



FRIEDRICH-SCHILLER-
UNIVERSITÄT
JENA



Nachfolgebeobachtungen junger Transitplanetenkandidaten

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

Richard Erich Hans Bischoff
geboren am 18.10.1992 in Meiningen

Jena, 6. April 2022

GUTACHTER:

1. Prof. Dr. Ralph Neuhäuser

*Astrophysikalisches Institut und Universitäts-Sternwarte
Friedrich-Schiller-Universität Jena*

2. Prof. Dr. Stefan Dreizler

*Institut für Astrophysik
Georg-August-Universität Göttingen*

3. Prof. Dr. Artie Hatzes

*Karl-Schwarzschild-Observatorium
Thüringer Landessternwarte Tautenburg*

TAG DER DISPUTATION: 12. Juli 2022

Zusammenfassung

Um die Entstehung und frühe Entwicklung von Planeten erforschen zu können, müssen junge Exoplaneten beobachtet werden. Die Kombination von Transit- und der Radialgeschwindigkeitsmethode ermöglicht die Bestimmung der Masse und des Radius dieser Objekte. Diese Parameter sind wichtige Indikatoren, um theoretische Modelle zur Planetenentstehung zu testen. Allerdings sind nahezu alle bekannten Exoplaneten alt. Aus diesem Grund hat sich die Young Exoplanet Transit Initiative auf die gezielte Suche nach jungen Transitplaneten spezialisiert. Im Rahmen der dazugehörigen Beobachtungskampagnen wurden Planetenkandidaten in den Sternhaufen IC 348, 25 Ori, Trumpler 37 und NGC 7243 detektiert.

Die vorliegende Dissertation widmet sich den Nachfolgebeobachtungen, welche erforderlich sind, um das Szenario einer falsch-positiven Planetendetektion auszuschließen. Neben Transitplaneten können bspw. auch partielle Bedeckungen zweier Sterne oder die Überblendung eines Doppelsternsystems mit einem hellen Vordergrundstern ähnliche Signaturen in den photometrischen Messungen hervorrufen. Die wellenlängenabhängige Beobachtung der transitähnlichen Helligkeitseinbrüche erfolgte mit den Meter-Klasse-Teleskopen des YETI-Netzwerkes. Die dazugehörigen Daten wurden mittels Differentialphotometrie ausgewertet. Anhand von Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot und unter Einsatz einer adaptiven Optik können zuvor nicht aufgelöste Sterne innerhalb der Apertur aus dem optischen Wellenlängenbereich detektiert werden. Die Verwendung der Daten der Gaia-Mission führten zur Identifikation neuer Mitglieder der jungen Sternhaufen und einer Charakterisierung der Transitkandidatenmuttersterne mit noch nie dagewesener Präzision.

Abstract

To study the formation and early evolution of planets, young exoplanets need to be observed. The combination of transit and radial velocity method allows the determination of the mass and the radius of those objects. These parameters are important indicators to test theoretical models of planet formation. However, nearly all known exoplanets are old. For this reason, the Young Exoplanet Transit Initiative has specialized in the search for young transiting planets. Associated observing campaigns have detected planet candidates in the star clusters IC 348, 25 Ori, Trumpler 37, and NGC 7243.

This dissertation is dedicated to the follow-up observations, which are necessary to exclude the scenario of a false-positive planet detection. In addition to transiting planets, similar signatures in the photometric measurements can be caused by such as e.g. grazing eclipses of two stars or the overlap of a binary system with a bright foreground star. The wavelength-dependent observations of the transit-like brightness dips were performed with the meter-class telescopes of the YETI network. The associated data were analyzed via differential photometry. Using high contrast observations in the infrared and employing adaptive optics, previously unresolved stars within the aperture from the optical wavelength range can be detected. The use of data from the Gaia mission led to the identification of new members of the young stellar clusters and a characterization of the transit candidate host stars with unprecedented precision.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Alter-Massen-Verteilung der Transitplaneten	6
2.1	Elemente einer Umlaufbahn	11
2.2	Schematische Darstellung einer Transitlichtkurve	14
2.3	Darstellungen zur Randverdunklung bei Sternen	17
2.4	Nachahmung eines Planetentransits	20
2.5	Lithiumäquivalentbreiten von offenen Sternhaufen	22
3.1	Karte der Beobachtungsstandorte des YETI-Netzwerkes	24
3.2	Illustration des Prinzips der Aperturphotometrie	28
4.1	Sterne in der scheinbaren Umgebung von IC 348	36
4.2	Farben-Helligkeits-Diagramm von IC 348	37
4.3	Transitlichtkurven von IC 348 LRL 47/cc	39
4.4	Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot von IC 348 LRL 47	42
4.5	Detailansicht von IC 348 LRL 47	43
4.6	Detektionsgrenze im K -Band von IC 348 LRL 47	44
4.7	Phasengefaltete Radialgeschwindigkeitskurve von IC 348 LRL 47	46
5.1	Sterne in der scheinbaren Umgebung von 25 Ori	53
5.2	Farben-Helligkeits-Diagramm von 25 Ori	53
5.3	B-E-Diagramm von CVSO 30 b	56
5.4	Entwicklung der Transitsignale von CVSO 30 b	56
5.5	Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot von CVSO 30	59
5.6	Detailansicht von CVSO 30	59
5.7	Detektionsgrenzen im K - und K_s -Band von CVSO 30	60
5.8	Konturlinienkarte des heißen Flecks	63
5.9	Röntgenflare von CVSO 30	66
6.1	Sterne in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37	70

6.2	Farben-Helligkeits-Diagramm von Trumpler 37	71
6.3	Farben-Helligkeits-Diagramm von Trumpler 37 mit Isochronen	72
6.4	Metallizitäts-Helligkeits-Diagramm	73
6.5	Altersabschätzung für STKGSH J213912.0+570728.1	74
6.6	Transitlichtkurven von STKGSH J213912.0+570728.1/cc	76
6.7	Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot von STKGSH J213912.0+570728.1	78
6.8	Detektionsgrenze im K -Band von STKGSH J213912.0+570728.1	79
6.9	Spektrum von STKGSH J213912.0+570728.1	82
7.1	Sterne in der scheinbaren Umgebung von NGC 7243	86
7.2	Farben-Helligkeits-Diagramm von NGC 7243	88
7.3	Altersabschätzung der Transitkandidaten	88
7.4	Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot von J221550.7+495610.6	92
7.5	Hochkontrastbeobachtungen im K_s -Filter von NGC 7243 JFA 1310	94
C.1	Transitlichtkurven von J221550.7+495610.6/cc	C5
C.2	Transitlichtkurven von NGC 7243 JFA 1310/cc	C5
C.3	Transitlichtkurven von J221323.7+493534.0/cc	C6
C.4	Lichtkurven von J221711.5+494200.1	C6
D.1	Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot von NGC 7243 JFA 1310, J221323.7+493534.0 und J221711.5+494200.1	D2
D.2	Detektionsgrenze im K -Band von J221550.7+495610.6	D3
D.3	Detektionsgrenze im K_s -Band von NGC 7243 JFA 1310	D3
D.4	Detektionsgrenze im K_s -Band von J221323.7+493534.0	D4
D.5	Detektionsgrenze im K_s -Band von J221711.5+494200.1	D4
D.6	Detailansicht von J221550.7+495610.6	D5
D.7	Detailansicht von J221323.7+493534.0	D5
D.8	Detailansicht von J221711.5+494200.1	D6
D.9	PSF-Subtraktion von NGC 7243 JFA 1310	D6

Tabellenverzeichnis

3.1	Beteiligte YETI-Observatorien und Instrumentierungen	26
4.1	Eigenschaften des Sterns IC 348 LRL 47	38
4.2	Ergebnisse der Multiband-Photometrie für IC 348 LRL 47/cc	40
4.3	Radialgeschwindigkeiten von IC 348 LRL 47	45
4.4	Ephemeriden von IC 348 LRL 47/cc und Bahnelemente von IC 348 LRL 47	47
5.1	Eigenschaften von 25 Ori	53
5.2	Eigenschaften des Sterns CVSO 30	54
6.1	Eigenschaften von Trumpler 37	71
6.2	Eigenschaften des Sterns STKGSH J213912.0+570728.1	75
6.3	Ergebnisse der Multiband-Photometrie für STKGSH J213912.0+570728.1/cc	75
6.4	Helligkeiten von STKGSH J213912.0+570728.1 basierend auf Infrarotmessungen	78
6.5	Theoretische Transittiefen von STKGSH J213912.0+570728.1/cc	83
7.1	Eigenschaften von NGC 7243	87
7.2	Eigenschaften der Transitkandidatenmuttersterne	89
7.3	Ergebnisse der Multiband-Photometrie	90
7.4	Beobachtungslogbuch für die LUCI 1-Beobachtungen	91
7.5	Helligkeiten von J221550.7+495610.6 basierend auf Infrarotmessungen	93
7.6	Helligkeiten von J221323.7+493534.0 basierend auf Infrarotmessungen	94
A.1	Beobachtungslogbuch für IC 348 LRL 47	A1
A.2	Beobachtungslogbuch für CVSO 30	A1
A.3	Beobachtungslogbuch für STKGSH J213912.0+570728.1	A3
A.4	Beobachtungslogbuch für J221550.7+495610.6	A4
A.5	Beobachtungslogbuch für NGC 7243 JFA 1310	A4
A.6	Beobachtungslogbuch für J221323.7+493534.0	A4

TABELLENVERZEICHNIS

A.7	Beobachtungslogbuch für J221711.5+494200.1	A5
B.1	Mitglieder des Sternhaufens IC 348	B1
B.2	Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1	B10
B.3	Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-2	B15
B.4	Mitglieder des Sternhaufens Trumpler 37	B17
B.5	Mitglieder des Sternhaufens NGC 7243	B46
B.6	Helligkeiten der wahrscheinlichsten Mitglieder von IC 348	B53
B.7	Helligkeiten der wahrscheinlichsten Mitglieder von 25 Ori-1	B61
B.8	Helligkeiten der wahrscheinlichsten Mitglieder von Trumpler 37	B69
B.9	Helligkeiten der wahrscheinlichsten Mitglieder von NGC 7243	B92
C.1	Einzelresultate der Transitanalyse von IC 348 LRL 47/cc	C1
C.2	Einzelresultate der Transitanalyse von CVSO 30 b	C1
C.3	Flares von CVSO 30	C2
C.4	Einzelresultate der Transitanalyse von STKGSH J213912.0+570728.1/cc	C3
C.5	Einzelresultate der Transitanalyse von J221550.7+495610.6/cc	C3
C.6	Einzelresultate der Transitanalyse von NGC 7243 JFA 1310/cc	C4
C.7	Einzelresultate der Transitanalyse von J221323.7+493534.0/cc	C4

Symbol- und Abkürzungsverzeichnis

Naturkonstanten

Symbol	Einheit	Erläuterung
G	$\frac{\text{m}^3}{\text{kg}\cdot\text{s}^2}$	Gravitationskonstante: $G = 6,6743 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}\cdot\text{s}^2}$
c	$\frac{\text{m}}{\text{s}}$	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum: $c = 299.792.458 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
σ	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4}$	Stefan-Boltzmann-Konstante: $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}^4}$ $= 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{\text{kg}}{\text{s}^3\cdot\text{K}^4}$

Physikalische Größen

Symbol	Einheit	Erläuterung
M	M_{\odot}	Masse in Sonnenmassen: $1 M_{\odot} = 1,9885 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
	M_{Jup}	Masse in Jupitermassen: $1 M_{\text{Jup}} = 1,8982 \cdot 10^{27} \text{ kg}$
	M_{\oplus}	Masse in Erdmassen: $1 M_{\oplus} = 5,9724 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
R	R_{\odot}	Radius in Sonnenradien: $1 R_{\odot} = 6,957 \cdot 10^8 \text{ m}$
	R_{Jup}	Radius in Jupiterradien: $1 R_{\text{Jup}} = 7,1492 \cdot 10^7 \text{ m}$
d	AE	Distanz in astronomischen Einheiten: $1 \text{ AE} = 1,4960 \cdot 10^{11} \text{ m}$
	pc	Distanz in parsec (Parallaxensekunde): $1 \text{ pc} = 3,0857 \cdot 10^{16} \text{ m}$
t	yr	Zeit in (tropischen) Jahren: $1 \text{ yr} = 3,1557 \cdot 10^7 \text{ s}$
	d	Zeit in Tagen: $1 \text{ d} = 86400 \text{ s}$
	h	Zeit in Stunden: $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$
	min	Zeit in Minuten: $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
τ	Myr	Alter in Millionen Jahren: $1 \text{ Myr} = 3,1557 \cdot 10^{13} \text{ s}$
P	d	Umlaufperiode in Tagen
F	$\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	Fluss in Watt pro Quadratmeter: $1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}\cdot\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{s}^3}$
L	L_{\odot}	Leuchtkraft in Sonnenleuchtkräften: $1 L_{\odot} = 3,828 \cdot 10^{26} \text{ W}$

SYMBOL- UND ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Symbol	Einheit	Erläuterung
φ	"	Winkelabstand in Bogensekunden: $1'' = \frac{1'}{60} = \frac{1}{3600}^\circ$
	mas	Winkelabstand in Millibogensekunden: $1 \text{ mas} = 1'' \cdot 10^{-3}$
λ	Å	Wellenlänge in Ångström: $1 \text{ Å} = 10^{-1} \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$
W	Å	Äquivalentbreite in Ångström
m	mag	scheinbare Helligkeit in Magnituden: $m_1 - m_2 = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_1}{F_2} \right)$
M	mag	absolute Helligkeit in Magnituden
A_λ	mag	Extinktion im jeweiligen Filter in Magnituden
X		Luftmasse
α bzw. RA	h	Rektaszension in Stunden: $24 \text{ h} \equiv 360^\circ$
δ bzw. Dec	°	Deklination in Grad: $1^\circ = 60' = 3600''$
ϖ	mas	Parallaxe in Millibogensekunden
μ	mas/yr	Eigenbewegung in Millibogensekunden pro Jahr
T_{14}	min	Transitdauer in Minuten
T_M bzw. T_0	HJD	Transitmitte als heliozentrisches Julianisches Datum
Δm	mmag	Transittiefe in Millimagnituden: $1 \text{ mmag} = 10^{-3} \text{ mag}$
$\Delta\theta$	"	Seeing in Bogensekunden
S/N		Signal-zu-Rauschen-Verhältnis
\mathcal{R}		spektrales Auflösungsvermögen
UTC	h	koordinierte Universalzeit in Stunden
JD	d	Julianisches Datum in Tagen
HJD	d	Heliozentrisches Julianisches Datum in Tagen
BJD_{TDB}	d	Baryzentrisches Julianisches Datum in Tagen mit baryzentrisch dynamischer Zeit
v_{rad}	km/s	Radialgeschwindigkeit in Kilometer pro Sekunde: $1 \frac{\text{km}}{\text{s}} = 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
T_{eff}	K	Effektivtemperatur in Kelvin
$\log(g)$	$\log[\text{cm}/\text{s}^2]$	Logarithmus der Oberflächenbeschleunigung: $1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} = 10^{-2} \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$
[Fe/H] bzw. [M/H]	dex	Metallizität in Dezimalexponent: $x \text{ dex} = 10^x$
a	AE	große Halbachse in astronomischen Einheiten
i	°	Inklination in Grad
e		(numerische) Exzentrizität

