     winkel=[]
600     deltax=[]
601     deltay=[]
602     for zeile in erg:
603         if abs(zeile[1]-verschiebx)<cc_reject*cc_deltar and abs(zeile[2]-verschieby)<cc_reject*
            cc_deltar:
604             winkel.append(zeile[0])
605             deltax.append(zeile[1])
606             deltay.append(zeile[2])
607     if min(winkel)+6<max(winkel): #Falls bester Winkel bei 0, dann Unstetigkeit zwischen 0 und 2Pi
        beheben
608         for i in range(len(winkel)):
609             if winkel[i]>3:
610                 winkel[i]-=2*math.pi
611     winkel.sort()
612     deltax.sort()
613     deltay.sort()
614     phi=winkel[len(winkel)/2]
615     median=[deltax[len(deltax)/2], deltay[len(deltay)/2]]
616     temp=line+', Angle %8.5f %phi+', center[0,0], dx=%6.2f %median[0]+', dy=%6.2f %median[1]+',
        number of comparison=%4.0i %len(winkel)+', Problems with angle=%3.0i %prob+ 'stopped after
        '+abbruch
617     write_logfile(logfile, temp)
618     print temp

```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

619     if len(winkel)>=cc_minnr: #ausreichend der Dreiecke gefunden: erst cc_maxi/2, CTK-II:5s->
620         cc_maxi/6 -> 3
621     cDatei=open("coords/"+c "+line[: -5], 'w')
622     for l in range(maxnummer): #reduzierten Bilder->Koordinaten Dateien
623         zeile=refcoords[1]
624         x=zeile[0]+median[0]
625         y=zeile[1]+median[1]
626         cDatei.write('%2.2f'%(x*math.cos(phi)-y*math.sin(phi)+ '\t%2.2f'%(x*math.sin(phi)+y*math.
627             cos(phi))+'\t'+zeile[2]+'\\n')
628     cDatei.close()
629     lst_all.append(line)
630 else:
631     problem.append(line)
632 file.close()
633 if problem<>[]:
634     file=open('probleme_cross_cor','a')
635     for line in problem:
636         file.write(line+'\\n')
637     file.close()
638 file=open("lst_"+band+exptime,'w') #Entfernen schlechter Bilder aus Liste
639 for i in range(len(lst_all)):
640     if lst_all[i] not in problem:
641         file.write(lst_all[i]+'\\n')
642     file.close()
643 file=open("nr_to_name "+str(maxnummer-1),'w')
644 for i in range(maxnummer-1): #stern 1 auslassen
645     file.write(str(i+1)+'\\t'+refcoords[i+1][2]+'\\n')
646 file.close()
647 FWHM.sort() #Mittlere FWHM bestimmen
648 if len(FWHM)==1:
649     val_FWHM=FWHM[0]
650 elif len(FWHM)==2:
651     val_FWHM=(FWHM[0]+FWHM[1])/2
652 elif len(FWHM)==3:
653     val_FWHM=(FWHM[0]+FWHM[1]+FWHM[2])/3
654 else:
655     val_FWHM=(FWHM[ len(FWHM)/2 ],FWHM[ len(FWHM)/2]*3, len(FWHM) ]
656     for i in range(val_FWHM[2]): #Rejection
657         if FWHM[val_FWHM[2]-1-i]>val_FWHM[1]:
658             del FWHM[val_FWHM[2]-1-i]
659     val_FWHM=FWHM[ len(FWHM)/2 ]
660 file=open("status.log",'a')
661 if val_FWHM>maxapertur:
662     file.write("FWHM-Original="+str(val_FWHM)+'\\n')
663     val_FWHM=round(maxapertur/1.2,2)
664 file.write("Cross-cor"+band+exptime+"\\nmaxnummer"+band+exptime+"="+str(maxnummer)+ "\\nFWHM"+band+
665     exptime+"="+str(val_FWHM)+'\\n')
666 file.close()
667 def aperturtesting(camera, band, exptime, site, start_iraf, FWHM, apt_steps, apt_multi_FWHM,
668     apt_maximages, apt_startstar, apt_minstars, apt_reject, maxapertur, mingood, maxgood, gainkw,
669     readnoise, gain, header_exposure, jd):
670     versio="28.01.14"
671     #os.system('find -maxdepth 1 -name "*"'+band+'_'+exptime+'.fits.fz" -exec /pastro/scisoft/bin/
672     funpack -D {} \\;')
673     os.system('find _maxdepth 1 _name_"*'+band+'_'+exptime+'.fits.bz2" _exec_bunzip2 _fq_{ } \\;')
674     os.system('find _coords/_name_"*'+band+'_'+exptime+'.bz2" _exec_bunzip2 _q_{ } \\;')
675     write_logfile(logfile,'Aperturtesting (Version:'+versio+'): '+band+exptime+' '+time.strftime("%H:%M:%S",
676         time.localtime())+'\\nSteps'+str(apt_steps)+' '+Range=(0.7...'+str(apt_multi_FWHM)
677         +')FWHM, _Maximum_number_of_images_used'+str(apt_maximages)+' _minimum_number_of_stars_used'+
678         str(apt_minstars)+' _Rejection_of_the_stars_with_standard_deviation>'+str(apt_reject)+'
679         _of_the_value_of_the_star_at_position len(liste)/5, _Maximum_aperture'+str(maxapertur))
680     file=open("uparm/datdataps.par",'w')
681     file.write('scale,r,h,1.,0.,,Image_scale_in_units_per_pixel\\nfwhmpsf,r,h,'+str(FWHM)+'0.,,FWHM
682         _of_the_PSF_in_scale_units\\nemission,b,h,yes,,,Features_are_positive?\\nsgamma,r,h,0.,0.,,
683         Standard_deviation_of_background_in_counts\\ndatamin,r,h,'+mingood+',,,'Minimum_good_data
684         value\\ndatamax,r,h,'+maxgood+',,,'Maximum_good_data_value\\nnoise,s,h,"poisson"|poisson
685         |,,"Noise_model\\ncdread,s,h,"",,"CCD_readout_noise_image_header_keyword"\\ngain,s,h,"'+
686         gainkw+",,,"CCD_gain_image_header_keyword"\\nreadnoise,r,h,'+readnoise+',,,"CCD_readout_noise
687         _in_electrons\\nepadu,r,h,'+gain+',,,"Gain_in_electrons_per_count\\nexposure,s,h,"'+
688         header_exposure+",,,"Exposure_time_image_header_keyword"\\nairmass,s,h,"",,,"Airmass_image_
689         header_keyword"\\nfilter,s,h,"FILTER",,,"Filter_image_header_keyword"\\nobstime,s,h,"'+jd+'
690         ",,,"Time_of_observation_image_header_keyword"\\nitime,r,h,1.,,,"Exposure_time\\nxairmass,r,h,
691         INDEF,,,"Airmass\\nifilter,s,h,INDEF,,,"Filter\\notime,s,h,INDEF,,,"Time_of_observation"\\
692         nmode,s,h,"q1",,,'\\n')
693     file.close()
694     nonvar=[]
695     if os.path.isfile('nonvar')==True:
696         file=open('nonvar','r') #read the file with the constant stars
697         for line in file: #vergleich mit c_-File, wo auf jeden Fall die richtigen Nummern stehen
698             nonvar.append(int(line[: -1]))
699         file.close()
700     else: #create list if not existing
701         nonvar.append(0)
702         print "no_file_nonvar_found"
703     i=0
704     temp=''
705     file=open('refcoords_'+exptime,'r') #add more stars to nonvar, if necessary
706     for line in file:
707         if line.find('#')==0:
708             continue
709         line=line.split()
710         if line==[]:
711             continue
712         line[2]=int(line[2])
713         if line[2] in nonvar:
714             i+=1

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

695     if line[2]>nonvar[-1]:
696         nonvar.append(line[2])
697         temp=temp+' '+str(line[2])
698         #print "Stern "+str(line[2])+" zu nonvar hinzugefuegt"
699         i+=1
700     if i>apt_minstars+apt_startstar:
701         break
702     if temp<>'':
703         print "stars_"+temp+"_added_to_nonvar"
704     file.close()
705     images=[]
706     file=open('lst_'+band+exptime,'r')
707     for line in file:
708         images.append(line[:-1])
709     file.close()
710     if len(images)<=1: #nur ein Bild
711         write_logfile(logfile,'only_one_image,_use_2*FWHM')
712         aperture=FWHM*2
713         os.system('find -maxdepth 1 -name "*'+band+'_'+exptime+'*" -exec rm {} \;')
714         os.system('find -maxdepth 1 -name "*mag.1*" -exec rm {} \;')
715         os.system('find -maxdepth 1 -name "*_magnit*" -exec rm {} \;')