Allgemeine Abkürzungen

Abkürzung	vollständiger Name	erstmalige Erwähnung
2 MASS	Two Micron All Sky Survey	Kapitel 4.3
ADU	Analog-to-digital unit	Kapitel 3.2
AO	Adaptive Optik	Kapitel 1
cc	Companion Candidate	Kapitel 4
CCD	Charge-coupled Device	Kapitel 3.2
DIT	Detector integration time	Kapitel 3.3
DR	Data release	Kapitel 4.1
EDR	Early data release	Kapitel 4.1
ETD	Exoplanet Transit Database	Kapitel 4.2
FHD	Farben-Helligkeits-Diagramm	Kapitel 2.3
FWHM	Full width at half maximum	Kapitel 3.3
Gaia	Global Astrometric Interferometer for Astro- physics	Kapitel 4.1
GAIA	Graphical Astronomy and Image Analysis Tool	Kapitel 3.3
HRD	Hertzsprung-Russell-Diagramm	Kapitel 2.3
IRAF	Image Reduction and Analysis Facility	Kapitel 3.3
IRCS	Infrared Camera and Spectrograph	Kapitel 4.3
PSF	Punktspreizfunktion	Kapitel 2.3
RUWE	Renormalized Unit Weight Error	Kapitel 5.1
WTTS	Weak-line T Tauri star	Kapitel 5
YETI	Young Exoplanet Transit Initiative	Kapitel 1

Abkürzungen der Observatorien

Abkürzung	vollständiger Name
IAAT	Sternwarte des Instituts für Astronomie und Astrophysik Tübingen
GOS	Gothard Observatory Szombathely
GSH	Universitäts-Sternwarte in Großschwabhausen
LBT	Large Binocular Telescope
LOT	Lulin Observatory Taiwan
OGS	Optical Ground Station
OSN	Observatorio de Sierra Nevada
Suhora	Mt. Suhora Astronomical Observatory

Für meine Familie und Freunde

”Equipped with his five senses, man explores the universe around him and calls this adventure science.“

– Edwin Hubble –

Original quote

„Ausgerüstet mit seinen fünf Sinnen, entdeckt der Mensch das Universum um ihn herum und nennt dieses Abenteuer Wissenschaft.“

– Edwin Hubble –

Freie deutsche Übersetzung

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Grundlagen	9
2.1	Radialgeschwindigkeitsmethode	9
2.2	Transitmethode	14
2.3	Falsch-positive Szenarien für eine Transitplanetendetektion	18
2.4	Methoden zur Altersbestimmung	21
3	Aufnahme und Prozessierung der YETI-Daten	23
3.1	Die Young Exoplanet Transit Initiative	23
3.2	Aufnahme der photometrischen Daten	25
3.3	Prozessierung der YETI-Daten	28
4	Transitkandidat in IC 348	33
4.1	Untersuchung des Sternhaufens IC 348 mit Gaia-Daten	34
4.2	Auswertung der Multiband-Photometrie	38
4.3	Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik	40
4.4	Modellierung der Radialgeschwindigkeitslösung	44
4.5	Ergebnisse	46
5	Transitkandidat CVSO 30 b	49
5.1	Untersuchung des Sternhaufens 25 Ori mit Gaia-Daten	52
5.2	Auswertung der Transitphotometrie	54
5.3	Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik	57
5.4	Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale	60
6	Transitkandidat in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37	69
6.1	Untersuchung des Sternhaufens Trumpler 37 mit Gaia-Daten	70
6.2	Auswertung der Multiband-Photometrie	74

INHALTSVERZEICHNIS

6.3	Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik	77
6.4	Erklärungsansätze für das transitähnliche Signal	81
7	Transitkandidaten in der scheinbaren Umgebung von NGC 7243	85
7.1	Untersuchung des Sternhaufens NGC 7243 mit Gaia-Daten	86
7.2	Auswertung der Multiband-Photometrie	88
7.3	Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik	90
7.4	Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale	95
8	Zusammenfassung und Ausblick	97
	Anhang - Zusätzliche Informationen	A1
A	Beobachtungslogbücher	A1
B	YETI-Sternhaufen	B1
B.1	Mitglieder der YETI-Sternhaufen	B1
B.2	Berechnete Helligkeiten und Farben	B53
C	Ergebnisse der Lichtkurvenanalyse	C1
D	Ergänzende Abbildungen zur Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik	D1
E	Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips	E1
	Literaturverzeichnis	F1
	Zusätzliche Dokumente	G1

Kapitel 1

Einleitung

Die Existenz der Planeten *Merkur*, *Venus*, *Erde*, *Mars*, *Jupiter* und *Saturn* in unserem Sonnensystem ist bereits seit der griechischen Antike bekannt. Die fortschreitende Entwicklung in Theorie und astronomischer Beobachtungstechnik in den darauffolgenden Jahrhunderten führte zur Detektion weiterer Planeten. 1781 entdeckte W. Herschel den Planeten *Uranus* und 1864 fand J. C. Galle *Neptun*, dessen Existenz zuvor mittels Störungsrechnung von J. C. Adams und J. J. Leverrier prognostiziert wurde (Unsöld & Baschek, 2005).

Mit der Beobachtung von Planeten sind auch die Fragen verbunden: Wie, wo und wann entstehen Planeten und wie entwickeln sie sich? Die bis Anfang der 1990er Jahre akzeptierten Theorien zur Planetenentstehung, welche sich an unserem Sonnensystem orientieren, besagten, dass sich Planeten aus einer Gas-/Staubwolke herausbilden, die zu einer Scheibe kollabiert. Außerhalb der sogenannten Schneelinie, ab der sich ausreichend feste, eisige Materie befindet, formieren sich größere Gesteinskerne in der Scheibe, die wiederum Gasmassen akkretieren. Die dadurch schnell anwachsende Atmosphäre führt dazu, dass sich diese Kerne zu Gasriesen entwickeln, noch bevor sich die Gasscheibe verflüchtigt hat. Innerhalb der Schneelinie, wo weniger festes Material vorhanden ist, bilden sich kleinere Gesteinskerne. Diese werden durch die Gravitation der entstehenden Gasriesen in ihrer Umlaufbahn gestört und infolge der daraus resultierenden Kollisionen entstehen Gesteinsplaneten. Somit wären Gasriesen stets in der äußeren Scheibe zu finden und Gesteinsplaneten in der inneren, während sie ihren Stern in koplanaren Bahnen umkreisen (Dawson & Johnson, 2018).

Die Entdeckung der ersten Planeten außerhalb unseres Sonnensystems, sogenannter extrasolarer Planeten oder kurz *Exoplaneten*, gelang durch Beobachtungen des Pulsars¹ B1257+12 (Wolszczan & Frail, 1992). Die Massen dieser drei Planeten liegen zwischen $0,02 M_{\oplus}$ und

¹schnell rotierender Neutronenstern mit periodisch detektierbarer Emission im Radiowellenlängenbereich

4, $3 M_{\oplus}$ (Konacki & Wolszczan, 2003). Backer, Foster und Sallmen (1993) fanden einen weiteren Exoplaneten mit einer Masse in der Größenordnung des Jupiters, der um den Pulsar B1620-26 in einem Doppelsternsystem rotiert. Die Detektion des ersten Exoplaneten, der um einen sonnenähnlichen Stern kreist, gelang Michel Mayor und Didier Queloz mittels Radialgeschwindigkeitsmessungen. Dieses Objekt umläuft seinen Mutterstern 51 Pegasi innerhalb von $\sim 4,23$ d und hat eine Mindestmasse von ungefähr $0,5 M_{\text{Jup}}$. Der daraus resultierende Abstand zwischen Planet und Stern ist $0,05$ AE und entspricht damit einem Bruchteil der Distanz des Merkur zur Sonne. Dadurch liegt die zu erwartende Oberflächentemperatur des Planeten 51 Pegasi b bei über 1300 K (Mayor & Queloz, 1995). Infolgedessen gehört dieser Exoplanet zur Gruppe der *Heißen Jupiter*. Für ihre Entdeckung erhielten die beiden Wissenschaftler Mayor und Queloz 2019 den Nobelpreis für Physik.

Das Auffinden von Gasriesen so nah an ihrem Mutterstern führte dazu, dass die bis dahin geltenden Modelle zur Planetenentstehung und -entwicklung überarbeitet werden mussten. Es existieren aktuell zwei Grundideen darüber, wie sich Planeten in der Größenordnung von Gasriesen herausbilden (Spiegel & Burrows, 2012).

Im *Kern-Akkretions-Modell* (bspw. Goldreich & Ward, 1973; Pollack et al., 1996; Safronov & Zvjagina, 1969) geht man davon aus, dass sich zuerst Planetesimale durch Kollisionen von Staubpartikeln und Felsklumpen formen. Bei Planetesimalen handelt es sich um Festkörper, deren innere Festigkeit durch Eigengravitation dominiert und deren Umlaufbahndynamik nicht signifikant vom Gasdruck beeinflusst wird. Der Durchmesser dieser Objekte liegt zwischen 1 km und 100 bzw. 1000 km (Perryman, 2011). Durch fortschreitende Akkretion von überwiegend weiteren Festkörpern wachsen die Planetesimale zu Protoplaneten und schließlich zu Planeten heran. Sollte die Masse des Planeten dabei $5 M_{\oplus}$ bis $20 M_{\oplus}$ erreichen, setzt eine zunehmend schnellere Akkretion von Gas ein, die am Ende den Massenzuwachs des Planeten deutlich dominiert. Dieser Prozess ist beendet, sobald die Vorräte an Planetesimalen und Gas im Einzugsbereich des Planeten erschöpft sind (Perryman, 2011).

Die Theorie der *gravitativen Scheibeninstabilität* bietet einen weiteren Ansatz zur Entstehung von Gasriesen (bspw. Boss, 2012; Kuiper, 1951; Mayer, Quinn, Wadsley & Stadel, 2004). Hierbei erfolgt ein einstufiger Kollaps in der protoplanetaren Scheibe, bei dem sich Fragmente innerhalb der Spiralarme ausbilden. Diese Objekte, welche aus Gas und Staub bestehen, sind bereits riesige gasförmige Protoplaneten (Perryman, 2011), die dann weiter auskühlen und zu den späteren Gasriesen kontrahieren (Spiegel & Burrows, 2012). Das Kern-Akkretions-Modell und die gravitative Scheibeninstabilität unterscheiden sich anhand der aktiven Akkretion auf einen Kern sowie hinsichtlich des zur Planetenbildung benötigten Zeitrahmens. So braucht die Bildung durch gravitative Scheibeninstabilität nur einen Bruchteil der Zeit des Kern-Akkretions-Modells. Weiterhin ist bei gleichem Alter die Entropie der sich durch gravitative Scheibenin-

stabilität formierenden Planeten höher als beim Kern-Akkretions-Modell. Infolgedessen wird die gravitative Scheibeninstabilität auch als heißer und das Kern-Akkretions-Modell als kalter Startmechanismus bezeichnet (Spiegel & Burrows, 2012).

Eine Planetenbildung *in situ*² ist für die Heißen Jupiter weder nach dem Kern-Akkretions-Modell noch nach der gravitativen Scheibeninstabilität wahrscheinlich. Damit eine rotierende Scheibe kollabiert, muss der Toomre-Parameter $Q \lesssim 1$ sein. Dieser wird hauptsächlich durch die Temperatur und Rotationsperiode der Scheibe determiniert (Dawson & Johnson, 2018; Toomre, 1964). Aufgrund des geringen Abstands der Heißen Jupiter zu ihrem Mutterstern sind die dort vorherrschenden Temperaturen zu hoch und die Perioden zu gering, als dass die Scheibe an dieser Stelle zu einem Planeten kollabieren könnte. Die Herausforderung für das Kern-Akkretions-Modell ist, dass sich ausreichend massereiche Kerne dicht um den Stern bilden müssen, noch bevor sich das Gas in der Scheibe verflüchtigt. Der Einzugsbereich für einen solchen Planeten vor Ort wäre aufgrund der kurzen Umlaufperiode gering. Die erforderliche feste Materie müsste deshalb von weiter außen in der Scheibe zum sich formenden Planeten transportiert werden. Ob ein solcher Transportmechanismus innerhalb der Scheibe existiert und ob Heiße Jupiter sich *in situ* mittels Akkretion bilden können, ist derzeit nicht bekannt (Dawson & Johnson, 2018).

Die Gasriesen könnten sich auch ursprünglich weiter außen in der protoplanetaren Scheibe formiert und anschließend durch Migration ihre sternnahe Umlaufbahn erreicht haben. Ein solcher Migrationsprozess könnte durch Störungen des rotierenden Gases in der Scheibe durch den Planeten selbst ausgelöst werden. Diese Interaktion erzeugt Drehmomente, die zu einer gleichzeitigen Änderung von Drehimpuls und Energie des Planeten führen. Das Ausmaß und die Richtung der Migration wären hierbei stark von der Beschaffenheit der Scheibe abhängig (bspw. Baruteau et al., 2014; Dawson & Johnson, 2018).

Ein weiterer Ansatz zur Entstehung der Heißen Jupiter ist eine Gezeitenwechselwirkung zwischen Mutterstern und dem Planeten auf einer hoch exzentrischen Umlaufbahn³ ($e \approx 1$). Dazu muss der Planet als erstes auf einen ausreichend exzentrischen Orbit gebracht werden, bspw. durch Drehimpulsübertragung auf andere Planeten (bspw. Dawson & Johnson, 2018; Kozai, 1962; Lidov, 1962). Anschließend verursacht die Gravitation des Muttersterns beim Periastrondurchgang Gezeitenkräfte auf den Exoplaneten, welche zu einer Verringerung der Bahnenergie des Planeten führen. Dadurch schrumpft dessen Umlaufbahn und auch die Exzentrizität nimmt wieder ab. Bei diesem Prozess wird somit zuerst der Drehimpuls des künftigen Heißen Jupiters und anschließend dessen Energie verringert (Dawson & Johnson, 2018).

²unmittelbar vor Ort, an der ursprünglichen Position

³Siehe Kapitel 2.1 für eine Beschreibung der Elemente einer Umlaufbahn.

Auch nach mehr als 25 Jahren seit der Detektion des ersten Heißen Jupiters ist es weiterhin unklar, welches Verfahren der primäre Entstehungsprozess solcher Gasriesen ist und welche Eigenschaften (Masse, Radius, Temperatur, usw.) für sie währenddessen typisch sind. Um Modelle zur Planetenentstehung zu testen, müssen Exoplaneten gefunden werden, die jünger als 100 Myr sind, da sie sich hierbei noch in ihrer Entstehungs- bzw. frühen Entwicklungsphase befinden. In diesen Fällen sind die zu erwartenden Unterschiede in den jeweiligen Modellen noch am größten und somit besser beobachtbar (bspw. Abbildung 5 in Spiegel & Burrows, 2012).

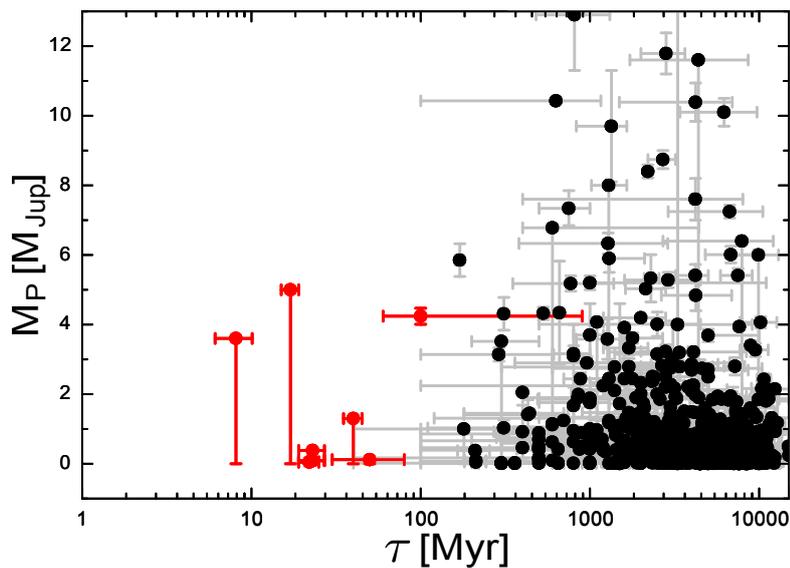


ABBILDUNG 1.1: Verteilung von Alter und Masse der heute bekannten Transitplaneten. Die jungen Planeten ($\tau \lesssim 100$ Myr, nach Soderblom et al., 2014) sind in rot dargestellt. Die Daten entstammen der Webseite www.exoplanet.eu und wurden am 29.09.2021 um 10:45 MESZ abgerufen.

Seit der Entdeckung der ersten Exoplaneten kamen bis heute über 4500 weitere Planeten hinzu und nahezu täglich werden neue gefunden. Neben der bereits erwähnten Radialgeschwindigkeitsmethode (siehe Kapitel 2.1) erwiesen sich auch die Gravitationslinsenmethode und die direkte Beobachtung, beispielsweise durch Koronografie mit einer adaptiven Optik, als erfolgreich bei der Suche nach Exoplaneten. Die erfolgreichste Methode zur Detektion von Planeten ist jedoch die Transitmethode (siehe Kapitel 2.2), da über zwei Drittel der heute bekannten Exoplaneten und Planetenkandidaten damit entdeckt wurden⁴. Problematisch ist allerdings, dass nahezu fast alle bekannten Planeten und insbesondere auch die Transitplaneten älter als 100 Myr sind (siehe Abbildung 1.1).

⁴In der Online-Datenbank „The Extrasolar Planets Encyclopaedia“ (www.exoplanet.eu) ist eine aktuelle Statistik über die Vielfalt an Exoplaneten verfügbar.

Die Suche nach jungen Exoplaneten ist somit dringend erforderlich.

Das Ziel dieser Arbeit ist es herauszufinden, ob es sich bei den Transitplanetenkandidaten, welche in den Beobachtungskampagnen der *Young Exoplanet Transit Initiative*⁵ (YETI, siehe Neuhäuser et al., 2011) detektiert wurden, tatsächlich um junge Exoplaneten handelt. Die dazu durchgeführten Nachfolgebeobachtungen werden im Rahmen dieser Dissertation vorgestellt. Kapitel 2 beinhaltet einen Überblick über die Detektion von Exoplaneten mittels Transit- und Radialgeschwindigkeitsmethode. Weiterhin werden mögliche Szenarien für nicht planetare Transitsignale und die dafür erforderlichen Ausschlusskriterien sowie zwei Methoden zur Altersbestimmung vorgestellt. In Kapitel 3 wird das YETI-Netzwerk und dessen ursprüngliche Arbeitsweise sowie die angewandte Strategie während der Multiband-Photometrie erläutert. Weiterhin werden wesentliche Schritte des Datenreduktions- und Photometrieprogramms `automat.py` beschrieben. Daran schließen sich in Kapitel 4 bis 7 die erfolgten Nachfolgebeobachtungen und Untersuchungen für die jeweiligen Transitplanetenkandidaten an. Abschließend werden die wesentlichen Ergebnisse dieser Dissertation in Kapitel 8 zusammengefasst und ein Ausblick auf weitere Nachfolgebeobachtungen gegeben. Der größte Teil von Kapitel 5 basiert dabei auf der Publikation *Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips* (Bischoff et al., 2022), die in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* bereits veröffentlicht und in Anhang E hinterlegt ist.

Sollte es sich auch nur bei einem Kandidaten um einen jungen Planeten handeln, so wären Masse und auch der Radius dieses Objektes bekannt. Sofern sich die Kandidaten nicht als Planeten herausstellen, so könnte dies ein Indiz dafür sein, dass junge Heiße Jupiter eher die Ausnahme als die Regel sind. Damit einhergehend könnte dies daran liegen, dass der Prozess der Planetenentstehung länger dauert, als von den aktuellen Modellen prognostiziert wird oder die jupiterähnlichen Planeten formieren sich in größerer Entfernung zu ihrem Mutterstern und erreichen erst durch Migration ihre sternnahe Umlaufbahn.

Sowohl für den Fall einer Planetendetektion als auch der Nichtdetektion würden dadurch wichtige Rahmenbedingungen für die Theorie der Planetenentstehung und -entwicklung gesetzt.

⁵englisch für Initiative zur Suche nach Transiten von jungen Exoplaneten

Kapitel 2

Grundlagen

Bei der Suche nach Exoplaneten wird zwischen *direkten* und *indirekten Nachweismethoden* unterschieden. Bei ersteren kann der Planet selbst direkt neben seinem Mutterstern abgebildet werden. Dies ist mittels Hochkontrastbeobachtungsverfahren an Teleskopen der Acht-Meter-Klasse unter Verwendung einer adaptiven Optik möglich. So wurde beispielsweise auch der 14 Myr junge Planet YSES 2 b am Very Large Telescope mit dem Instrument SPHERE¹ detektiert (Bohn et al., 2021). Im Gegensatz dazu wird bei den indirekten Nachweismethoden der Mutterstern beobachtet und die Existenz des Planeten wird durch dessen Wechselwirkung mit dem Mutterstern festgestellt. Hierzu zählen die astrometrische Methode, die Gravitationslinsenmethode, die Lichtlaufzeitmethode, die Radialgeschwindigkeitsmethode und die Transitmethode. Nachfolgend werden die Radialgeschwindigkeits- und Transitmethode vorgestellt sowie mögliche Szenarien für nicht-planetare, transitähnliche Signale und die damit verbundenen, notwendigen Nachfolgebeobachtungen erläutert. Den Abschluss bildet die Vorstellung zweier Methoden zur Altersbestimmung von Sternen.

2.1 Radialgeschwindigkeitsmethode

Sterne besitzen kontinuierliche Spektren, in denen Absorptions- und/oder Emissionslinien enthalten sind, welche aus der Wechselwirkung von Strahlung und Materie in den unterschiedlichen Schichten des Sterns resultieren. In den äußeren Sternschichten entstehen Absorptions- bzw. Emissionslinien durch Elektronen, welche Übergänge zwischen den gebundenen Energiezuständen in freien Atomen vollziehen. Dabei ist die Wellenlänge der absorbierten/emittierten Strahlung durch die diskreten Werte der Energiedifferenzen determiniert. Folglich weist jedes chemische Element eine spezifische Anzahl an charakteristischen Wellenlängen auf. Der

¹Spectro-Polarimetric High-contrast Exoplanet REsearch, englisch für Spektro-polarimetrische Hochkontrast-Exoplanetenforschung

2.1. Radialgeschwindigkeitsmethode

kontinuierliche Anteil des Sternspektrums resultiert aus Übergängen zwischen Energieniveaus, wobei mindestens einer der beiden Zustände ungebunden ist. Die entsprechenden Bedingungen dafür sind in den inneren Sternschichten gegeben. In diesen befindet sich heißes Plasma, das unter hohem Druck steht und über ausreichend freie Ladungsträger verfügt (Demtröder, 2016; Kaler, 1994).

Die detektierten Linien in einem Spektrum geben nicht nur Auskunft über die chemische Zusammensetzung des Sterns, sondern anhand der Form und Tiefe der jeweiligen Spektrallinien auch über dessen Effektivtemperatur T_{eff} und Oberflächenbeschleunigung g . Das Profil einer Linie wird durch eine Kombination mehrerer Verbreiterungsmechanismen bestimmt. Bei diesen handelt es sich um die natürliche Linienbreite infolge der Heisenbergschen Energie-Zeit-Unschärferelation, die Stoßverbreiterung durch den vorherrschenden Druck im Stern sowie die Dopplerverbreiterung durch die thermische Bewegung der Teilchen. Das daraus resultierende Voigt-Profil ist die Faltung des Lorentzprofils, welches in den Dämpfungsflügeln der Linie dominiert und des Gaußprofils, welches im Doppler-Kern vorherrscht (Unsöld & Baschek, 2005).

Die radiale Bewegung eines Sterns mit der Geschwindigkeit v relativ zum Beobachter beeinflusst die Position der Linien im Spektrum. Infolge des optischen Dopplereffekts ist die Wellenlänge λ der Spektrallinien eines sich bewegenden Sterns gegenüber der gemessenen Laborwellenlänge λ_0 einer ruhenden Strahlungsquelle verschoben. Dabei ist die *Radialgeschwindigkeit* des Sterns

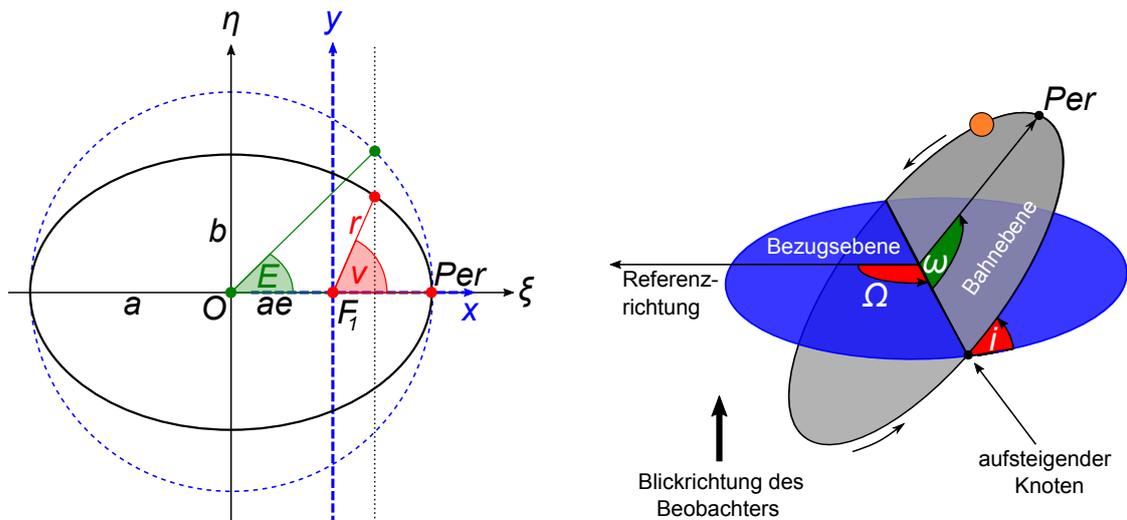
$$v_{\text{rad}} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} \cdot c + v_{\text{BK}} \quad (v_{\text{rad}}, v_{\text{BK}} \ll c) \quad (2.1)$$

positiv, wenn dieser sich vom Beobachter entfernt und c entspricht der Lichtgeschwindigkeit. In diesem Fall liegt eine Rotverschiebung der Spektrallinien vor. Im Umkehrschluss bewegt sich der Stern bei negativen Geschwindigkeiten auf den Beobachter zu und die Linien sind blau verschoben (Unsöld & Baschek, 2005). Die baryzentrische Korrektur v_{BK} verschiebt den Beobachtungsstandort in das Baryzentrum² unseres Sonnensystems. Dadurch wird der Anteil der Wellenlängenverschiebung eliminiert, welcher aus der Bewegung des Beobachtungsstandortes (bspw. der Rotation der Erde) um den Schwerpunkt des Sonnensystems resultiert.

Wird ein Stern von einem Begleiter³ umkreist, so führt deren gravitative Wechselwirkung dazu, dass sich sowohl der Stern als auch dessen Begleiter periodisch um das gemeinsame Baryzentrum bewegen. Infolgedessen tritt eine periodische Verschiebung der Spektrallinien und damit einhergehende Veränderung der Radialgeschwindigkeit auf. Den Keplerschen Gesetzen entsprechend erfolgt die Bewegung des Sterns und seines Begleiters auf elliptischen Bahnen.

²Schwerpunkt, auch Massenmittelpunkt genannt

³Mögliche Begleiter können substellar (Planeten, Braune Zwerge) oder stellar (Sterne) sein.



(a) Die wahre Umlaufbahn des Begleiters (schwarz) mit dazugehörigem Hilfskreis (blau), aufbauend auf Murray und Dermott (1999).

(b) Ausrichtung der Bahnebene des Begleiters zur Bezugsebene des Beobachters, nach Batten (1973).

ABBILDUNG 2.1: Darstellung der Bahnelemente zur Bewegungsbeschreibung des Begleiters auf seiner Umlaufbahn.

Nachfolgend werden die zur Beschreibung dieser Bewegung erforderlichen Bahnparameter und deren Zusammenhänge, aufbauend auf Murray und Dermott (1999), vorgestellt.

Die Form der elliptischen Umlaufbahn kann mit Hilfe der großen Halbachse a , der kleinen Halbachse b und der numerischen Exzentrizität e (hiernach nur noch als Exzentrizität bezeichnet) charakterisiert werden. Dabei ist es möglich die Bewegung des Begleiters relativ zum Zentrum der Ellipse O oder zu deren Brennpunkt F_1 zu beschreiben. Der Abstand zwischen O und F_1 ist das Produkt aus der großen Halbachse und der Exzentrizität. Des Weiteren sei der Mutterstern hierbei in F_1 positioniert. Der Periastron Per ist dabei der Ort entlang der Ellipsenbahn, welcher den kleinsten Abstand zu F_1 hat. Der aufgespannte Winkel zwischen Per , F_1 und der Position des Begleiters auf der elliptischen Bahn ist die wahre Anomalie ν . Der Abstand des Begleiters zu F_1 ist r . Die exzentrische Anomalie E ist der Winkel zwischen Per , O und der Position auf dem Hilfskreis. Die eben genannten Bahnelemente sind in Abbildung 2.1 dargestellt.

Für die Koordinaten des Begleiters gelten die Gleichungen

$$\xi = a \cos(E), \quad \eta = b \sin(E), \quad (2.2)$$

$$x = r \cos(\nu), \quad y = r \sin(\nu) \quad (2.3)$$

2.1. Radialgeschwindigkeitsmethode

und
$$\frac{\xi^2}{a^2} + \frac{\eta^2}{b^2} = 1. \quad (2.4)$$

Unter deren Verwendung ist es möglich, die Position des Begleiters auf der Ellipse in Bezug zum Brennpunkt mittels der großen Halbachse, der Exzentrizität und der exzentrischen Anomalie auszudrücken. Somit gilt

$$x = a(\cos(E) - e), \quad y = a \sin(E) \cdot \sqrt{1 - e^2} \quad (2.5)$$

und
$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = a(1 - e \cos(E)). \quad (2.6)$$

Mittels zeitlicher Ableitung folgt aus den Gleichungen 2.3 und 2.5 die Kepler-Gleichung

$$\overline{M} = E - e \sin(E) = \frac{2\pi}{P}(t - T). \quad (2.7)$$

Die mittlere Anomalie \overline{M} setzt sich aus der Umlaufperiode P , der Zeit t und der Periastronzeit T zusammen. Dabei entspricht die Periastronzeit dem Zeitpunkt, zu dem sich der Begleiter durch das Periastron bewegt. Aus weiteren trigonometrischen Umformungen kann die zeitabhängige wahre Anomalie mittels

$$\nu = \frac{1}{2} \arctan \left[\sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \cdot \tan \left(\frac{E}{2} \right) \right] \quad (2.8)$$

beschrieben werden. Mit Hilfe der Bahnelemente a , e , P und T ist es somit möglich die wahre Position des Begleiters $r(t)$ relativ zum Brennpunkt, in welchem sich der Mutterstern befindet, zu charakterisieren. Die wahre Umlaufbahn erscheint dem Beobachter jedoch als projizierte Umlaufbahn auf der Himmelsfläche, die als Bezugsebene in Abbildung 2.1 dargestellt ist. Zur vollständigen Beschreibung der Bewegung des Begleiters werden deshalb die projizierenden Bahnelemente benötigt, bestehend aus der Inklination i , der Länge des aufsteigenden Knotens Ω und der Länge des Periastrons ω . Die Inklination ist der Neigungswinkel zwischen Bezugsebene und der Bahnebene des Begleiters. Die Länge des aufsteigenden Knotens ist der Winkel zwischen Referenzrichtung und der Knotenlinie, welcher ausgehend von der Referenzrichtung zum aufsteigenden Knoten gemessen wird. Als Referenzrichtung kann bspw. die Nordrichtung oder die Richtung zum Frühlingspunkt verwendet werden. Die Länge des Periastron ist der Winkel zwischen dem aufsteigenden Knoten und dem Periastron in der Bahnebene.