716         file=open("status.log",'a')
717         if aperture>maxapertur:
718             file.write("Apertur-Original="+str(round(aperture,2))+'\n')
719             aperture=maxapertur
720         file.write("Apertur-Test"+band+exptime+"\nApertur"+band+exptime+"=" +str(round(aperture,2))+"\n")
721     file.close()
722     return
723 while len(images)>apt_maximages:
724     del images[random.randrange(10,len(images)-10)]
725 for image in images: #c_* Files anpassen, so dass nur nonvar enthalten
726     coords=[]
727     i=0
728     file=open('coords/c_'+image[:-5],'r')
729     for line in file:
730         i+=1
731         if i<apt_startstar:
732             continue
733         temp=line.split()
734         if int(temp[2]) in nonvar or temp[2]=='1':
735             coords.append(line)
736     file.close()
737     file=open('c_'+image[:-5],'w')
738     for line in coords:
739         file.write(line)
740     file.close()
741     file=open('lst_ap_'+band+exptime,'w')
742     for image in images:
743         file.write(image+'\n')
744     file.close()
745     #file=open('lst_coords','w')
746     #for image in images:
747     #    file.write('c_'+image[:-5]+''\n')
748     #file.close()
749     apertures='' #liste mit aperturen erzeugen
750     for step in range(apt_steps):
751         apertures=apertures+' '+str(round(FWHM*(0.7+(apt_multi_FWHM-0.7)*step/(apt_steps-1)),2))
752     file=open("uparm/datphotps.par",'w')
753     file.write('weighting,s,h,constant',|constant|,,"Photometric_weighting_scheme"\napertures,s,h,"'+
754         apertures[1:]+',"List of aperture radii in scale units"\nzmag,r,h,25.,"Zero point of
755         magnitude scale"\nmkapert,b,h,no,,"Draw apertures on the display"\nmode,s,h,"ql",,\n')
756     file.close()
757 #os.system('find -maxdepth 1 -name "*mag.*" -delete') #clears the folder from old mag.* files
758 print "Aperturtest-IRAF-Photometry_is_started"
759 child=pexpect.spawn(start_raf)
760 i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
761 print child.before
762 if i<>0:
763     child.sendline('setinstrument ("'+camera+'",_site="'+site+'",_directo="home$",_review=no,_query
764     ="'+camera+'")')
765     i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
766     print child.before
767 if i<>0:
768     print "Starte_Photometry_Aperturtest"
769     #child.sendline('chphot ("lst_ap_'+band+exptime+'", refmag="", refcoor="refcoords_'+exptime+'",
770     interac=no, verbose=no, bestaet=no, list1="", list2="")')
771     #print 'chphot ("lst_ap_'+band+exptime+'", refmag="", refcoor="refcoords_'+exptime+'",interac=
772     no, verbose=no, bestaet=no, list1="", list2="")'
773     child.sendline('ownphot ("lst_ap_'+band+exptime+'")')
774     i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
775 if i<>0:
776     child.sendline('logout')
777     i=child.expect([pexpect.EOF])
778     #print child.before #zeigt Ergebnisse der Photometry an
779 errors=[0]*apt_steps
780 daten=[]
781 probimage=[]
782 indefstate=[]
783 for image in images: #Ergebnis IRAF-Photometry einlesen
784     star=[]
785     indefs=0
786     file=open(image[:-5]+'_magnit','r')
787     for line in file:
788         line=line.split('\n')
789         temp=[]
790         help=0

```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

786     for step in range(apt_steps):
787         if line[step+1]== 'INDEF':
788             temp.append(100000)
789             help=1
790         else:
791             temp.append(float(line[step+1]))
792         indefs+=help
793         star.append(temp)
794     file.close()
795     indefstate.append(indef) #wie viele Sterne INDEF pro Bild
796     daten.append(star)
797 for j in range(5):
798     mittel=sum(i for i in indefstate)/(0.0+len(indefstate))
799     stabw=math.sqrt(sum((i-mittel)**2 for i in indefstate)/(len(indefstate)-1))
800     abbruch=True
801     for i in range(len(indefstate)-1,-1,-1):
802         if indefstate[i]>mittel+stabw*apt_reject: #Bilder aussortieren, wo mehr Sterne INDEF als im
803             Mittel+stabw*apt_reject, +1, um
804             print images[i][:-5]+'_magnit_ contains _too_many_INDEF: ', indefstate[i], ', _Mittel=', mittel, ', _
805                 Stabw=', stabw, '_->_not_used'
806             del daten[i]
807             del indefstate[i]
808             probimage.append(images[i])
809             abbruch=False
810         if abbruch==True:
811             break
812     ergstabw=[]
813     stern=[]
814 for l in daten[0]:
815     stern.append([0]*apt_steps)
816 for step in range(apt_steps):
817     stabw=[]
818     for i in range(len(daten[0])-1): #jeden Stern (ohne letzten)
819         for j in range(i+1,len(daten[0])): #mit (fast) jedem Stern
820             help=0
821             temp=[]
822             for m in range(len(images)-len(probimage)): #in jedem Bild vergleichen
823                 if daten[m][i][step]>100 or daten[m][j][step]>100:
824                     help=1
825                     break
826                 temp.append(daten[m][i][step]-daten[m][j][step])
827             if help==1:
828                 #if i<20:
829                 # print step, i, j, m, daten[m][i][step], daten[m][j][step]
830                 continue
831             mittel=sum(l for l in temp)/len(temp)
832             stdev=math.sqrt(sum((l-mittel)**2 for l in temp)/(len(temp)-1))
833             stern[i][step]+=stdev
834             stern[j][step]+=stdev
835             stabw.append([stdev, i, j]) #Standardabweichung zwischen 2 Sternen
836         ergstabw.append(stabw) # Alle Standardabweichungen fuer eine Appertur
837     ergstern=[]
838     notuse=[]
839 for j in range(len(stern)):
840     help=0
841     for step in range(apt_steps):
842         if stern[j][step]==0:
843             help=1
844         if help==0:
845             ergstern.append([sum(i for i in stern[j]), j])
846         else:
847             notuse.append(j)
848     ergstern.sort()
849 if len(ergstern)<5:
850     print "almost_all_stars_INDEF_somewhere_->_problem_und_end", band+'_' +exptime
851     exit(1)
852 for i in range(len(ergstern)/2, len(ergstern)):
853     if ergstern[i][0]>apt_reject*ergstern[len(ergstern)/5][0]:
854         notuse.append(ergstern[i][1])
855     ergstabw1=[]
856 for step in range(apt_steps):
857     stabw=[]
858     for line in ergstabw[step]:
859         if line[1] not in notuse and line[2] not in notuse:
860             stabw.append(line[0])
861     stabw.sort()
862     ergstabw1.append([stabw[len(stabw)/2], step])
863 temp=''
864 for i in ergstabw1:
865     temp=temp+'_%.7.5f'%i[0]
866 print ergstabw1
867 ergstabw1.sort()
868 write_logfile(logfile, 'zu_viele_INDEF_in_' +str(probimage)+'\nBest_result: _Stabw=_.7.5f'%ergstabw1
869 [0][0]+'_bei_' +str(ergstabw[0][1])+'_ _Alle_Ergebnisse, _unsortiert: _'+temp[2:])
870 aperture=FWHM*(0.7+(apt_multi_FWHM-0.7)*ergstabw1[0][1]/(apt_steps-1))
871 os.system('find _maxdepth_1_name_"c_*'+band+'_' +exptime+'*_exec_rm_{ }_&')
872 os.system('find _maxdepth_1_name_"*.mag.1*_exec_rm_{ }_&')