Der Abstand z des Muttersterns zur Bezugsebene kann zu jedem Zeitpunkt durch

$$z = r \sin(i) \sin(\nu + \omega) \quad (2.9)$$

beschrieben werden (Aitken, 1935). Die dazugehörige zeitliche Änderungsrate ist

$$\frac{dz}{dt} = \frac{dr}{dt} \sin(i) \sin(\nu + \omega) + r \sin(i) \cos(\nu + \omega) \frac{d\nu}{dt}, \quad (2.10)$$

wobei sich $r \frac{d\nu}{dt} = \frac{2\pi a_* (1 + \cos(\nu))}{P\sqrt{1-e^2}}$ und $\frac{dr}{dt} = \frac{2\pi \sin(\nu)}{P\sqrt{1-e^2}}$ für die Bewegung des Sterns auf einer elliptischen Umlaufbahn, mit der dazugehörigen großen Halbachse a_* , ergeben (Aitken, 1935). Dadurch folgt für Gleichung 2.10

$$\frac{dz}{dt} = \frac{2\pi a_* \sin(i)}{P\sqrt{1-e^2}} \cdot [e \cos(\omega) + \cos(\nu + \omega)]. \quad (2.11)$$

Eine Verschiebung in den Schwerpunkt des beobachteten Sternsystems liefert

$$v_{\text{rad}} = \frac{dz}{dt} + \gamma = \frac{2\pi a_* \sin(i)}{P\sqrt{1-e^2}} \cdot [e \cos(\omega) + \cos(\nu + \omega)] + \gamma, \quad (2.12)$$

was der Radialgeschwindigkeit des Sterns entspricht (Aitken, 1935). Dabei ist γ die Schwerpunktgeschwindigkeit und

$$K = \frac{2\pi a_* \sin(i)}{P\sqrt{1-e^2}} \quad (2.13)$$

die Amplitude der Radialgeschwindigkeit. In umgekehrter Weise ist es auch möglich, die Bahnelemente aus der Radialgeschwindigkeitskurve zu bestimmen. Hierzu sei bspw. auf Günzel-Lingner (1955) und Johnson (2004) verwiesen.

Die identifizierbaren Bahnelemente aus Radialgeschwindigkeitsmessungen sind P , T , ω und e . Dabei ist es unmöglich, die Inklination oder die Länge des aufsteigenden Knotens zu bestimmen. Somit kann auch lediglich eine Abschätzung über die Minimallänge der großen Halbachse $a_* \sin(i)$ getroffen werden. Für den Fall eines masseärmeren Begleiters, wie bspw. einen Planeten, kann die Massenfunktion als

$$f(m) = \frac{M_{\text{P}}^3 \cdot \sin^3(i)}{(M_* + M_{\text{P}})^2} = \frac{(1 - e^2)^{3/2} \cdot P \cdot K^3}{2\pi \cdot G} \quad (2.14)$$

beschrieben werden, wobei M_* die Masse des Muttersterns, M_{P} die Masse des Planeten und G die Gravitationskonstante ist (Batten, 1973). Aus dem Schwerpunktsatz $M_{\text{P}} \cdot a = M_* \cdot a_*$ und Gleichung 2.14 folgt, unter der Bedingung $M_* \gg M_{\text{P}}$, eine Abschätzung der *Mindestmasse des Planeten*

$$M_{\text{P}} \cdot \sin(i) = \frac{M_* \cdot \sin(i) \cdot a_*}{a} = \sqrt{1 - e^2} \cdot \left(\frac{P \cdot M_*^2}{2\pi \cdot G} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot K, \quad (2.15)$$

wobei a die große Halbachse der Umlaufbahn des Planeten ist.

2.2 Transitmethode

Die Transitmethode ist aktuell das erfolgreichste Verfahren zum Auffinden von Exoplaneten. Der erste Transitplanet wurde 1999 durch photometrische Beobachtungen des sonnenähnlichen Sterns HD 209458 von Charbonneau, Brown, Latham und Mayor (2000) sowie Henry, Marcy, Butler und Vogt (2000), unabhängig voneinander, entdeckt. Aus der dazugehörigen Lichtkurve des Planetentransits, also der gemessenen scheinbaren Helligkeit m bzw. dem Fluss F aufgetragen über der Zeit t , können Informationen über den Radius des Planeten und die Inklination der Planetenbahn, wie nachfolgend gezeigt, gewonnen werden. In Kombination mit der Radialgeschwindigkeitsmethode kann somit auch die wahre Masse des Begleiters bestimmt werden.

Bei einem Planetentransit zieht der Exoplanet entlang der Sichtlinie des Beobachters vor seinem Mutterstern vorbei und verdeckt diesen teilweise. Dieses Ereignis wird auch als Primärtransit bezeichnet. Der Sekundärtransit, bei dem der Planet hinter dem Mutterstern vorbeizieht, ereignet sich eine halbe Umlaufperiode später. Die gegenseitige Bedeckung hat zur Folge, dass sich der gemessene Fluss während des Transits verringert. Um einen Transitplaneten zu beobachten, muss die Bahnebene des Planeten gegenüber der Bezugsebene des Beobachters ausreichend geneigt sein ($i \approx 90^\circ$).

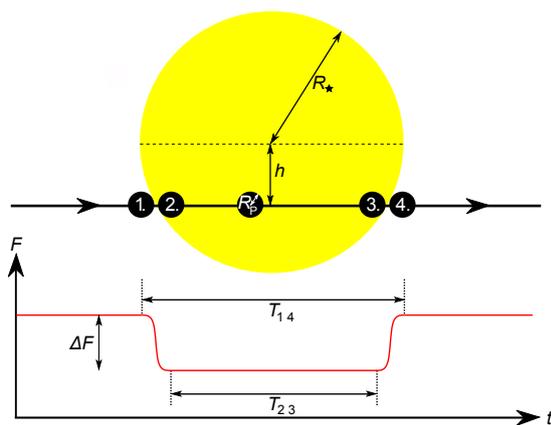


ABBILDUNG 2.2: Schematische Darstellung einer Transitlichtkurve nach Seager und Mallén-Ornelas (2003).

Die folgenden Überlegungen setzen voraus, dass der Planet sich auf einer Kreisbahn bewegt, dass das Massenverhältnis $M_\star \gg M_p$ gilt und der Begleiter keinen signifikanten Beitrag zum Gesamtfluss des Systems leistet. Weiterhin kommt der gemessene Fluss nur von einem Stern und ist nicht das Resultat mehrerer überblendeter Sterne. Außerdem muss der Planet während des Transits zeitweise vollständig vor der Kreisscheibe des Sterns stehen. Des Weiteren sollte die Umlaufperiode aus zwei aufeinanderfolgenden Transits bekannt sein sowie die Masse-Radius-Relation des Muttersterns (Seager & Mallén-Ornelas, 2003). Die Form der Licht-

kurve kann mittels Transittiefe ΔF , Transitdauer T_{14} und Dauer der Totalität T_{23} charakterisiert werden (Abbildung 2.2). Dabei entspricht T_{14} der vergangenen Zeit vom 1. bis zum 4. Kontakt und T_{23} jener vom 2. bis zum 3. Kontakt (Seager & Mallén-Ornelas, 2003). Die als Helligkeitsunterschied formulierte Transittiefe

$$\Delta m = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F - \Delta F}{F} \right) = -2,5 \log_{10} \left(1 - \left(\frac{R_P}{R_\star} \right)^2 \right) \quad (2.16)$$

ist der gemessene Fluss des Sterns während des Transits $F - \Delta F$ in Relation zu dem außerhalb des Transits F . Dabei spiegelt die Transittiefe das Verhältnis des Radius vom Planeten R_P zu dem des Sterns R_\star wider (Haswell, 2010). Bei einem kreisförmigen Orbit gilt für Transitdauer und Umlaufperiode

$$\frac{T_{14}}{P} = \frac{\alpha \cdot a}{2\pi \cdot a}, \quad (2.17)$$

wobei α der während des Transits überstrichene Winkelbereich der Umlaufbahn ist. Aufbauend auf der Geometrie in Abbildung 2.2 gilt

$$\sin(\alpha) = \frac{2 \cdot \sqrt{(R_\star + R_P)^2 - h^2}}{a}. \quad (2.18)$$

Dabei ist die scheinbare Höhe $h = a \cos(i)$ der Abstand, mit welchem der Exoplanet ober- bzw. unterhalb des Sternmittelpunkts während der zeitlichen Mitte des Transits vorbeizieht. Der Impaktparameter $b = \frac{h}{R_\star} = \frac{a \cos(i)}{R_\star}$ ist die Angabe der scheinbaren Höhe dividiert durch den Sternradius (Seager & Mallén-Ornelas, 2003). Aus den Gleichungen 2.17 und 2.18 ergibt sich

$$T_{14} = \frac{P}{\pi} \arcsin \left(\frac{\sqrt{(R_\star + R_P)^2 - a^2 \cos^2(i)}}{a} \right) \quad (2.19)$$

für die Transitdauer (Haswell, 2010). In analoger Weise folgt für die Dauer der Totalität

$$T_{23} = \frac{P}{\pi} \arcsin \left(\frac{\sqrt{(R_\star - R_P)^2 - a^2 \cos^2(i)}}{a} \right). \quad (2.20)$$

Mit dem dritten Keplerschen Gesetz kann unter Berücksichtigung der obigen Annahmen die große Halbachse durch

$$a = \left(\frac{P^2 G (M_\star + M_P)}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} \approx \left(\frac{P^2 G M_\star}{4\pi^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.21)$$

bestimmt werden. Sind weiterhin die Masse und der Radius des Muttersterns bekannt, so kann aus der gemessenen Transittiefe, Transitdauer und Umlaufperiode unter Verwendung der Gleichungen 2.16, 2.19 und 2.21 die Inklination

$$i = \arccos \left(\frac{\sqrt{R_{\star}^2 \left(1 + \frac{R_p}{R_{\star}}\right)^2 - a^2 \sin^2 \left(\frac{T_{14}}{P} \pi\right)}}{a} \right) \quad (2.22)$$

berechnet werden.

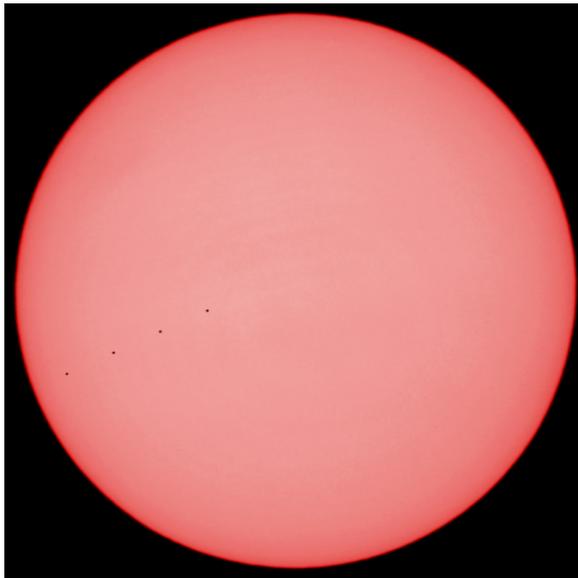
Bei den obigen Betrachtungen wurde vorausgesetzt, dass der emittierte Strahlungsfluss auf der gesamten Sternoberfläche homogen ist und die Lichtkurve somit einen flachen Boden besitzt. Allerdings ist die Helligkeit im Zentrum der Sternscheibe maximal und nimmt zum Rand hin deutlich ab (Abbildung 2.3 (a)). Dieses Phänomen, welches sich mittels Strahlungstransport in den Schichten der Sternatmosphäre erklären lässt, wird als Randverdunklung bezeichnet und beeinflusst die Form der Lichtkurve (Haswell, 2010). Die optische Tiefe einer Atmosphärenschicht

$$\tau_{\nu} = \int_x^{\infty} \rho(s) \kappa_{\nu} \, ds \quad (2.23)$$

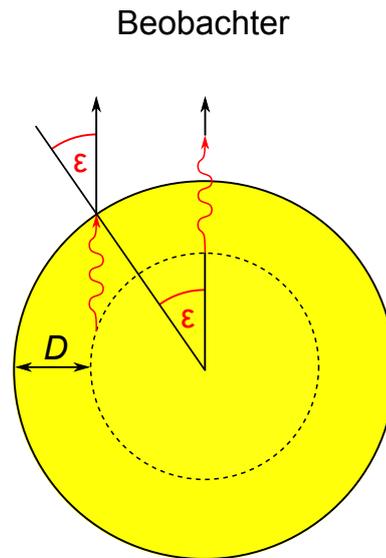
beeinflusst maßgeblich die Wahrscheinlichkeit, mit der ein emittiertes Photon aus jener Schicht den Stern verlassen wird. Dabei ist τ_{ν} das Integral entlang des zurückgelegten Weges vom Startpunkt (x) zum Beobachter (∞), über dem Produkt der frequenzabhängigen Opazität κ_{ν} und der Dichte $\rho(s)$ an der jeweiligen Position. Infolgedessen ist die optische Tiefe in ein und derselben Schicht der Sternatmosphäre für Strahlung, in Abhängigkeit der dazugehörigen Wellenlänge, auch unterschiedlich stark ausgeprägt (Haswell, 2010). Die ständige Streuung sowie Emission und Absorption der Strahlung innerhalb der Atmosphäre führt dazu, dass Photonen am Rand des Sterns einen größeren Weg s in Richtung des Beobachters zurücklegen müssen als jene aus der gleichen Tiefe D im Zentrum der Sternscheibe. Infolgedessen ist die Wahrscheinlichkeit für Photonen, den Beobachter zu erreichen, am Rand des Sterns geringer. Somit ist auch die optische Tiefe am Rand höher als im Zentrum. Der dazu benötigte Weg lässt sich, wie in Abbildung 2.3 (b) dargestellt, mit Hilfe des Winkels ε beschreiben als

$$s \approx \frac{D}{\cos(\varepsilon)} = \frac{D}{\mu}. \quad (2.24)$$

Dabei sei $D \ll R_{\star}$ vorausgesetzt (Haswell, 2010).



(a) Beobachtete Randverdunklung der Sonne während des Merkurtransits am 11.11.2019 zwischen 13:57 und 15:27 MEZ. Die Beobachtungen wurden von M. Mugrauer, R. Bischoff und M. Geymeier mittels $H\alpha$ -Teleskop (6563 \AA) aufgenommen und von M. Mugrauer prozessiert.



(b) Querschnitt eines Sterns zur Veranschaulichung der optischen Tiefe und des zurückgelegten Weges von emittierten Photonen, nach Haswell (2010).

ABBILDUNG 2.3: Darstellungen zur Randverdunklung bei Sternen.

Eine empirisch detaillierte Messung der Randverdunklung liegt momentan nur für die Sonne vor (Haswell, 2010). Für andere Sterne ist eine Messung der Randverdunklung mittels Gravitationslinseneffekt möglich oder sofern der untersuchte Stern nicht zu weit entfernt ist, um räumlich aufgelöst beobachtet zu werden (Yang et al., 2021). Da dies für die meisten Sterne nicht gegeben ist, werden numerische Modelle der Sternatmosphären verwendet, um deren Intensitätsverteilung zu simulieren. Die Beschreibung der Randverdunklung erfolgt dabei mit Hilfe der Randverdunklungsgesetze. Typische Ansätze für diese spezifischen Verteilungen sind dabei

$$\text{das lineare Gesetz} \quad \frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - u(1 - \mu), \quad (2.25)$$

$$\text{das quadratische Gesetz} \quad \frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - a(1 - \mu) - b(1 - \mu)^2, \quad (2.26)$$

$$\text{das Quadratwurzel Gesetz} \quad \frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - c(1 - \mu) - d(1 - \sqrt{\mu}) \quad (2.27)$$

$$\text{und das logarithmische Gesetz} \quad \frac{I(\mu)}{I(1)} = 1 - e(1 - \mu) - f\mu \ln(\mu), \quad (2.28)$$

wobei $I(1)$ die Intensität im Zentrum der Sternscheibe ist und μ aus Gleichung 2.24 hervorgeht.

Bei u, a, b, c, d, e und f handelt es sich um die dazugehörigen Randverdunklungskoeffizienten (Claret, 2008).

2.3 Falsch-positive Szenarien für eine Transitplanetendetektion

Neben einem Planetentransit gibt es eine Reihe weiterer Möglichkeiten, wie in Abbildung 2.4 illustriert, die einen ähnlich periodischen Helligkeitseinbruch bei einem Stern verursachen können. Um festzustellen, ob es sich bei einem gefundenen Transitkandidaten um einen Planeten handelt, müssen Nachfolgebeobachtungen durchgeführt werden. Diese sind für den Ausschluss einer falsch-positiven Detektion erforderlich.

Die Transittiefe spiegelt lediglich das Radienverhältnis der sich gegenseitig bedeckenden Himmelskörper wider (Gleichung 2.16). Infolgedessen kann ein ähnliches Signal auch durch ein Doppelsternsystem, bestehend aus einem Riesenstern und einem massereichen Hauptreihenstern oder durch einem Hauptreihenstern der Spektralklasse F, G oder K mit einem masseärmeren stellaren Begleiter, verursacht werden (Santerne et al., 2013). In diesen Fällen ist der Beitrag des Begleiters zum Gesamtfluss oftmals nicht mehr zu vernachlässigen. Die Transittiefe ist somit abhängig vom verwendeten Farbfilter (Charbonneau et al., 2004), da gemäß dem Planckschen Strahlungsgesetz die Farbe von Schwarzen Strahlern, als welche Sterne näherungsweise betrachtet werden können, durch deren Temperatur determiniert ist (Demtröder, 2016). Damit einhergehend beschreibt das Stefan-Boltzmann-Gesetz die Strahlungsleistung $P = \sigma \cdot A \cdot T_{\text{eff}}^4$ eines Schwarzen Strahlers mit dessen abstrahlender Fläche A , seiner Effektivtemperatur T_{eff} und der Stefan-Boltzmann-Konstanten σ (Demtröder, 2021). Dadurch ergibt sich für die gemessene Transittiefe

$$\Delta m = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_{\star_1} \left[1 - \left(\frac{R_{\star_2}}{R_{\star_1}} \right)^2 \right] + F_{\star_2}}{F_{\star_1} + F_{\star_2}} \right), \quad (2.29)$$

wobei \star_1 den Fluss bzw. Radius der teilweise bedeckten Hauptkomponente des Doppelsternsystems und \star_2 den des bedeckenden Begleitsterns indiziert. Infolgedessen lässt sich ein Großteil der nicht-planetaren Bedeckungen mittels Multiband-Photometrie ausschließen, da Planeten keine signifikante Abhängigkeit ihrer Transittiefe vom verwendeten Filter zeigen (Kotredes, Charbonneau, Looper & O'Donovan, 2004). Ein weiterer Hinweis auf einen stellaren Begleiter ist die Detektion eines Sekundärtransits mit einem bodengebundenen Teleskop der Meter-

Klasse, was nur gelingen kann, wenn der Begleiter einen signifikanten Anteil am Gesamtfluss des Systems hat, wie es bei stellaren Begleitern oftmals der Fall ist (Charbonneau et al., 2004). Sofern die Hauptkomponente als Riesenstern identifiziert wird, kann ein Planet als Begleiter ebenfalls verworfen werden. Der Helligkeitseinbruch eines transitierenden Planeten wäre in diesem Fall zu gering, um bodengebunden von einem Meter-Klasse-Teleskop detektiert werden zu können. Riesen weisen zudem schmale Spektrallinien auf, da wegen der geringen Dichte in ihren Atmosphären weniger Druckverbreiterung stattfindet als bei Hauptreihensternen (Zwergen) (Kaler, 1994). Sie können somit anhand ihres Spektrums erkannt werden. Die Berechnung der absoluten Helligkeit

$$\mathcal{M}_\lambda = m_\lambda - 5 \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right) - A_\lambda \quad (2.30)$$

in einem beliebigen Wellenlängenbereich λ mit der scheinbaren Helligkeit m_λ , der Entfernung zum Beobachter d sowie der Extinktion im dazugehörigen Filter A_λ ermöglicht die Einordnung des Sterns in ein Hertzsprung-Russell-Diagramm (HRD) bzw. in ein Farben-Helligkeits-Diagramm (FHD), wie bspw. in Abbildung 4.2 dargestellt. Dabei ist nur eine spezifische Konfiguration aus absoluter Helligkeit und Farbunterschied/Temperatur für Riesen- bzw. Zwergsterne möglich (bspw. Brown, 2003), wodurch diese ebenfalls voneinander unterscheidbar sind.

Hauptreihensterne der späten Spektralklasse M und Braune Zwerge (Abbildung 2.4 (b)) besitzen eine vergleichbare Größe wie Jupiter-ähnliche Planeten (Abbildung 2.4 (a)) und können ebenfalls die Ursache für eine falsch-positive Planetendetektion sein. Diese Objekte können allerdings anhand ihrer Masse unterschieden werden. Planeten sind keine Fusionsreaktoren und besitzen somit Massen $M \lesssim 13 M_{\text{Jup}}$. Braune Zwerge können Deuterium fusionieren, aber in ihnen findet kein stabiles Wasserstoffbrennen statt. Ihre Massen liegen im Bereich $13 M_{\text{Jup}} < M \lesssim 80 M_{\text{Jup}}$. Objekte mit $M > 80 M_{\text{Jup}}$ sind Sterne und zeichnen sich durch eine stabile Wasserstofffusion aus (Seager & Mallén-Ornelas, 2003). Infolgedessen verursachen diese drei Gruppierungen unterschiedlich starke Amplituden in der Radialgeschwindigkeitsvariation ihrer umkreisten Muttersterne und können mit hoch aufgelösten Spektren erkannt werden.

Die Transittiefe eines bedeckungsveränderlichen Doppelsterns ist typischerweise deutlich tiefer als bei einem Planetentransit. Der Transit kann bis zu $\approx 0,753 \text{ mag}$ tief sein, wenn es sich dabei um die vollständige Bedeckung zweier Hauptreihensterne des gleichen Spektraltyps handelt, da währenddessen nur die Hälfte des sonst üblichen Flusses messbar ist. Befindet sich entlang der Sichtlinie eine weitere, unaufgelöste Lichtquelle im Vorder- oder Hintergrund des Doppelsterns (Abbildung 2.4 (c)), so kann deren zusätzlicher Fluss dazu führen, dass die detek-

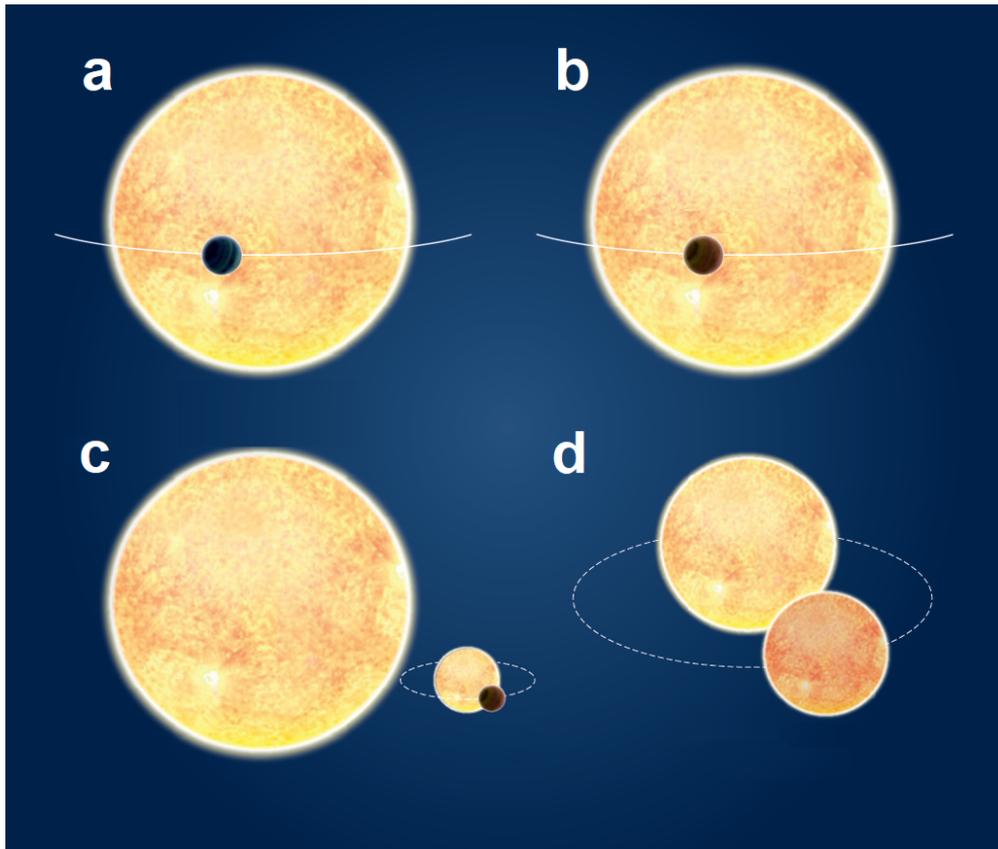


ABBILDUNG 2.4: Wahrscheinlichste Anordnung von Himmelskörpern für die Entstehung eines photometrischen Signals, welches einem Planetentransit ähnelt: (a) ein Jupiter-ähnlicher Planet verdeckt einen Teil der abstrahlenden Sternoberfläche, (b) ein Brauner Zwerg oder ein massearmerer Stern umkreist einen Hauptreihenstern, (c) ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern wird von einem weiteren Stern überblendet und (d) eine partielle Bedeckung in einem Doppelsternsystem. Aus Cameron (2012).

tierbare Transittiefe auf ein planetares Niveau abflacht (Cameron, 2012). Solche Systeme können von Teleskopen der Acht-Meter-Klasse durch Hochkontrastbeobachtungen im infraroten Wellenlängenbereich mit einer adaptiven Optik aufgelöst werden. Allerdings kann selbst ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern der späten Spektralklassen bei einem Winkelabstand $\varphi < 0,1''$ innerhalb der Punktspreadfunktion (PSF)⁴ eines Sterns der frühen oder mittleren Spektralklassen nicht mehr astrometrisch detektiert werden (bspw. Beuzit et al., 2019). In diesem Fall sind spektroskopische Beobachtungen erforderlich, da innerhalb des Spektrums ggf. die Absorptionslinien der einzelnen stellaren Komponenten identifiziert werden können.

Eine flache, planeten-ähnliche Transittiefe kann sich auch bei der partiellen Bedeckung zwei-

⁴Die Punktspreadfunktion, auch Punktbildfunktion oder Punktverwaschungsfunktion genannt, ist eine Angabe für die Intensitätsverteilung punktförmiger Lichtquellen (z.B. Sterne) nach dem Durchlaufen eines optischen Systems (Haferkorn, 1986).

er Sterne ergeben (Abbildung 2.4 (d)), welche sich aber aufgrund des V-förmigen Profils der Lichtkurve von der zu erwartenden U-Form eines Planetentransits unterscheidet (Cameron, 2012). Sollten in dessen Spektrum jeweils zwei getrennte Absorptionslinien sichtbar sein, so ist dies ein Beweis für einen stellaren Begleiter, da deren Spektrallinien, entsprechend ihrer verschiedenen Radialgeschwindigkeiten, verschoben sind (Charbonneau et al., 2004).

2.4 Methoden zur Altersbestimmung

In diesem Kapitel werden der Lithiumtest und die Positionierung von Isochronen im HRD bzw. FHD als Methoden zur Altersbestimmung von Sternen vorgestellt. Dabei wird angenommen, dass das Alter des Planetenmuttersterns und das des Planeten in einer vergleichbaren Größenordnung liegt. Für eine ausführliche Betrachtung weiterer Altersbestimmungsverfahren sei auf Soderblom et al. (2014) verwiesen.

Vorhauptreihensterne kontrahieren noch, während sie altern und sich in Richtung der Hauptreihe im HRD entwickeln. Dabei erhöhen sie zunehmend ihre Temperatur. Ab dem Erreichen von Temperaturen $> 3 \cdot 10^6$ K in ihrem Inneren sind diese in der Lage, Lithium zu fusionieren. Durch Konvektionsprozesse kann oberflächennahes Lithium in tiefere Sternschichten gelangen, wo es verbrannt wird. Somit reduzieren Sterne während des Alterungsprozesses ihren Anfangsvorrat des Isotops ${}^7\text{Li}$. Infolgedessen kann die Detektion der Lithiumlinie bei 6708 \AA im Sternspektrum als Jugendindikator verwendet werden (Neuhäuser, 1997; Soderblom et al., 2014). Die Lithiummethode kann zur Altersbestimmung nur bei Zwergsternen mit einer Masse $M \in (0,4; 1,2) M_{\odot}$ genutzt werden. Dies entspricht den späten Untergruppen der Spektralklasse F bis hin zu frühen Untergruppen der Spektralklasse M. Sterne mit $M > 1,2 M_{\odot}$ bilden bereits frühzeitig eine radiative Hülle aus, wodurch das Lithium nicht mehr in die tieferen und ausreichend heißen Schichten des Sterns gelangen kann, um fusioniert zu werden. Im Gegensatz dazu haben Zwergsterne mit $M < 0,4 M_{\odot}$ bereits innerhalb von ca. 10 Myr den gesamten Lithiumvorrat, infolge ihrer hohen Konvektivität, verbrannt (Soderblom et al., 2014; Voigt, 2012). Durch den Vergleich der Äquivalentbreite der Lithiumlinie sowie der Effektivtemperatur eines Sterns mit den entsprechenden Verteilungen von Sternhaufen mit bereits bekanntem Alter (Abbildung 2.5) kann die Abschätzung einer Altersangabe für den Stern erfolgen (Bischoff et al., 2021; Bischoff, Mugrauer, Torres et al., 2020; Lux, Neuhäuser, Mugrauer & Bischoff, 2021; Neuhäuser, 1997; Soderblom et al., 2014).