873 os.system('find _maxdepth_1_name_"*_magnit*_exec_rm_{ }_&')
874 file=open("status.log", 'a')
875 if aperture>maxapertur:
876     file.write("Apertur-Original="+str(round(aperture, 2))+'\n')
877     aperture=maxapertur
878 file.write("Apertur-Test"+band+exptime+"\nApertur"+band+exptime+"=" +str(round(aperture, 2))+"\n")
879 file.close()

```

ANHANG B. QUELLCODE

```
878 #routinen_reduktion.irafphot(camera, band, exptime, site, start_iraf, FWHM, aperture, mingood[
      nr_setting], maxgood[nr_setting], gainkw[nr_setting], readnoise[nr_setting], gain[nr_setting],
      header_exposure)
879 def irafphot(camera, band, exptime, site, start_iraf, FWHM, aperture, mingood, maxgood, gainkw,
      readnoise, gain, header_exposure, jd):
880     versio="01.02.12"
881     images=[]
882     file=open('lst_'+band+exptime+'.r')
883     for line in file:
884         images.append(line[:-1])
885     file.close()
886     for line in os.popen('find -maxdepth 1 -name "c_*'+band+'_'+exptime+'*').readlines():
887         print "Found coordinate files c_*_(and probably *_magnit-files) in the folder -> delete or move
            them before restarting"
888         exit(1)
889     for line in os.popen('find -maxdepth 1 -name "c_*'+band+'_'+exptime+'*magnit').readlines():
890         print "Found *_magnit-files in the folder -> delete or move them before restarting"
891         exit(1)
892     #os.system('find -maxdepth 1 -name "*'+band+'_'+exptime+'.fits.fz" -exec /pastro/scisoft/bin/
            funpack -D {} \;')
893     os.system('find -maxdepth 1 -name "*'+band+'_'+exptime+'.fits.bz2" -exec bunzip2 -fq {} \;')
894     os.system('find -coords -name "c_*'+band+'_'+exptime+'.bz2" -exec bunzip2 -q {} \;')
895     os.system("mkdir -p magnit")
896     for line in os.popen('find magnit -name "c_*'+band+'_'+exptime+'*').readlines():
897         os.system("mkdir -p oldmagnitold\nmv "+line[:-1]+"_oldmagnitold/")
898     os.system('find -coords -name "c_*'+band+'_'+exptime+'*" -exec mv {} \;')
899     write_logfile(logfile, 'IRAF-Photometry (Version='+versio+'):'+band+exptime+'::'+time.strftime(
            "%H:%M:%S", time.localtime()))
900     file=open("uparm/datphotps.par", 'w')
901     file.write('weighting,s,h,constant|,|constant|,|Photometric_weighting_scheme"\napertures,s,h,"'+
            aperture+"",,,"List of aperture radii in scale units"\nzmag,r,h,25.,,,"Zero point of
            magnitude_scale"\nmkapert,b,h,no.,,,"Draw apertures on the display"\nmodes,s,h,"ql",,,"n')
902     file.close()
903     temp=[]
904     file=open("uparm/datdataps.par", 'w')
905     file.write('scale,r,h,1.,0.,,"Image scale in units per pixel"\nfwhmpsf,r,h,'+str(FWHM)+'.0.,,"FWHM
            of the PSF in scale units"\nemission,b,h,yes,,,"Features are positive?"\nnsigma,r,h,0.,0.,,
            "Standard deviation of background in counts"\ndatamin,r,h,'+mingood+',,,"Minimum good data
            value"\ndatamax,r,h,'+maxgood+',,,"Maximum good data value"\nnoise,s,h,"poisson",|poisson
            |,,"Noise model"\nccdread,s,h,"",,,"CCD readout noise image header keyword"\ngain,s,h,"'+
            gainkw+",,,"CCD gain image header keyword"\nreadnoise,r,h,'+readnoise+',,,"CCD readout noise
            in electrons"\nepadu,r,h,'+gain+',,,"Gain in electrons per count"\nexposure,s,h,"'+
            header_exposure+",,,"Exposure time image header keyword"\nairmass,s,h,"",,,"Airmass image
            header keyword"\nfilter,s,h,"FILTER",,,"Filter image header keyword"\nobstime,s,h,'+jd+'
            ",,,"Time of observation image header keyword"\nitime,r,h,1.,,,"Exposure time"\nairmass,r,h,
            INDEF,,,"Airmass"\nifilter,s,h,INDEF,,,"Filter"\notime,s,h,INDEF,,,"Time of observation"
            \nmodes,s,h,"ql",,,"n')
906     file.close()
907     #os.system('find -maxdepth 1 -name "*.mag.*" -delete') #clears the folder from old mag.* files
908     print "IRAF-Photometry is started" #Photometry with IRAF
909     child=pexpect.spawn(start_iraf)
910     i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
911     print child.before
912     if i<>0:
913         child.sendline('setinstrument("'+camera+'",,site="'+site+'",directo="home$",,review=no,,query
            ="'+camera+'")')
914     i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
915     print child.before
916     if i<>0:
917         print "Starte Photometry (optimale Apertur)"
918         #child.sendline('chphot ("lst_'+band+exptime+'", refimag="", refcoor="refcoords_'+exptime+'",
            interac=no, verbose=no, bestaet=no, list1="", list2="")')
919         child.sendline('ownphot("lst_'+band+exptime+'")')
920         i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
921         print child.before
922         if i<>0:
923             child.sendline('logout')
924         i=child.expect([pexpect.EOF])
925         print child.before #zeigt Ergebnisse der Photometry an
926         print "IRAF-photometrie done, replace INDEF in magnit-files with +/-100000"
927         ohnejd=[]
928         i=100000
929         for image in images:
930             temp=[]
931             magnit=open(image[:-5]+'_magnit') #INDEF in +/-10000 ersetzen
932             for zeile in magnit:
933                 pos=zeile.find('INDEF') #erstes Vorkommen suchen
934                 if pos<=6 and pos>0:
935                     zeile=zeile[:pos]+'_'+str(i)+zeile[pos+7:]
936                     zeile=zeile.replace('INDEF','100000') #alle anderen INDEFs ersetzen
937                 temp.append(zeile)
938             line=zeile.split(' ') #Nur einmal testen, ob JD fehlt
939             if line[3]=="100000": #JD fehlt
940                 ohnejd.append(image)
941             magnit.close()
942             magnit=open('magnit/'+image[:-5]+'_magnit','w') #geaenderte Magnitdatei schreiben
943             for zeile in temp:
944                 magnit.write(zeile)
945             magnit.close()
946             i=-1*i
947         if len(ohnejd)>0: #Fehlerbehandlung JD fehlt
948             print "JD_missing",ohnejd,"JD_missing"
949             for line in ohnejd:
950                 write_logfile(logfile, line+"::JD_is_missing")
951             print ":::::::::::JD_is_missing in some files, please check logfile"
952         i=0
953         for line in os.popen('find -maxdepth 1 -name "c_*'+band+'.1').readlines():
```


ANHANG B. QUELLCODE

```

    Dates\ntrue use all CS?\n2999 number_of_CS_to_use\n2 list
of_cs_to_use_in_original_positions\n")
1042 file.close()
1043 i=cps_multirange[0] #Gitter schreiben
1044 multir=[i]
1045 while i<cps_multirange[1]:
1046     i+=cps_multirange[2]
1047     multir.append(i)
1048 i=cps_noninstrange[0]
1049 nonis=[i]
1050 while i<cps_noninstrange[1]:
1051     i+=cps_noninstrange[2]
1052     nonis.append(i)
1053 temp='' #logfile schreiben
1054 for i in multir:
1055     temp=temp+', '+str(round(i,5))
1056 temp=temp[2:]+', ', Noninstrumental_errors=[
1057 for i in nonis:
1058     temp=temp+str(round(i,5))+', '
1059 write_logfile(logfile, 'Chrisphotsettings (Version='+versio+') '+band+exptime+" "+time.
    strftime("%H:%M:%S", time.localtime())+'\nMaxsterne='+str(cps_maxsterne)+' Step 1 (grob):
    Fehler-Multiplikator='+temp[2:]+')
1060 os.system('find '+magordner+'-name "*'+band+'_'+exptime+'_'magnit'.bz2"-exec bunzip2 -q {} \;')
1061 images=[]
1062 file=open('lst_'+band+exptime, 'r')
1063 for line in file:
1064     if line[:6]+'_'magnit\n' not in rejected: #only images, which are not in rejected
1065         images.append(magordner+line[-1])
1066 file.close()
1067 magnits=[]
1068 indefstate=[]
1069 tempimage=[]
1070 problem=[[], []]
1071 for image in images: #read results of IRAF-photometry
1072     nr=0
1073     magnit=[]
1074     if os.path.isfile(image[:-5]+'_'magnit')==True:
1075         file=open(image[:-5]+'_'magnit', 'r')
1076         indefs=0
1077         for line in file:
1078             if line[:21].find('100000')>0:
1079                 indefs+=1
1080             magnit.append(line)
1081             nr+=1
1082             if nr>cps_maxsterne*2:
1083                 break
1084         file.close()
1085         #print image, len(magnit)
1086         magnits.append(magnit)
1087         indefstate.append(indef)
1088         tempimage.append(image)
1089     else:
1090         print "unable to open "+image[:-5]+'_'magnit'->not used"
1091         problem[0].append(image[:-5]+'_'magnit")
1092 mittel=1.0*sum(i for i in indefstate)/len(indefstate) #1.0*, da sonst mittel 0 werden kann
1093 for i in range(len(indefstate)-1,-1,-1):
1094     if indefstate[i]>mittel*2: #kein Ausreiser der Sterne INDEF
1095         del magnits[i]
1096         print tempimage[i][:-5]+'_'magnit' contains too many INDEF->not used'
1097         problem[1].insert(0, tempimage[i][:-5]+'_'magnit")
1098 todel=[]
1099 for magnit in magnits: #Aussortieren der Sterne welche irgendwann mal indef waren
1100     for i in range(len(magnit)):
1101         if magnit[i][:21].find('100000')>0:
1102             if i not in todel:
1103                 todel.append(i)
1104 todel.sort()
1105 write_logfile(logfile, 'does not exist: '+str(problem[0])+'\ntoo many INDEFs: '+str(problem[1])+'\
    nNumber_of_stars_with_INDEF: '+str(len(todel)))
1106 for i in range(len(todel)-1,-1,-1): #Entfernen der INDEF-Sterne fuer alle Magnitfiles
1107     for j in range(len(magnits)):
1108         #print len(todel), len(magnits), len(magnits[j]), i, j, todel[i]
1109         del magnits[j][todel[i]]
1110 startstern=50
1111 if cps_maxsterne<80:
1112     startstern=1
1113 while len(magnits[0])>cps_maxsterne: #Beschraenken auf maxsterne
1114     todel=random.randrange(startstern, len(magnits[0])) #zu viele Sterne entfernen, hellste behalten
1115     for j in range(len(magnits)):
1116         del magnits[j][todel]
1117 while len(magnits)>cps_maximages: #Beschraenken auf maximal 1000 Dateien
1118     del magnits[random.randrange(len(magnits))]
1119 for j in range(len(magnits)): #schreiben der kurzen Magnitfiles
1120     file=open('test_%3.3i'%j+'_'magnit', 'w')
1121     for i in range(len(magnits[j])):
1122         file.write(str(i+1)+magnits[j][i][magnits[j][i].find(' '):])
1123     file.close()
1124 file=open('Tfiles', 'w')
1125 for j in range(len(magnits)):
1126     file.write('test_%3.3i'%j+'_'magnit\n')
1127 file.close()
1128 maxsterne=len(magnits[0])
1129 if maxsterne<=2:
1130     print "not enough stars"
1131 return
1132 possible_phot=[] #copy the best matching photometry executable
1133 for line in os.popen('ls -dl '+path_photometry+'_*').readlines():

```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

1134     line=line[:-1].split('/')
1135     line=line[-1].split('_')
1136     try:
1137         temp=int(line[0])*int(line[1])
1138     except:
1139         continue
1140     if int(line[0])>maxnummer and int(line[1])>len(magnits):
1141         possible_phot.append([temp,line[0],line[1]])
1142 if possible_phot<>[]: #if no executable is found, then assume it was copied by user
1143     possible_phot.sort()
1144     os.system("cp"+path_photometry+possible_phot[0][1]+"_"+possible_phot[0][2]+"/photometry.")
1145     write_logfile(logfile,"cp"+path_photometry+possible_phot[0][1]+"_"+possible_phot[0][2]+"/
photometry.")
1146 else:
1147     print "no_matching_executable_for_photometry:>>",maxnummer,">>",len(magnits)
1148 print "Photometry_on_"+str(maxsterne)+"_stars_"+str(len(magnits))+_images,_Step_1,_'+time.
strftime("%d.%m.%Y%H:%M:%S", time.localtime())
1149 behalten=[]
1150 if len(magnits)<=2:
1151     print "too_less_images_"+band+exptime
1152     return
1153 elif len(magnits)>4:
1154     photos=photoschritt
1155 else:
1156     photos='n'
1157 for k in range(2):
1158     ergstabw=behalten[: ]
1159     for multi in multir:
1160         for noninst in nonis:
1161             file=open("Tsettings.dat",'w') #Schreiben der Settingsdatei
1162             file.write("1.....object_line\n2.....first_cs_line\n"+str(noninst)+".....
non_instrumental_error\n"+str(multi)+".....Value_to_multiply_all_errors\n0...
Offset_for_Julian_Dates\ntrue.....use_all_CS?\n2999.....number_of_CS...
to_use\n2.....list_of_cs_to_use_in_original_positions\n")
1163         file.close()
1164         probs=False
1165         for i in range(100):
1166             proc=subprocess.Popen(['python', 'routinen_reduktion_cont-phot.py',str(os.getpid())])
1167             pexpect.run('nice-n2./photometry_T', events={'Repeat_calculation_with_new_weights_(y/n
/)?':photos})
1168             os.system('kill'+str(proc.pid))
1169             #os.system('python '+path_python+'routinen_reduktion_photometry.py T '+photos+' &')
1170             if os.path.isfile('dphotTfull'+str(maxsterne-1))==True:
1171                 file=open('dphotTfull'+str(maxsterne-1),'r') #Datei vorhanden?
1172                 probs=False
1173                 for line in file:
1174                     if line.find('NaN**')>-1: #NaNs in Datei?