Eine weitere Möglichkeit zur Bestimmung des Sternalters bietet der Vergleich mit Isochronen. Dabei handelt es sich um Kurven im HRD oder FHD (bspw. Abbildung 6.5), welche die

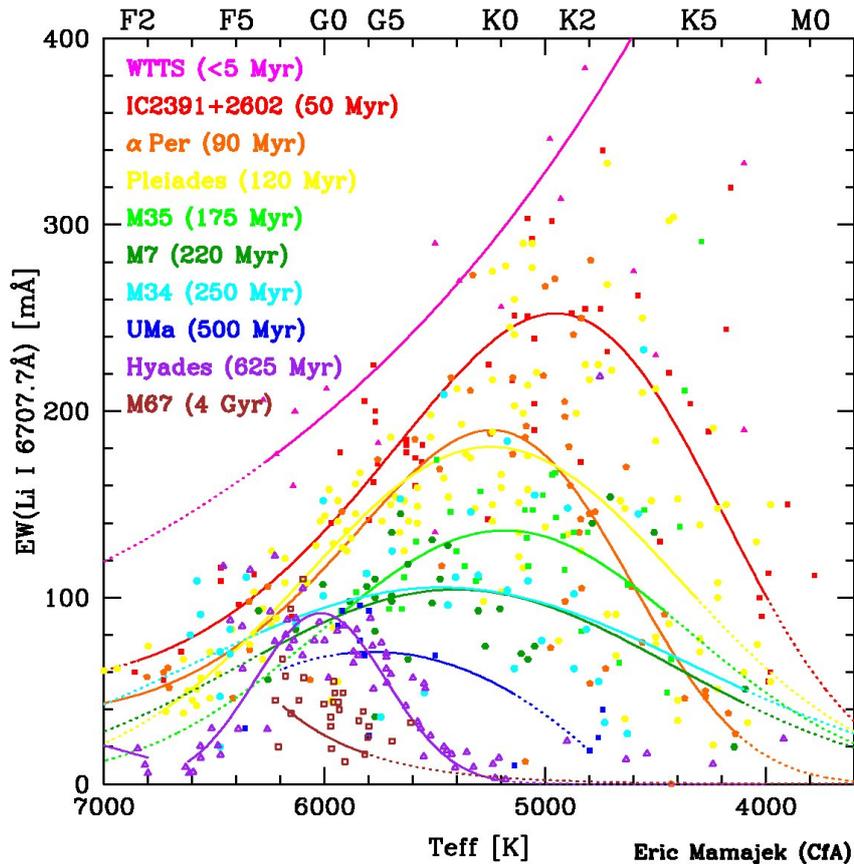


ABBILDUNG 2.5: Für Sternhaufen mit bekanntem Alter wurde die gemessene Äquivalentbreite der Lithiumlinie bei 6708 Å über der Effektivtemperatur der Mitgliedssterne aufgetragen. An diese Verteilungen wurden Polynome durch E. Mamajek angepasst. Diese sind als bunte Linien dargestellt und können als Isochronen angesehen werden. Die Abbildung entstammt der Webseite von E. Mamajek⁵.

Position von Sternen gleichen Alters kennzeichnet. Der Verlauf einzelner Isochronen wird anhand von theoretischen Sternatmosphären berechnet. Die dafür zugrunde liegenden Modelle erfordern detailliertes Wissen bzgl. physikalischer Zustandsgleichungen, Opazität, chemischer Zusammensetzung, Energiefreisetzung und -transport der Sterne. Die theoretischen Modelle führen zu Prognosen von beobachtbaren Größen wie bspw. absoluter Helligkeit und Farbe der Sterne (Soderblom et al., 2014). Um das Alter eines Sterns aus seiner Position im FHD zu bestimmen, ist es erforderlich, dessen Metallizität zu kennen, da auch die Position der Isochronen metallizitätsabhängig ist (Bonfils et al., 2005; Mann, Feiden, Gaidos, Boyajian & von Braun, 2015). Des Weiteren muss die Farbe des Sterns extinktionskorrigiert und auch etwaige Multiplizität berücksichtigt werden. Die Korrektur dieser Effekte setzt insbesondere die Kenntnis der Entfernung des Sterns voraus. Eine weitere Fehlerquelle bzgl. der Position im FHD ist die mögliche Variabilität des Sterns (Soderblom et al., 2014).

⁵online verfügbar unter <http://www.pas.rochester.edu/~emamajek/images/li.jpg>

Kapitel 3

Aufnahme und Prozessierung der YETI-Daten

Die in dieser Dissertation untersuchten Transitplanetenkandidaten wurden in photometrischen Beobachtungskampagnen der offenen Sternhaufen Trumpler 37 (Errmann et al., 2014), 25 Ori (Raetz et al., 2016), IC 348 (Fritzewski et al., 2016) und NGC 7243 (Garai et al., 2016) durch das YETI-Netzwerk detektiert. Nachfolgend wird das Netzwerk und dessen Funktion vorgestellt, die angewandte Strategie bei den Multiband-Nachbeobachtungen erläutert sowie wesentliche Schritte von `automat.py`, dem Datenreduktions- und Photometrieprogramm, welches für das Erstellen der Lichtkurven genutzt wurde, beschrieben.

3.1 Die Young Exoplanet Transit Initiative

Das YETI-Netzwerk ist ein Zusammenschluss von Observatorien mit Teleskopen der Meter-Klasse aus Amerika, Asien und Europa, welches die gezielte Suche nach jungen Exoplaneten verfolgt. Dazu wurden von 2009 bis 2018 junge, offene Sternhaufen mit einem Alter $\tau < 100$ Myr und einer Entfernung $d < 2500$ pc in mehrjährigen Beobachtungskampagnen photometrisch untersucht (Zieliński et al., 2018). Durch die Beteiligung von Standorten auf mehreren Kontinenten (Abbildung 3.1) war es bei entsprechender Wetterlage möglich, einen Sternhaufen für fast 24 h kontinuierlich zu beobachten, um währenddessen keinen potentiellen Planetentransit zu verpassen (Neuhäuser et al., 2011). Eine Beobachtungslücke ergab sich jedoch dadurch, dass kein Observatorium in der Mitte des Pazifischen Ozeans dauerhaft für die Kampagnen zur Verfügung stand (Errmann, 2016).

Für jeden untersuchten Sternhaufen fanden in zwei bzw. drei aufeinanderfolgenden Jahren mehrere YETI-Beobachtungskampagnen statt, wobei eine Kampagne typischerweise aus 7 bis 14 aufeinander folgenden Nächten bestand. Die dabei gewonnenen Daten wurden hauptsächlich

3.1. Die Young Exoplanet Transit Initiative

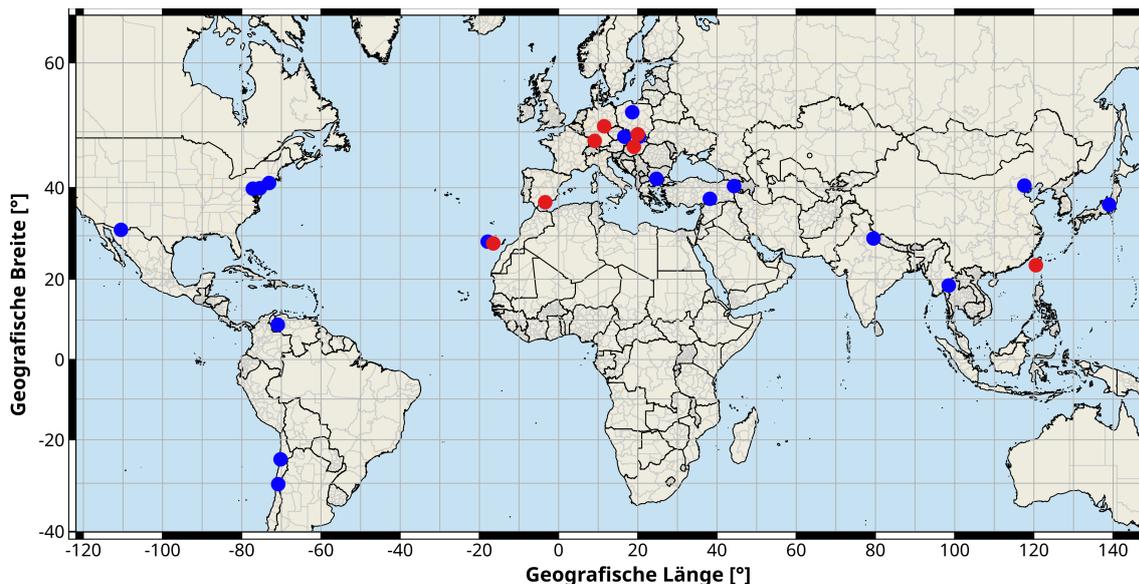


ABBILDUNG 3.1: Karte der Beobachtungsstandorte des YETI-Netzwerkes. Observatorien, die in vorangegangene Beobachtungskampagnen involviert waren, sind blau markiert. In rot dargestellt sind die Orte, an denen Nachfolgebeobachtungen im Rahmen dieser Dissertation erfolgten. Erstellt von D. Wagner mit QGIS.

lich im R -Band aufgenommen (Errmann et al., 2014; Neuhäuser et al., 2011) und in analoger Weise zu dem in Kapitel 3.3 beschriebenen Verfahren prozessiert. Die dabei erzielte Präzision der Daten des Schmidt-Teleskops der Universitäts-Sternwarte Jena am Beobachtungsstandort Großschwabhausen (GSH) beträgt im quadratischen Mittel 5 mmag für Sterne bis zu einer Grenzhelligkeit $R = 14,5$ mag bzw. 50 mmag bis zu einer Helligkeit $R = 16,5$ mag. Damit können Planeten mit einem Radius $R \geq 1 R_{\text{Jup}}$ und einer Periode $P < 14$ d detektiert werden, die Beobachtungsobjekte mit einer vergleichbaren Radius-Helligkeits-Relation der YETI-Sterne umlaufen (Neuhäuser et al., 2011).

In den zusammengesetzten Lichtkurven aus den Daten aller beteiligten Teleskope während der Kampagnen wird neben transitähnlichen Signalen auch nach irregulären Variabilitäten wie Flares¹ gesucht. Außerdem können Rotationsperioden der einzelnen Haufen- bzw. Feldsterne bestimmt sowie bedeckungsveränderliche Doppelsterne gefunden werden. Durch Addition der Einzelaufnahmen kann im zusammengesetzten, tief belichteten Bild (deep imaging) auch nach leuchtschwachen Braunen Zwergen gesucht werden (Neuhäuser et al., 2011).

¹Unregelmäßiger und sprunghafter Anstieg der Helligkeit von Zwergsternen des Spektraltyps K bis M innerhalb von wenigen Sekunden bis Minuten. Der anschließende Helligkeitsabfall dauert 10 min bis 100 min (Voigt, 2012).

3.2 Aufnahme der photometrischen Daten

Im Gegensatz zu den ursprünglichen YETI-Beobachtungen, bei denen eine möglichst große Phasenabdeckung der einzelnen Sterne erzielt werden sollte, lag bei den Nachfolgebeobachtungen der Fokus auf den Zeiträumen, in denen sich der transitähnliche Helligkeitseinbruch ereignen sollte. Um für die spätere Auswertung der Transitlichtkurven genügend Normallicht zur Verfügung zu haben, begannen die Beobachtungen in der Regel 1 h vor dem 1. Kontakt und endeten 1 h nach dem 4. Kontakt. Die möglichen Beobachtungszeiträume, inklusive der erforderlichen Zeiten außerhalb des Transits, wurden mit Hilfe des Programms `predictions.py` (Seeliger, 2015), auf den Ephemeriden des jeweiligen Transitkandidaten aufbauend, für jedes YETI-Observatorium individuell berechnet. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Beobachtungen bei ausreichend geringen Luftmassen² $X < 2,0$ und einer Mondstanz $\varphi > 60^\circ$ erfolgten. Aufgrund der wellenlängenabhängigen Sensitivität der CCD³-Detektoren in den einzelnen Kameras und der verschiedenen scheinbaren Helligkeiten der Transitmuttersterne in den jeweiligen Filtern, wurden die Belichtungszeiten der Einzelaufnahmen so angepasst, dass eine erwartete Messgenauigkeit der scheinbaren Helligkeiten in der Größenordnung von wenigen mmag erreicht wird. Auch wenn ggf. die zeitliche Auflösung der Lichtkurven dadurch verringert wird, ist dies dennoch notwendig, um die Transittiefe mit der erforderlichen Präzision zu bestimmen und auf etwaige Farbeffekte untersuchen zu können. Um mögliche Abbildungsfehler durch die Instrumentierung zu verringern, wie bspw. Vignettierung am Rand des CCD, wurden die Transitmuttersterne möglichst in der Mitte des Gesichtsfeldes platziert.

Eine Übersicht der im Rahmen dieser Arbeit an den Nachfolgebeobachtungen beteiligten Sternwarten und deren Instrumentierungen findet sich in Tabelle 3.1. Die Beobachtungslogbücher der einzelnen Transitplanetenkandidaten sind im Anhang in Kapitel A hinterlegt.

Die Beobachtungen im Rahmen dieser Dissertation erfolgten unter Verwendung von CCD-Sensoren. Der CCD besteht aus einer zweidimensionalen Anordnung von lichtempfindlichen Bauelementen, welche als Pixel bezeichnet werden. Bei den Pixeln handelt es sich um dotierte Halbleiter, an denen durch Elektroden eine Spannung angelegt und variiert werden kann. Der Einfall von Photonen führt dazu, dass in den Pixeln proportional Elektronen ausgelöst und in den dazugehörigen Potentialsenken gespeichert werden (Unsöld & Baschek, 2005). Allerdings kann in den Senken nur eine begrenzte Anzahl an Ladungsträgern gesammelt werden, so dass bei Überbelichtung die überschüssigen Elektronen in benachbarte Pixel ausweichen. Sterne, bei deren Pixeln eine solche Saturation auftritt, sind für die spätere photometrische Auswertung

²Für $X \leq 2,5$ gilt $X = \frac{1}{\cos(z)}$. Der Winkelabstand des Beobachtungsobjektes zum Zenit wird dabei durch den Zenitwinkel z angegeben.

³charge-coupled device, englisch für ladungsgekoppeltes Bauelement

3.2. Aufnahme der photometrischen Daten

TABELLE 3.1: Beteiligte Observatorien und verwendeten Instrumentierungen während der photometrischen Nachbeobachtungen der Transitplanetenkandidaten.

Sternwarte	Länge (O) [°]	Breite (N) [°]	Höhe [m]	Spiegel \varnothing [m]	CCD	# Pixel	Sichtfeld [']	Ref.
LOT ^a	120,5	23,3	2862	1,0	Apogee U42	2048 x 2048	11,0 x 11,0	^h
Suhora ^b	20,1	49,6	1009	0,6	Apogee Aspen CG47	1024 x 1024	20,0 x 20,0	ⁱ
GOS ^c	19,0	47,5	209	0,8	KAF-16803	4096 x 4096	22,6 x 22,6	^j
GSH ^d	11,5	50,9	367	0,9	E2V CCD42-40	2048 x 2048	52,8 x 52,8	^k
IAAT ^e	9,1	48,5	400	0,8	SBIG ST-L-1001E	1024 x 1024	13,6 x 13,6	^j
OSN ^f	-3,4	37,1	2896	1,5	VersArray:2048B	2048 x 2048	7,9 x 7,9	^l
OGS ^g	-16,5	28,3	2393	1,0	EEV 42-40	4 x [2048 x 2048]	42,5 x 42,5	^j

^aLulin (Taiwan), ^bSuhora (Polen), ^cSzombathely (Ungarn), ^dGroßschwabhausen (Deutschland),

^eTübingen (Deutschland), ^fSierra Nevada (Spanien), ^gTeneriffa (Spanien)

^hHuang et al. (2019), ⁱSiwak et al. (2019), ^jpriv. Kommunikation, ^kMugrauer und Berthold (2010),

^lOrtiz, Gutiérrez, Santos-Sanz, Casanova und Sota (2006)

unbrauchbar. Nach der Belichtung des Detektors werden die in den einzelnen Pixeln gesammelten Elektronen durch Variation der anliegenden Spannung abtransportiert. Dabei erfolgt eine spaltenweise Verschiebung der Ladungen von Pixel zu Pixel bis hin zur Ausgabeelektronik, wo die gesammelten Elektronen zusätzlich verstärkt und als Spannung detektiert werden. Im Analog-Digital-Wandler wird anschließend das gemessene elektrische Signal in ein digitales umgerechnet, welches in der Einheit ADU⁴ angegeben wird. Das Verhältnis der erforderlichen Elektronen, um ein Signal der Stärke 1 ADU zu erzeugen, wird als Gain bezeichnet (Howell, 2006).