1175                         probs=True
1176                 file.close()
1177                 if probs==False:
1178                     break
1179                 probs=True
1180                 print "dphot-Datei_was_not_created_with_settings:",photos,"->try_other"
1181                 if photos=='!':
1182                     photos='yyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyn'
1183                 elif photos=='n':
1184                     print "Error_at_the_first_step./photometry_T"
1185                     write_logfile(logfile,"Error_at_the_first_step./photometry_T")
1186                     photos='not_successful'
1187                     break
1188                 else:
1189                     photos=photos[1:]
1190             os.system('ls_dphot*')
1191             if probs==True:
1192                 write_logfile(logfile,'!_Problem_with_photsettings,_working_setting:_'+photos)
1193             erg=[[],[]]
1194             file=open('dphotTfull'+str(maxsterne-1),'r')
1195             for line in file:
1196                 if line.find('avg_error:')>0:
1197                     line=line[line.find('avg_error:')+11:-1]
1198                     line=line.split()
1199                     del line[0]
1200                     for i in range(len(line)):
1201                         line[i]=float(line[i])
1202                     erg[0]=line
1203                     continue
1204                 if line.find('std.dev:')>0:
1205                     line=line[line.find('std.dev:')+10:-1]
1206                     line=line.split()
1207                     del line[0]
1208                     for i in range(len(line)):
1209                         line[i]=float(line[i])
1210                     erg[1]=line
1211             file.close()
1212             os.system('rm_dphot*')
1213             temp=[]
1214             for i in range(len(erg[0]))[:-1]:
1215                 temp.append(abs(erg[1][i]-erg[0][i]))
1216             for j in range(3):
1217                 av=np.mean(temp)
1218                 stabw=np.std(temp,ddof=1)
1219                 for i in range(len(temp))[:-1]:
1220                     if temp[i]>av+3*stabw:
1221                         del temp[i]
1222             ergstabw.append([sum(temp),multi,noninst])
1223         temp=''
1224     for line in ergstabw:

```

ANHANG B. QUELLCODE

```
1225     temp+= '%7.4f' % line[0] + ', '
1226     ergstabw.sort()
1227     write_logfile(logfile, 'Bestresult: Stabw=' + str(ergstabw[0][0]) + ' bei ' + str(ergstabw[0][1]) + ',
1228     ' + str(ergstabw[0][2]) + ' , Alle Ergebnisse , unsortiert: ' + temp[:-2])
1229     if k==0: #settings for the fine grid
1230         for line in ergstabw:
1231             if abs(round(line[1]-ergstabw[0][1],5))<=cps_multirange[2] and abs(round(line[2]-ergstabw
1232             [0][2],5))<=cps_noninstrange[2]:
1233                 behalten.append(line)
1234             i=ergstabw[0][1]+cps_multirange[2]*(-1+1.0/cps_finesteps) #Startwert
1235             multir=[i]
1236             while i<ergstabw[0][1]+cps_multirange[2]*(1-1.0/cps_finesteps): #Bis zum Endwert
1237                 i+=cps_multirange[2]/cps_finesteps
1238                 multir.append(i)
1239                 i=ergstabw[0][2]+cps_noninstrange[2]*(-1+1.0/cps_finesteps)
1240                 nonis=[i]
1241                 while i<ergstabw[0][2]+cps_noninstrange[2]*(1-1.0/cps_finesteps):
1242                     i+=cps_noninstrange[2]/cps_finesteps
1243                     nonis.append(i)
1244                 print 'Step_2'+time.strftime("%d.%m.%Y%H:%M:%S", time.localtime())
1245                 temp=' ' #logfile schreiben
1246                 for i in multir:
1247                     temp=temp+', '+str(round(i,5))
1248                 temp=temp+', ' + str(round(ergstabw[0][1],5))
1249                 temp=temp+', ' + str(round(ergstabw[0][2],5))
1250                 os.system('rm_test_*_magnit*')
1251                 print "chris-multiply=", round(ergstabw[0][1],5), "\tchris-noninstrumental=", round(ergstabw
1252                 [0][2],5)
1253                 write_logfile("status.log", "Chrisphotsettings"+magordner[:-1]+band+exptime+"\nchris-multiply"+
1254                 magordner[:-1]+band+exptime+" "+str(round(ergstabw[0][1],5))+"\nchris-noninstrumental"+
1255                 magordner[:-1]+band+exptime+" "+str(round(ergstabw[0][2],5)))
1256 #chrisphot(camera,band,exptime, path, path_photometry, path_idl, path_plotstars, photschritt,
1257 #maxnummer, rejected)
1258 def chrisphot(camera,band,exptime, path, path_photometry, path_idl, path_plotstars, photschritt,
1259 #maxnummer, rejected, magordner, jds, cp_nrstarrej, cp_maximarej):
1260     versio="24.04.14"
1261     write_logfile(logfile, 'Chris_Photometry_(Version='+versio+'):' + band+exptime+" " + time.strftime
1262     ("%H:%M:%S", time.localtime()) + '\nPhotschritte: ' + photschritt)
1263     os.system('find '+magordner+'_*'+band+'_*'+exptime+'_*'+magnit+'.bz2' -exec bunzip2 -q {} \;')
1264     for zeile in os.popen('find '+magordner+'_*'+band+'_*'+exptime+'_*'+magnit+'.bz2' -exec bunzip2 -q {} \;').readlines
1265     ():
1266         os.system("mv "+zeile[:-1]+" "+zeile[:-10]+" it")
1267     for zeile in os.popen('find '+magordner+'_*'+band+'_*'+exptime+'_*'+magnit+'.bz2' -exec bunzip2 -q {} \;').readlines():
1268         os.system("mv "+zeile[:-1]+" "+zeile[:-5]+" it")
1269     files=[] #Lesen der Liste mit Magnitfiles
1270     file=open('lst_'+band+exptime, 'r')
1271     for line in file:
1272         if line[:-6]+'_magnit\n' not in rejected: #use only images, which are not contained in rejected
1273             if os.path.isfile(magordner+line[:-6]+'_magnit')==True:
1274                 files.append(magordner+line[:-6]+'_magnit')
1275             else:
1276                 print line[:-6]+'_magnit_not_found'
1277     file.close()
1278     if files==[]:
1279         print "no files "+magordner+"_*"+band+"_*"+exptime+"_*"+magnit
1280         return
1281     print "sort_out_the_bad_images" #Aussortieren schlechter Bilder
1282     indef=[]
1283     mittel=0
1284     ohnejd=[]
1285     mag_stl=[]
1286     allindef=[]
1287     for i in range(maxnummer):
1288         allindef.append([])
1289     plotinstmag=[]
1290     for zeile in files:
1291         indefs=0
1292         anzahl=0
1293         index=0
1294         firstindef=[]
1295         file=open(zeile, 'r')
1296         for line in file:
1297             anzahl+=1
1298             if len(firstindef)>0:
1299                 firstindef.append(line)
1300             if line.find("1_100000")==0: #Bearbeiten, wenn Stern 1 INDEF
1301                 firstindef.append(line.replace("1_100000", "1_14.000"))
1302             if line.find("1_100000")==0: #Bearbeiten, wenn Stern 1 INDEF
1303                 firstindef.append(line.replace("1_100000", "1_14.000"))
1304             temp=line.split(' ')
1305             if temp[0]=="1": #Magnitude Stern 1 extrahieren
1306                 plotinstmag.append([float(temp[3]), float(temp[1]), float(temp[2])]) #Instrumentelle
1307                 Magnitude plotten
1308             if temp[1]=="100000" or temp[1]=="-100000": #Wenn ein Stern INDEF
1309                 indefs+=1
1310                 #print len(allindef), index, zeile, line
1311                 allindef[index].append(zeile) #Dateien hinzufuegen, wo der Stern indef ist
1312                 index+=1
1313             if temp[3]=="100000": #JD fehlt
1314                 ohnejd.append(zeile)
1315         break
1316     file.close()
1317     if len(firstindef)>0:
1318         file=open(zeile, 'w')
```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

1312     for line in firstindef:
1313         file.write(line)
1314     file.close()
1315     write_logfile(logfile, zeile+" Stern1_INDEF->replaced_with_mag=14")
1316     if indefs>anzahl*3/5: #60% INDEF-Sterne
1317         os.system("mv"+zeile+"z"+zeile[:-2]+"_bad")
1318         write_logfile(logfile, zeile+" "+str(indef)+ "_INDEFs, _having_"+str(anzahl)+"_lines")
1319
1320     file=open('plotinstmag_'+band+exptime, 'w') #Plotten der Instmag
1321     for line in plotinstmag:
1322         if abs(line[1])<100 and abs(line[2])<100:
1323             file.write(str(line[0]-jdsb)+"\t"+str(line[1])+"\t"+str(line[2])+"\n")
1324     file.close()
1325     file=open('temp', 'w') # Datei für gnuplot
1326     file.write('set title "Instrumental_brightness_star_1"; set autoscale; set xlabel "JD"+str(jdsb)
1327         +'_[d]"; set ylabel "brightness_mag"; set pointsize 0.5; set size 1.3, 1.3; set encoding
1328         iso_8859_1; set terminal postscript_color; set output "plotinstmag_'+band+exptime+'.eps";
1329         plot "plotinstmag_'+band+exptime+' us ($1):($2):($3) with yerrorbars')
1330     file.close()
1331     os.system('gnuplot temp')
1332     os.system('rm temp&') # gv plotinstmag_'+band+exptime+'.eps &')
1333     if len(ohnejd)>0: #Fehlerbehandlung JD fehlt
1334         print "without_JD", ohnejd, "without_JD"
1335         for line in ohnejd:
1336             write_logfile(logfile, line+":JD_missing")
1337             #os.system("nice -n 5 /pastro/scisoft/bin/funpack -D "+line[:-7].replace(magordner, '')+".fits.
1338             fz")
1339             os.system("nice -n 5 bunzip2 -q "+line[:-7].replace(magordner, '')+".fits.bz2")
1340         print "JD_of_some_images_is_missing, check_the_logfile->_Exit"
1341         exit(1)
1342
1343     einmalindef=[]
1344     for line in allindef: #allindef contains of lines for every star, in which the files are written,
1345         where the star is INDEF
1346         if len(line)<len(files)*cp_nrstarrej/100.: # If star only INDEF in cp_nrstar % of the images
1347             for i in line: #... than every of these images
1348                 if i not in einmalindef: #... if not already added
1349                     einmalindef.append(i) #... adding to einmalindef
1350         if len(einmalindef)>len(files)*cp_maximarej/100.: #If too many images would have to be sorted out
1351             print len(einmalindef), "von", len(files), "Images should be sorted out, because there at least
1352             one star is INDEF, which is otherwise seldom INDEF"
1353             write_logfile(logfile, str(len(einmalindef))+ "_of_"+str(len(files))+ "_images should be sorted out
1354             ")
1355             einmalindef=[] #... than sort nothing out
1356     files_neu=[]
1357     write_logfile(logfile, "Stars_seldom_INDEF_in_the_following_images_"+str(len(einmalindef))+ "_of_"+
1358         str(len(files))+ "):")
1359     photos=[]
1360     file1=open('dphot'+band+'source'+str(maxnummer-1), 'w')
1361     file=open(band+"files", 'w')
1362     for line in files: #create list with *_magnit-files
1363         temp=0
1364         if os.path.isfile(line)==True:
1365             temp=1 #file existst
1366         if line in einmalindef: #file should be sorted out
1367             write_logfile(logfile, line)
1368             photos.append(line)
1369             temp=0
1370         if temp==1:
1371             file.write(line+'\n')
1372             file1.write(line.replace(magordner, '')+'\n')
1373             files_neu.append(line)
1374     file.close()
1375     file1.close()
1376     if len(photos)>0:
1377         print "Stars_seldom_INDEF_in_", len(photos), "images_(these_images_are_not_used):", photos
1378     if len(files_neu)<=1:
1379         print "\n only one magnit-file => no photometry, no lightcurves"
1380         return
1381     if len(files_neu)<=4:
1382         photos='n'
1383     else:
1384         photos=photoschritt
1385     possible_phot=[] #copy the best matching photometry executable
1386     for line in os.popen('ls -dl'+path_photometry+'*_*').readlines():
1387         line=line[:-1].split('/')
1388         line=line[-1].split('_')
1389         try:
1390             temp=int(line[0])*int(line[1])
1391         except:
1392             continue
1393         if int(line[0])>maxnummer and int(line[1])>len(files_neu):
1394             possible_phot.append([temp, line[0], line[1]])
1395     if possible_phot<>[]: #if no executable is found, then assume it was copied by user
1396         possible_phot.sort()
1397         os.system("cp "+path_photometry+possible_phot[0][1]+" "+possible_phot[0][2]+"/photometry_")
1398         write_logfile(logfile, "cp "+path_photometry+possible_phot[0][1]+" "+possible_phot[0][2]+"/
1399         photometry_")
1400     else:
1401         print "no_matching_executable_for_photometry: _maxnummer>", maxnummer, ", _len(files)>", len(
1402         files_neu)
1403     print 'photometry_'+band+'_is_started', time.strftime("%H:%M:%S", time.localtime())
1404     #pepect.run('nice -n 2 ./photometry'+band, events={'Repeat calculation with new weights (y/n/!)
1405     '?':photos})
1406     probs=False
1407     for i in range(100):
1408         proc=subprocess.Popen(['python', 'routinen_reduktion_cont-phot.py', str(os.getpid())])

```

ANHANG B. QUELLCODE

```

1398     pexpect.run('nice_n_2_./photometry'+band, events={'Repeat_calculation_with_new_weights_(y/n/!)
        '?':photos})
1399     os.system('kill'+str(proc.pid))
1400     #time.sleep(0.5)
1401     if os.path.isfile("dphot"+band+str(maxnummer-1))==True: #exists file?
1402         file=open("dphot"+band+str(maxnummer-1),'r')
1403         probs=False
1404         for line in file:
1405             if line.find('NaN**')>=-1: #NaNs in file?
1406                 probs=True
1407                 break
1408         file.close()
1409         if probs==False: #no problems with file
1410             break
1411         probs=True
1412         print "dphot-Datei was not created with settings:",photos,"-> try other"
1413         if photos=='!':
1414             photos='yyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyyy'
1415         elif photos=='n':
1416             print 'Error at the first step./photometry_T'
1417             write_logfile(logfile,"Error at the first step./photometry_T")
1418             photos='not successful'
1419             break
1420         else:
1421             photos=photos[1:]
1422         os.system('ls_dphot*')
1423         if probs==True:
1424             write_logfile(logfile,'!Problems with Photsettings, working setting:'+photos)
1425         write_logfile(logfile,"End_of_Chris_Photometry:"+band+exptime+'_'+time.strftime("%H:%M:%S",
            time.localtime()))
1426         for filetype in ['full','']:
1427             dphot=open("dphot"+band+filetype+str(maxnummer-1),'r').readlines() #dphot-Datei macht ab 1000
            Bildern Probleme
1428             changes=False
1429             for i in range(len(dphot)):
1430                 if dphot[len(dphot)-1-i].find('oooooooooooooooooooo')==0:
1431                     dphot[len(dphot)-2-i]=dphot[len(dphot)-2-i][:-1]+dphot[len(dphot)-1-i].replace('ooooooooooooo
            oooooooooo','')
1432                     del dphot[len(dphot)-1-i]
1433                 changes=True
1434             if changes==True:
1435                 file=open("dphot"+band+filetype+str(maxnummer-1),'w')
1436                 for line in dphot:
1437                     file.write(line)
1438                 file.close()
1439             if magordner=='magnit/': #nur für normale Auswertung
1440                 daten=[] #Erzeugen der Daten fuer Plot sigma(mag)
1441                 for line in dphot:
1442                     line=line.split()
1443                     del line[3] #Fehler Stern1 entfernen
1444                     del line[0:2] #JD, Nummerierung entfernen
1445                     del line[maxnummer:] #Fehler entfernen
1446                     daten.append(line)
1447             ergebnis=[]
1448             for i in range(maxnummer):
1449                 temp=[]
1450                 for j in range(len(daten)):
1451                     if abs(float(daten[j][i]))<100:
1452                         temp.append(float(daten[j][i]))