Bei der Beobachtung mit CCD-Kameras treten Störeffekte auf, die mittels Aufnahme von Kalibrationsdaten in der späteren Prozessierung minimiert werden sollen. So kann selbst bei einer Integrationszeit von nahezu 0 s ein Rauschen detektiert werden, dass auf die Ausleseelektronik zurückzuführen ist. Um diesen Effekt zu messen, kann ein *Bias* aufgenommen werden, das eine Aufnahme mit der Belichtungszeit 0 s ist. Alternativ ist dies auch durch Hinzugabe eines *Overscan*-Bereichs zu den generierten Daten realisierbar. Hierbei werden durch zusätzliche Auslesevorgänge mehrere Reihen von Pseudopixeln künstlich erzeugt und an die Aufnahmen angefügt (Howell, 2006).

Neben der Freisetzung durch eintreffende Photonen können Elektronen auch infolge der Umgebungstemperatur, die vom absoluten Nullpunkt verschieden ist, freigesetzt werden. Dieses thermische Rauschen, welches auch als Dunkelstrom bezeichnet wird, nimmt mit steigender Temperatur zu. Um diesen Effekt zu verringern, muss der CCD gekühlt werden. Der verwendete CCD der Sternwarte OSN wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt. Er generiert bei einer

⁴analog-to-digital unit, englisch für Analog-zu-digital Einheit

Betriebstemperatur von -110°C nur ein Elektron pro Pixel in der Stunde⁵, was auf thermisches Rauschen zurückzuführen ist und somit vernachlässigt werden kann. Eine kostengünstigere Alternative zur Stickstoffkühlung bietet der Einsatz von Peltier-Elementen, wie sie in der Schmidt-Teleskop-Kamera am Observatorium GSH verwendet werden. Der CCD wird typischerweise bei -22°C betrieben, wodurch ein Dunkelstrom von $(2,09 \pm 0,02)$ ADU pro Minute zu erwarten ist (Mugrauer & Berthold, 2010). Um dieses Signal von den späteren Daten zu entfernen, werden Aufnahmen mit der gleichen Integrationszeit wie die derer mit Belichtung aufgenommen, während die Blende der Kamera geschlossen ist. Da somit kein Licht einfallen kann, beinhalten diese Kalibrationsdaten nur den Dunkelstrom sowie das Grundrauschen, welches aus der Ausleseelektronik resultiert. Folglich werden diese Aufnahmen auch als Dunkelbilder bzw. *Darks* bezeichnet (Howell, 2006).

Der CCD besteht aus einer Vielzahl von Pixeln, die sich hinsichtlich ihrer jeweiligen Sensitivität unterscheiden können. Um dies bei der späteren Datenreduktion⁶ zu berücksichtigen, werden Aufnahmen von einer homogen ausgeleuchteten Fläche mit der gleichen Fokussierung des Teleskops wie bei den eigentlichen Transitbeobachtungen generiert. Bei diesen Flächen kann es sich um den wolkenlosen Himmel während der Dämmerung oder einen mittels Lampe ausgeleuchteten Schirm in der Kuppel des Observatoriums handeln. Die so erzeugten Kalibrationsdaten heißen Weißlichtbilder bzw. *Flats*. Je nach Art der Aufnahme wird dabei zwischen *Sky*- und *Domeflats* unterschieden, welche für jeden verwendeten Farbfilter separat generiert werden müssen. Dabei ist ein ausreichend hohes Signal-zu-Rauschen-Verhältnis erforderlich, welches typischerweise bei der Hälfte der vollständigen Kapazität des CCD erreicht wird. Bei der späteren Division durch Dunkelstrom korrigierte und ebenfalls normierte Flats wird somit die Variation der Sensitivität von Pixel zu Pixel in den wissenschaftlichen Aufnahmen entsprechend berücksichtigt (Howell, 2006).

Die eben beschriebenen Störeffekte sind statistischen Schwankungen unterworfen, weshalb immer eine Mehrzahl von jeder Sorte an Kalibrationsdaten vor oder nach den eigentlichen Beobachtungen aufgenommen wurden. Für jede verwendete Belichtungszeit wurden typischerweise 5 Darks mit der dazugehörigen Integrationszeit generiert. In jedem Farbfilter wurden ebenfalls mindestens 5 Flats erzeugt. Bei Observatorien, die Bias zur Kalibrierung aufnehmen, wurden von diesen immer mindestens 10 Stück angefertigt. Durch die Zusammensetzung der einzelnen Aufnahmen mittels Median konnten statistische Artefakte, bspw. in Folge des Eintreffens von kosmischer Strahlung auf dem CCD, in den Kalibrationsdaten beseitigt werden.

⁵<https://www.osn.iaa.csic.es/en/page/ccdt150-camera>

⁶Prozessierung der wissenschaftlichen Aufnahmen mit den dazugehörigen Kalibrationsdaten

3.3 Prozessierung der YETI-Daten

Die aufgenommenen Rohdaten wurden mit der Routine `automat.py` reduziert, welche ebenfalls mittels differentieller Aperturphotometrie die dazugehörigen Lichtkurven der einzelnen Sterne automatisiert erstellt. Bei differentieller Photometrie wird die scheinbare Helligkeit eines Sterns in Relation zu derer weiterer Vergleichssterne im Gesichtsfeld des Teleskops gemessen. Dazu werden in den Aufnahmen alle ADU der Pixel innerhalb eines Kreisrings, welcher als Apertur bezeichnet wird und den zentrierten Stern umgibt, aufaddiert.

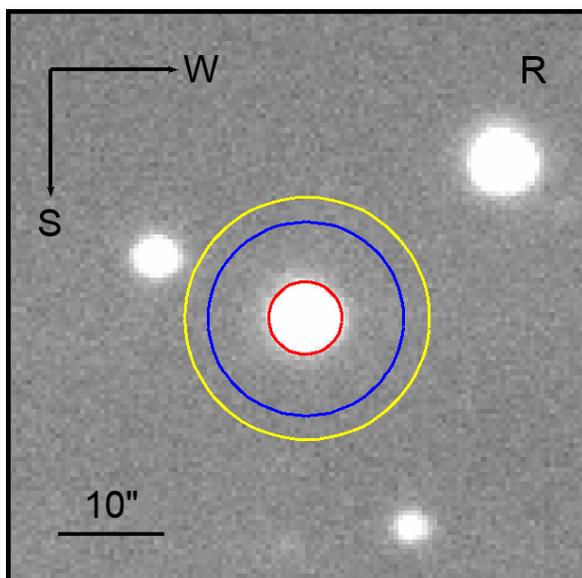


ABBILDUNG 3.2: Illustration des Prinzips der Aperturphotometrie an einer Beispielaufnahme des Transitkandidatenmuttersterns CVSO 30, aufgenommen an der Sternwarte OSN am 15.01.2021 um 21:52 UTC⁷ (Beobachtungsbeginn). Die Apertur ist die Fläche der Pixel innerhalb des roten Kreises. Der Annulus wird nach innen durch den blauen Ring und nach außen durch den gelben begrenzt, welche standardmäßig einen Abstand von 5 Pixeln zueinander besitzen.

Von diesem Wert wird die Helligkeit des Himmelshintergrunds pro enthaltenem Pixel abgezogen. Der Hintergrund wird innerhalb eines Kreisrings außerhalb der Apertur gemessen. In jenem Kreisring, der Annulus genannt wird und keine Sterne enthalten sollte, wird der gemittelte ADU-Wert der darin enthaltenen Pixel als typische Helligkeit des Himmelshintergrund angenommen. Hierbei ist auf einen ausreichenden Abstand des inneren Radius des Annulus zum Aperturradius zu achten (Da Costa, 1992), wie bspw. in Abbildung 3.2 dargestellt ist. Die Routine `automat.py` wurde von R. Errmann geschrieben und wird auch an anderen YETI-Observatorien zur photometrischen Datenprozessierung eingesetzt. Der Quelltext des Programms ist in Errmann (2016) hinterlegt. Jede Transitbeobachtung wurde separat reduziert und ausgewertet.

Durch *Dark-Subtraktion und Flat-Division* wurden die Rohdaten von `automat.py` zuerst kalibriert, um die in Kapitel 3.2 angesprochenen Störeffekte in den CCD-Aufnahmen zu korrigieren. Die einzelnen Darks mit gleicher Integrationszeit wurden jeweils mit Hilfe des Median

⁷Coordinated Universal Time, englisch für koordinierte Weltzeit, Standardzeitreferenz basierend auf Atomuhren

gemittelt und dadurch zu sogenannten Masterdarks kombiniert. Von den einzelnen photometrischen Aufnahmen sowie Flats wurde anschließend das entsprechende Masterdark subtrahiert. Die nun vom Dunkelstrom befreiten einzelnen Flats wurden anhand ihres mittleren detektierten Flusses normiert und danach mittels Median zu einem Masterflat zusammengesetzt. Abschließend wurden die dunkelstromsubtrahierten, photometrischen Aufnahmen durch das Masterflat dividiert. Aufgrund ausreichender Kühlung wurden für die Daten der Sternwarte OSN, Bias anstelle von Darks für die eben beschriebenen Reduktionsschritte verwendet. In allen Fällen griff `automat.py` dabei auf die IRAF⁸-Routinen (Tody, 1993) `combine`, `flatcombine` und `ccdproc` zurück. Weiterhin erfolgte die Berechnung des Julianischen Datums JD⁹ für den zeitlichen Mittelpunkt der jeweiligen Belichtung mit dem IRAF-Programm `setjd` (Errmann, 2016).

Als nächstes wurde innerhalb der einzelnen reduzierten Bilder die Verschiebung der jeweiligen Sterne zueinander bestimmt, welche infolge von nicht exakter Ausrichtung oder Nachführung des Teleskops auftreten kann. Dazu wurde deren detektierte Position in den Aufnahmen mit den dazugehörigen Pixelkoordinaten einer Referenzliste mittels Kreuzkorrelation des Programms `Source Extractor` (Bertin & Arnouts, 1996) abgeglichen. Diese Liste wurde zuvor mit Hilfe der Objekt-Detektion des Programms `GAIA`¹⁰ (Draper, 2000) für jeden Transitkandidaten und dessen umliegende Sterne im jeweiligen Gesichtsfeld sowie für jedes verwendete Teleskop individuell erstellt. Die Referenzliste beinhaltet neben den Koordinaten und der Zuordnungsnummer der Sterne auch deren instrumentelle Helligkeit, nach welcher die Lichtquellen entsprechend von der hellsten zur dunkelsten aufgelistet wurden. Durch den Koordinatenabgleich konnten etwaige Drehungen und Verschiebungen des Gesichtsfeldes detektiert werden. Für jede Aufnahme wurde anschließend eine aktualisierte Positionsliste der Sterne erstellt. Diese bildete die neue Positionsreferenz der einzelnen Lichtquellen in der nachfolgenden photometrischen Auswertung. Weiterhin wurde auch die mittlere Halbwertsbreite FWHM¹¹ der jeweiligen Sterne im bearbeiteten Datensatz berechnet (Errmann, 2016).

Im Anschluss wurden, auf der mittleren FWHM aufbauend, für 15 unterschiedliche Aperturradien die Helligkeitsunterschiede von bis zu 600 Sternen in maximal 100 Aufnahmen gemessen. Die Radien der Apertur variierten dabei zwischen $0,7 \cdot \text{FWHM}$ und $2,0 \cdot \text{FWHM}$. Der Helligkeitsunterschied zwischen einer Vielzahl von Sternen wurde mit jeder Apertur separat in allen Aufnahmen gemessen. Anschließend wurde die Standardabweichung jener Unterschiede für jede einzelne Apertur berechnet. Durch die Berechnung des Medians aller Standardabweichun-

⁸Image Reduction and Analysis Facility, englisch für Hilfsprogramm zur Bildreduktion und -analyse

⁹Zeit in Tagen die seit dem 1. Januar 4713 v. Chr. um 12:00 UT (Universal Time, englisch für Universalzeit, Standardzeitreferenz basierend auf der Rotation der Erde) vergangen ist

¹⁰Graphical Astronomy and Image Analysis Tool, siehe <http://star-www.dur.ac.uk/~pdraper/gaia/gaia.htx/>

¹¹full width at half maximum, englisch für Halbwertsbreite

gen mit der gleichen Apertur und unter Berücksichtigung aller Kombinationen der untersuchten Lichtquellen wurde die beste Apertur identifiziert. Diese wies den kleinsten Median auf (Errmann, 2016). Im Mittel aller Nachfolgebeobachtungen im Rahmen dieser Dissertation betrug die beste Apertur $(1, 12 \pm 0, 34) \cdot \text{FWHM}$.

Im nächsten Schritt erfolgte die Bestimmung der instrumentellen Helligkeiten aller Sterne mittels Aperturphotometrie. Nachdem die zu nutzende Aperturgröße unmittelbar zuvor für die jeweilige Nacht festgelegt worden war, wurde anschließend noch die Helligkeit des Himmelshintergrundes ermittelt. Der dazu notwendige Annulus war für jedes Teleskop in Errmann (2016) individuell angepasst und dann in allen Nächten beibehalten worden. Dabei wurden die verschiedenen Größen der Sterne in den jeweiligen Gesichtsfeldern infolge der unterschiedlichen Instrumentierungen berücksichtigt. Der Radius des inneren Annulusrings lag dabei zwischen 9 und 20 Pixel im Rahmen der Nachfolgebeobachtungen. Dessen Abstand zum äußeren Ring betrug standardmäßig 5 Pixel. Für den Fall, dass sich ein Stern im Annulus befinden sollte, wurden die betroffenen Pixel iterativ herausgerechnet. Diese liegen außerhalb des 3σ -Intervalls des Annulus, da Sterne für gewöhnlich heller als der Himmelshintergrund sind (Errmann, 2016). Die Bestimmung des instrumentellen Flusses F_{inst} bzw. der instrumentellen Helligkeit m_{inst} erfolgte dabei mit IRAF und berechnete sich durch

$$F_{\text{inst}} = F_{\text{Ap}} - A_{\text{Ap}} \cdot F_{\text{An}}, \quad (3.1)$$

$$m_{\text{inst}} = z_{\text{mag}} - 2,5 \log_{10} \left(\frac{F_{\text{inst}}}{\text{DIT}} \right) \quad (3.2)$$

mit der Gesamtanzahl an ADU innerhalb der Apertur F_{Ap} inklusive Hintergrundsignal, der Fläche der Apertur A_{Ap} in Pixeln, der abgeschätzten Helligkeit des Hintergrunds F_{An} pro Pixel in ADU, der beliebig wählbaren Nullpunktmagnitudo z_{mag} und der Detektorintegrationszeit DIT^{12} (Davis, 1994). Darauf aufbauend ergaben sich die dazugehörigen Messungenauigkeiten

$$\Delta F_{\text{inst}} = \sqrt{\frac{F_{\text{inst}}}{\tilde{g}} + A_{\text{Ap}} \cdot \sigma^2 + \frac{A_{\text{Ap}}^2 \cdot \sigma^2}{N_{\text{An}}}}, \quad (3.3)$$

$$\Delta m_{\text{inst}} = 1,0857 \cdot \frac{\Delta F_{\text{inst}}}{F_{\text{inst}}}, \quad (3.4)$$

aus den bereits benannten Größen sowie dem Gain \tilde{g} , der Standardabweichung des Hintergrundsignals im Annulus σ in ADU und der Anzahl an verwendeten Pixeln im Annulus N_{An} , die zur Bestimmung des Himmelshintergrundsignals verwendet wurden (Davis, 1994).