1453                     if len(temp)>10:
1454                         mittel=sum(k for k in temp)/len(temp)
1455                         stabw=math.sqrt(sum((k-mittel)**2 for k in temp)/(len(temp)-1))
1456                         ergebnis.append("%5.4f%%mittel+\t%5.4f%%stabw")
1457                     else:
1458                         ergebnis.append("-0.5\t-0.5")
1459                 file=open("sigmavert"+band+"_"+exptime,'w')
1460                 for line in ergebnis:
1461                     file.write(line+"\n")
1462                 file.close()
1463                 #print "xmgrace sigmavert"+band+"_"+exptime+" -param /astro/p4erro/Reduziert/Dokumente/para.par
            -saveall plot.agr von Hand ausfuehren"
1464             pexpect.run('nice_n_2_'+path_idl, events={'REN>':'.r'+path_plotstars+"\nplot_stars_g,"+path+
            '+band+','+str(maxnummer)+'',xtitle='JD'+str(jdsub)+'',ytitle='normalisierte relative
            Magnitude',JDsub='+str(jdsub)+'\nexit\n','IDL>':'.r'+path_plotstars+"\nplot_stars_g,"+path
            '+band+','+str(maxnummer)+'',xtitle='JD'+str(jdsub)+'',ytitle='normalisierte relative
            Magnitude',JDsub='+str(jdsub)+'\nexit\n'})
1465             os.system("mv"+str(maxnummer-1)+"Lightcurves_further_stars_g.ps"+band+exptime+str(maxnummer-1)+"
            Lightcurves_further_stars_g.ps")
1466             os.system("mv"+str(maxnummer-1)+"Lightcurve_star1_g.eps"+band+exptime+str(maxnummer-1)+"
            Lightcurve_star1_g.eps")
1467             for zeile in os.popen("ls_l_dphot"+band+"*").readlines():
1468                 os.system("mv"+zeile[:-1]+"_"+exptime+zeile[:-1])
1469             write_logfile("status.log","Chris-Photometry"+magordner[:-1]+band+exptime)
1470
1471 def engirafphot(camera, band, exptime, engapertur, site, start_irc, FWHM, mingood, maxgood, gainkw,
            readnoise, gain, header_exposure, jd):
1472     versio='01.02.12'
1473     for line in os.popen('find_maxdepth_1_name_'+band+'_'+exptime+'*').readlines():
1474         print "Found_coordinate_files_c_*(and_probably*_magnit-files)_in_the_folder->delete_or_move_
            them_before_restarting"
1475         exit(1)
1476     for line in os.popen('find_maxdepth_1_name_'+band+'_'+exptime+'*_magnit').readlines():
1477         print "Found*_magnit-files_in_the_folder->delete_or_move_them_before_restarting"
1478         exit(1)
1479     refcoords=[]
1480     file=open('refcoords_'+exptime,'r') #refcoords einlesen
1481     for line in file:

```

B.3. ROUTINEN ZUR DATENREDUKTION

```

1482     if line.find('#')==0:
1483         continue
1484     line=line.split()
1485     if line==[]:
1486         continue
1487     line[0]=float(line[0])
1488     line[1]=float(line[1])
1489     refcoords.append(line)
1490 file.close()
1491 abstand=3*float(engapertur)
1492 enge=[0] #erster Stern immer mit
1493 for i in range(1,len(refcoords)-1): #suchen nach nahe beieinander liegende Sterne
1494     for j in range(i+1,len(refcoords)):
1495         if (refcoords[i][0]-refcoords[j][0])**2+(refcoords[i][1]-refcoords[j][1])**2<abstand**2:
1496             if i not in enge:
1497                 enge.append(i)
1498             if j not in enge:
1499                 enge.append(j)
1500 enge.sort()
1501 file=open("refcoords_eng"+exptime,'w')
1502 for i in enge:
1503     file.write(str(refcoords[i][0])+'\t'+str(refcoords[i][1])+'\t'+refcoords[i][2]+' \n')
1504 file.close()
1505 engsterne=len(enge)
1506 write_logfile(logfile,'Enge_Sterne_Preparation_(Version='+versio+'):'+band+exptime+'_'+time.
    strftime("%H:%M:%S",time.localtime())+'\nEnge_Aperture='+engapertur+'px,Distance_of_the_
    stars='+str(abstand)+'px,found_stars='+str(engsterne))
1507 file=open('nr_to_name_'+str(engsterne-1),'w')
1508 for j in range(1,len(enge)):
1509     file.write(str(j)+'\t'+refcoords[enge[j]][2]+' \n')
1510 file.close()
1511 os.system('find_coords/_name_"c_*'+band+'_'+exptime+'.bz2"-exec_bunzip2_{_}\;')
1512 os.system('find_engmagnit/_name_"_*'+band+'_'+exptime+'.bz2"-exec_bunzip2_{_}\;')
1513 for line in os.popen('find_coords/_name_"c_*'+band+'_'+exptime+'.').readlines():
1514     i=0 #neue Koordsfiles mit Nahen Sternen schreiben
1515     file=open(line[: -1], 'r')
1516     fileneu=open(line[7: -1], 'w')
1517     for zeile in file:
1518         if i in enge:
1519             fileneu.write(zeile)
1520         i+=1
1521     file.close()
1522     fileneu.close()
1523 images=[]
1524 file=open('lst_'+band+exptime,'r')
1525 for line in file:
1526     images.append(line[: -1])
1527 file.close()
1528 #os.system('find -maxdepth 1 -name "*'+band+'_'+exptime+'.fits.fz" -exec /astro/scisoft/bin/
    funpack -D {} \;')
1529 os.system('find -maxdepth 1 -name_"_*'+band+'_'+exptime+'.fits.bz2"-exec_bunzip2_{_}\;')
1530 os.system("mkdir -p engmagnit")
1531 for line in os.popen('find_engmagnit/_name_"_*'+band+'_'+exptime+'.').readlines():
1532     os.system("mkdir -p oldengmagnitold\nmv"+line[: -1]+'_'+oldengmagnitold/"')
1533 file=open("uparm/datphotps.par",'w')
1534 file.write('weighting,s,h,constant',|constant|,'Photometric_weighting_scheme\napertures,s,h,'+
    engapertur+'',',',List_of_aperture_radii_in_scale_units\nzmag,r,h,25.,',',Zero_point_of_
    magnitude_scale\nmkapert,b,h,no.,',',Draw_apertures_on_the_display\nmode,s,h,'ql',',',\n')
1535 file.close()
1536 temp=[]
1537 file=open("uparm/datdataps.par",'w')
1538 file.write('scale,r,h,1.,0.,',Image_scale_in_units_per_pixel\nfwhmpsf,r,h,'+str(FWHM)+',0.,',FWHM
    _of_the_PSF_in_scale_units\nemission,b,h,yes,,',Features_are_positive?\nnsigma,r,h,0.,0.,',
    Standard_deviation_of_background_in_counts\ndatamin,r,h,'+mingood+',',',Minimum_good_data_
    value\ndatamax,r,h,'+maxgood+',',',Maximum_good_data_value\nnoise,s,h,'poisson',|poisson
    |,',Noise_model\nccread,s,h,',',CCD_readout_image_header_keyword\n gain,s,h,'+
    gainkw+',',',CCD_gain_image_header_keyword\nreadnoise,r,h,'+readnoise+',',',CCD_readout_noise
    _in_electrons\nepadu,r,h,'+gain+',',',Gain_in_electrons_per_count\nexposure,s,h,'+
    header_exposure+',',',Exposure_time_image_header_keyword\nairmass,s,h,',',',Airmass_image_
    header_keyword\nfilter,s,h,FILTER',',',Filter_image_header_keyword\nnobstime,s,h,'+jd+'
    ',',',Time_of_observation_image_header_keyword\nitime,r,h,1.,',Exposure_time\nxairmass,r,h,
    INDEF,',',Airmass\nifilter,s,h,INDEF,',',Filter\notime,s,h,INDEF,',',Time_of_observation\
    nmode,s,h,'ql',',',\n')
1539 file.close()
1540 #os.system('find -maxdepth 1 -name "*mag.*" -delete') #clears the folder from old mag.* files
1541 print "IRAF-Photometry is started" #Photometry with IRAF
1542 child=pexpect.spawn(start_iraf)
1543 i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
1544 if i<>0:
1545     child.sendline('setinstrument('+camera+',site='+site+',directo="home$',review=no,query
    ="'+camera+')')
1546 print child.before
1547 i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
1548 if i<>0:
1549     print "Starte_Photometry_(enge_Sterne)"
1550     #child.sendline('chphot("lst_'+band+exptime+',refimag="",refcoor="refcoords_'+exptime+',
    interac=no,verbose=no,bestact=no,list1="",list2="")')
1551     child.sendline('ownphot("lst_'+band+exptime+')')
1552 print child.before
1553 i=child.expect([pexpect.EOF,'cl>','ecl>'])
1554 if i<>0:
1555     print child.before
1556     child.sendline('logout')
1557 print "IRAF-photometrie done,replace_INDEF_in_magnit-files_with_+/-100000"
1558 i=100000
1559 for image in images:
1560     temp=[]

```

ANHANG B. QUELLCODE

```
1561 magnit=open(image[:-5]+'_magnit') #INDEF in +/-10000 ersetzen
1562 for zeile in magnit:
1563     pos=zeile.find('\nINDEF') #erstes Vorkommen suchen
1564     if pos<=6 and pos>0:
1565         zeile=zeile[:pos]+'_'+str(i)+zeile[pos+7:]
1566         zeile=zeile.replace('INDEF','100000') #alle anderen INDEFs ersetzen
1567         temp.append(zeile)
1568     magnit.close()
1569 magnit=open('engmagnit/'+image[:-5]+'_magnit','w') #geaenderte Magnitdatei schreiben
1570 for zeile in temp:
1571     magnit.write(zeile)
1572 magnit.close()
1573 i=-1*i
1574 i=0
1575 for line in os.popen('find_-maxdepth_1_-name_*.mag.1').readlines():
1576     os.system("mv_"+line[:-1]+"_engmagnit")
1577     i+=1
1578     if i==2:
1579         break
1580 os.system('find_-maxdepth_1_-name_*'+band+'_' +exptime+'*_exec_rm_{}_\;')
1581 os.system('find_-maxdepth_1_-name_*.mag.1*_exec_rm_{}_\;')
1582 os.system('find_-maxdepth_1_-name_*_magnit*_exec_rm_{}_\;')
1583 os.system('nice_-n_10_find_engmagnit/_-name_*'+band+'_' +exptime+'_mag.1*_exec_bzip2_{}_\;&')
1584 write_logfile("status.log","Eng-Irafpot"+band+exptime+"\nanzahleng"+band+exptime+"="+str(
    engsterne))
```


Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle die Chance nutzen und Danke sagen, da ohne die Hilfe und Unterstützung vieler Personen diese Arbeit niemals zustande gekommen wäre.

Zuallererst danke ich allen ehemaligen und aktuellen Mitgliedern des Astrophysikalischen Instituts Jena für die angenehme Arbeitsumgebung und die fruchtbare Zusammenarbeit.

Insbesondere möchte ich namentlich danken: Meinem Betreuer Ralph Neuhäuser, welcher mir durch die Annahme als Doktorand diese Arbeit überhaupt ermöglichte.

Mein Dank geht an Martin Seeliger für die anregenden fachlichen Diskussionen, seine Hilfe beim Verbessern der Programme zur Datenreduktion und die Hilfe beim Fitten der Transits, sowie den vielen fachlichen Hinweisen zu dieser Arbeit.

Jonas Greif für die anregenden fachlichen Diskussionen, insbesondere zu den variablen Sternen und Spektroskopie, sowie dem Korrekturlesen dieser Arbeit.

Tobias Schmidt für die Hilfe bei der Auswertung der IRCS Daten und die vielen nützlichen Hinweise für das erfolgreiche Schreiben von Beobachtungsanträgen.

Willie Torres für seine Unterstützung bei der Beobachtung am Keck-Teleskop und die hilfreichen Erläuterung bei der Datenauswertung, insbesondere von spektroskopischen Daten.

Ich habe Dave Latham and Sam Quinn für die Beobachtung und Analyse der Spektren für den bedeckungsveränderlichen Doppelstern 118 zu danken.

Soeren Meiboom hat mir bei der Analyse der Hectochelle Spektren sehr geholfen.

Theodur Pribulla für seine Unterstützung bei der Beobachtung der CAFOS Spektren am Calar Alto sowie seinen nützlichen Hinweisen zur Datenauswertung.

Zusätzlich zu den bisher genannten möchte ich mich insbesondere bei Claudia Marka, Christian Ginski, Baha Dingel, Alexandra Berndt, Verena Wolf, Torsten Löhne, Nicole Pawellek und Monika Müller für die stets verbreitende gute Laune am AIU bedanken.

Das umfängliche Datenmaterial wäre ohne die Beobachtungen des YETI-Netzwerks nicht möglich gewesen. Ich bin daher sehr dankbar für die vielen Nächte, die die Beobachter an diesen Teleskopen Daten zu Trumpler 37 aufgenommen haben.

Für das Teleskop der Universitäts-Sternwarte Jena möchte ich Markus Mugrauer und Frank Giesler danken, welche einen hervorragenden Beobachtungsbetrieb unter guten technischen Bedingungen ermöglichten und dadurch indirekt verantwortlich für die große Menge an Beobachtungsdaten waren.

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel und Literatur angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise unentgeltlich geholfen:

1. Andrew W. Howard: Reduktion der Keck-Spektren (Bias-, Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur, Teilweises entfernen der Effekte von kosmischer Strahlung und Extraktion der Spektren).
2. Samuel N. Quinn: Beobachtung des Sterns 118 mittels TRES am FLWO und komplette Datenreduktion dieser Spektren.
3. Susan Tokarz: Datenreduktion der Hectochelle Spektren (Bias-, Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur, Extraktion der Spektren und Wellenlängenkalibration).
4. Die Beobachtungen an den Teleskopen im YETI-Netzwerk wurden von den jeweils lokal ansässigen Astronomen durchgeführt. Teilweise wurden Schritte der Datenreduktion (Bias-, Dunkelstrom- und Weißlichtkorrektur) von diesen durchgeführt. Namentlich sind dies T.O.B. Schmidt, M. Seeliger, G. Maciejewski, A. Kellerer, D.P. Dimitrov, B. Dincel, C. Marka, M. Mugrauer, Ch. Ginski, Ch. Adam, St. Raetz, J.G. Schmidt, M.M. Hohle, A. Berndt, M. Kitze, L. Trepl, M. Moualla, T. Eisenbeiß, S. Fiedler, A. Dathe, Ch. Graefe, N. Pawellek, G. Maciejewski, R. Neuhäuser, D.P. Kjurkchieva, V.S. Radeva, V. Yotov, W.P. Chen, S.C.-L. Hu, Z.-Y. Wu, X. Zhou, T. Pribulla, J. Budaj, M. Vaňko, E. Kundra, Ľ. Hambálek, V. Krushevska, Ł. Bukowiecki, G. Nowak, L. Marschall, H. Terada, D. Tomono, M. Fernandez, A. Sota, H. Takahashi, Y. Oasa, U. Kramm, C. Farina, H. Stoev, C. Carlisle, F. Lopez, F. Stevance, I. Ordóñez, M. Diaz, D. Keeley, P. Nährlich, M. Fruhnert, H. Gilbert, S. Baar, E. Schmidt, W. Bykowski, I. Häusler.
5. Die Beobachtungen im Servicemode (IRCS, CAFE, Hectochelle) wurden von den an den Teleskopen angestellten Beobachtern durchgeführt.
6. Martin Seeliger: Durchführung der Analyse mittels TAP.

Weitere Personen waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für die Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Arbeit stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde eingereicht.

Die geltende Promotionsordnung der Physikalisch-Astronomischen Fakultät ist mir bekannt.

Ich versichere ehrenwörtlich, dass ich nach bestem Wissen die reine Wahrheit gesagt und nichts verschwiegen habe.

.....

Ort,

Datum

.....

Unterschrift des Verfassers