Für die in der Referenzliste geführten Sterne wurden dabei, entsprechend ihrer Pixelkoordinaten innerhalb eines Rechtecks mit einer Kantenlänge von 3 Pixel bis 5 Pixel, deren Mit-

¹²detector integration time, englisch für Detektorintegrationszeit

telpunkt bestimmt. Im Anschluss daran erfolgte die oben erläuterte Aperturphotometrie. Im Falle von saturierten Lichtquellen oder wenn diese nur in einem Teil des Datensatzes enthalten sind, wurden deren instrumentelle Helligkeit m_{inst} alternierend mit ± 100000 mag sowie $\Delta m_{\text{inst}} = 100000$ mag festgelegt. Damit wurde gewährleistet, dass diese Objekte später nicht bei der Erstellung des künstlichen Vergleichssterne mit einfließen (Errmann, 2016).

Die Datenreduktions- und Photometrieroutine sortierte automatisch Bilder mit ungenügender Photometrie aus, welche dadurch gekennzeichnet waren, dass die instrumentellen Helligkeiten von 80 % der 200 hellsten Sterne um 3σ bzw. um 0,5 mag dunkler waren als der Mittelwert. Errmann (2016) hatte diese Grenzwerte festgelegt, welche auf der manuellen Begutachtung von Lichtkurven aus den Beobachtungskampagnen des Sternhaufens Trumpler 37 beruhen. Datenpunkte aus Aufnahmen mit ungenügender Photometrie würden eine deutlich erhöhte Streuung innerhalb der Lichtkurven aufweisen (Errmann, 2016). Die Ursache für eine zeitlich und räumlich begrenzte, schlechtere Datenqualität war oftmals der Durchzug von Wolken durch das Gesichtsfeld des Teleskops während der Integrationszeit.

Für die Durchführung der differentiellen Photometrie wurde das Programm `photometry` von Broeg, Fernández und Neuhäuser (2005) verwendet, das einen optimierten, künstlichen Vergleichssterne aus allen im Gesichtsfeld vorhandenen Lichtquellen erzeugte. Dabei gingen die Sterne entsprechend ihrer photometrischen Stabilität gewichtet ein, sodass Objekte mit konstanter Helligkeit innerhalb des Datensatzes eine höhere Gewichtung erhielten als variable Sterne. Zu Beginn der Iteration gingen die Lichtquellen gemäß der Messungengenauigkeit ihrer instrumentellen Helligkeit Δm_{inst} mit einer Gewichtung $\propto \frac{1}{\Delta m_{\text{inst}}^2}$ ein. Danach wurden die Helligkeitsunterschiede aller Sterne zu jenem Vergleichssterne sowie die Standardabweichung der einzelnen differentiellen Magnituden der gesamten Zeiterie berechnet (Broeg et al., 2005). Die Standardabweichungen der jeweiligen Sterne bildeten dann den neuen Gewichtungsfaktor für den künstlichen Vergleichssterne im nächsten Schritt. Diese Abfolge der Berechnung von Helligkeitsunterschieden zum Vergleichssterne und die dazugehörige Neugewichtung wurde solange wiederholt, bis die dazugehörigen Gewichtungsfaktoren der Sterne konvergierten, bzw. war nach maximal 30 Wiederholungen beendet, um Dauerschleifen zu vermeiden (Broeg et al., 2005; Errmann, 2016). Infolge des Gewichtungsprozesses und der damit verbundenen Berechnung der differentiellen Helligkeiten m_{diff} der einzelnen Sterne, musste auch der dazugehörige Messfehler Δm_{diff} angepasst werden. Dies geschah indem

$$\Delta m_{\text{diff}} = \sqrt{(\tilde{f} \cdot \Delta m_{\text{inst}})^2 + \tilde{c}^2} \quad (3.5)$$

mit dem Faktor \tilde{f} und einer additiven Konstanten \tilde{c} , welche für alle Sterne im Gesichtsfeld gleich war, korrigiert wurden. Durch diese Korrektur wurde erreicht, dass Δm_{diff} in der gleichen Größenordnung wie die Streuung der photometrisch stabilen Sterne lag (Broeg et al.,

2005). Im Mittel aller ausgewerteten Beobachtungen waren dabei $\tilde{f} = 1,11 \pm 0,24$ und $\tilde{c} = (0,0044 \pm 0,0031)$ mag. Folglich war die mittlere Streuung der Lichtkurven nur marginal größer als die dazugehörige Messungenauigkeit, welche ursprünglich während der Aperturphotometrie gemessen wurde.

Abschließend wurden die Lichtkurven für alle Sterne des Datensatzes erstellt. Die zuvor bestimmten differentiellen Helligkeiten und deren Messungenauigkeiten wurden über der Zeitachse aufgetragen und als Grafik abgespeichert. Die zugrunde liegenden Messwerte aller Sterne waren dann in der `dphot`-Datei gelistet. Durch den Einsatz des Programms `einzeldateien_aus_dphot.py` konnten aus dieser Liste mit den Daten aller Sterne anschließend separate Listen mit den jeweiligen photometrischen Messwerten für jeden einzelnen Stern erzeugt werden. Die Zeitangaben der einzelnen Messungen gab die Routine dabei als heliozentrisches Julianisches Datum HJD aus. Dieses wurde zuvor durch

$$\text{HJD} = \text{JD} - \frac{a}{c} \cdot [\cos(\delta_\star) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\alpha_\star - \alpha_\odot) + \sin(\delta_\star) \cdot \sin(\delta_\odot)] \quad (3.6)$$

aus dem JD, dem mittleren Abstand der Erde zur Sonne a , der Lichtgeschwindigkeit c sowie der Deklination δ und Rektaszension α des Transitmuttersterns \star bzw. der Sonne \odot berechnet (Bruton, 2004; Errmann, 2016). Die Umrechnung in das HJD berücksichtigt den Umlauf der Erde um die Sonne und die Endlichkeit der Lichtgeschwindigkeit, indem es den Beobachtungsstandort ins Zentrum der Sonne verschiebt. Allerdings sind bei der Verwendung des HJD nur zeitliche Messungen mit einer Genauigkeit bis zu $\Delta t = 8$ s möglich, da sich das Zentrum der Sonne infolge von gravitativer Wechselwirkung mit den Planeten um den gemeinsamen Schwerpunkt des Sonnensystems bewegt (Eastman, Siverd & Gaudi, 2010).

In Forschungsfeldern, in denen eine Messgenauigkeit von 1 s oder besser erforderlich ist, wie bspw. bei Transitzeitvariationen oder der Untersuchung von Pulsaren, empfehlen Eastman et al. (2010) die Nutzung des baryzentrisch Julianischen Datums. Dieses sollte in der baryzentrisch dynamischen Zeit BJD_{TDB} ¹³ angegeben werden, da somit neben der angesprochenen baryzentrischen Korrektur auch die Einführung von Schaltsekunden und weiterer relativistischer Effekte zusätzlich berücksichtigt werden. Für eine ausführliche Diskussion dieser zeitlichen Transformation und der damit verbundenen Effekte sei auf Eastman et al. (2010) verwiesen. Darauf aufbauend kann die Umrechnung von HJD zu BJD_{TDB} mit dem dazugehörigen online Konverter¹⁴ erfolgen. Für die Bestimmung der Transitdauer einzelner transitähnlicher Ereignisse in dieser Dissertation war die Verwendung des HJD möglich, da die Integrationszeiten der verwendeten CCD in der Größenordnung von Minuten lag und somit die baryzentrische Korrektur vernachlässigt werden konnte.

¹³temps dynamique barycentrique, französisch für baryzentrisch dynamische Zeit

¹⁴<https://astrutils.astronomy.osu.edu/time/hjd2bjd.html>

Kapitel 4

Transitkandidat in IC 348

Der erste Transitkandidat gehört zum jungen offenen Sternhaufen IC 348, der sich wiederum im Sternentstehungsgebiet der Perseus Molekülwolke befindet (Duchêne, Bouvier & Simon, 1999). Für IC 348 ergibt sich mittels Median ein Alter von $\tau \sim 3 \text{ Myr}$ (Azimlu, Martínez-Galarza & Muench, 2015; Bell et al., 2013; Getman et al., 2018; Luhman, Esplin & Loutrel, 2016; Manzo-Martínez et al., 2020; Tetzlaff, Neuhäuser & Hohle, 2011; Yao et al., 2018; Yep & White, 2020), basierend auf den Altersangaben in der VizieR-Datenbank (Ochsenbein, Bauer & Marcout, 2000). Aufgrund des jungen Alters können dessen Sterne noch in unterschiedlichen Entwicklungsstadien, wie bspw. als Protostern oder Vorhauptreihenstern mit und ohne umgebende Scheibe, beobachtet werden (Stelzer et al., 2012).

Der Transitkandidatenmutterstern, welcher unter der Bezeichnung IC 348 LRL 47 bekannt ist (Luhman, Rieke, Lada & Lada, 1998), zeigt Emissionen im Röntgenbereich (bspw. Alexander & Preibisch, 2012; Preibisch & Zinnecker, 2002; Preibisch, Zinnecker & Herbig, 1996; Stelzer et al., 2012) und wird dem Spektraltyp K0 zugeordnet (Currie & Kenyon, 2009; Luhman et al., 1998). Weiterhin besitzt dieser keine zirkumstellare Scheibe mehr (Currie & Kenyon, 2009; Lada et al., 2006). Die photometrische Variabilität des Sterns mit einer Periode von $\sim 4,9 \text{ d}$ war aus den Daten des Spitzer-Weltraumteleskops bereits bekannt (Flaherty et al., 2013). Allerdings betrug der Abstand zwischen diesen Messungen im Mittel 23 h, wodurch die zeitliche Auflösung zu gering war, um das Transitsignal zu finden.

Die transitähnlichen Helligkeitseinbrüche durch IC 348 LRL 47/cc¹ wurden erstmalig im Rahmen der YETI-Beobachtungskampagnen, welche zwischen August 2012 und Januar 2015 stattfanden, detektiert. Die Periode von $(5,123874 \pm 0,000063) \text{ d}$ des $\Delta m_R \approx 50 \text{ mmag}$ tiefen Transits unterscheidet sich dabei signifikant von der Rotationsperiode des Sterns mit $(4,91 \pm 0,05) \text{ d}$, welche aus dessen Flussvariation mit einer Amplitude von $0,88 \text{ mag}$ bestimmt wurde

¹companion candidate, englisch für Transitkandidat

(Fritzewski et al., 2016). Weiterhin ist der ca. 4 h dauernde Transit auch deutlich kürzer als die halbe Rotationsperiode von IC 348 LRL 47. Infolgedessen können diese Helligkeitseinbrüche nicht allein aus einer zeitweisen Bedeckung der Oberfläche mit kühleren Sternflecken entstehen. Dabei fällt auf, dass die Helligkeitseinbrüche V-förmig sind und somit auf eine partielle Bedeckung hinweisen (Fritzewski et al., 2016).

Nachfolgend wird die Mitgliedschaft des Transitekandidatenmuttersterns im Sternhaufen IC 348 untersucht, um festzustellen, ob die obige Altersabschätzung auch für diesen gültig ist. Daran schließt sich die Auswertung der Multiband-Photometrie an, in der nach etwaigen Farbeffekten eines potentiellen stellaren Begleiters gesucht wird. Weiterhin erfolgt mittels Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot eine Überprüfung, ob zusätzliche, zuvor nicht aufgelöste Lichtquellen in der Nähe von IC 348 LRL 47 vorhanden sind. Dadurch kann ggf. ein überblendetes Doppelsternsystem identifiziert werden. Den Abschluss bildet die Abschätzung der Masse von IC 348 LRL 47/cc anhand der Radialgeschwindigkeit des Muttersterns.

4.1 Untersuchung des Sternhaufens IC 348 mit Gaia-Daten

Zur Bestimmung und Charakterisierung der Mitglieder des Sternhaufens IC 348 wurden hauptsächlich Kataloge verwendet, die auf den Daten der Gaia²-Mission der ESA³ beruhen und durch den gleichnamigen Satelliten gewonnen wurden. Der Gaia-Satellit befindet sich am Lagrange-Punkt L_2 des Sonne-Erde-Systems und nimmt seit Sommer 2014 kontinuierlich astrometrische, photometrische und spektroskopische Messungen von Milliarden Sternen innerhalb der Milchstraße vor. Die Astrometrie und Photometrie der Sterne wird in einem Wellenlängenbereich von 330 nm bis 1050 nm, dem sogenannten *G*-Band, vermessen. Weitere photometrische Informationen werden im *BP*-Band (330 nm bis 680 nm) und dem *RP*-Band (640 nm bis 1050 nm) gewonnen. Mit dem integrierten Radialgeschwindigkeitsspektrometer erfolgen neben Messungen der Radialgeschwindigkeit auch die Bestimmung interstellarer Rötung, atmosphärischer Parameter und Rotationsgeschwindigkeiten sowie ausgewählter Häufigkeiten chemischer Elemente (Gaia Collaboration et al., 2016). Die Resultate jener Messungen wurden bisher in drei Datenfreigaben veröffentlicht (Gaia Collaboration et al., 2016, 2018, 2021).

Die aktuellsten Informationen sind dabei in Gaia EDR3⁴ enthalten, welche im Dezember 2020

²Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, englisch für Globales Astrometrisches Interferometer für Astrophysik. Die Mission behielt diesen ursprünglichen Namen, auch nachdem entschieden wurde, dass der Satellit keine interferometrischen Messungen ausführen wird.

³European Space Agency, englisch für Europäische Weltraumorganisation

⁴Early Data Release 3, englisch für frühzeitige Datenfreigabe 3

publiziert wurden. In Gaia EDR3 sind Positionen (RA, Dec) und Helligkeiten im G -Band von 1,8 Milliarden Lichtquellen angegeben. Dabei sind Parallaxen (ϖ) und Eigenbewegungen ($\mu_{\text{RA}}, \mu_{\text{Dec}}$) für Sterne bis zu einer Grenzhelligkeit von $G = 21$ mag verfügbar. Für 1,5 Milliarden Sterne sind zusätzlich deren scheinbare Helligkeiten im BP - und RP -Band vorhanden (Gaia Collaboration et al., 2021).

Die Daten des Gaia EDR3 wurden verwendet um die Mitglieder des Sternhaufens IC 348 zu bestimmen, welche in einem Radius von $64'$ um die Sexagesimal-Koordinaten $03\text{ h } 44\text{ min } 32\text{ s}$ (RA J2000) und $+32^\circ 09' 33''$ (Dec J2000) (Cantat-Gaudin & Anders, 2020) herum gesucht wurden. Dieser Suchradius ist auf der Annahme begründet, dass offene Sternhaufen einen Durchmesser von bis zu 10 pc besitzen (Unsöld & Baschek, 2005), was einem Radius von $\sim 54'$ bei einer Entfernung des Haufens IC 348 in ~ 320 pc (Cantat-Gaudin & Anders, 2020) zufolge hat. Um keine Mitgliedssterne auszulassen, wurde dieser Suchradius um weitere $10'$ auf insgesamt $64'$ erweitert. Von den darin enthaltenen Sternen wurden für die weitere Analyse nur diejenigen verwendet, die eine positive Parallaxe besitzen sowie eine signifikant bestimmte Eigenbewegung bzw. Parallaxe ($\frac{\mu}{\sigma(\mu)} \geq 3, \frac{\varpi}{\sigma(\varpi)} \geq 3$) aufweisen. Für diese Sterne wurden die empirische Verteilungsfunktion der Parallaxen und das Eigenbewegungsdiagramm in Abbildung 4.1 erstellt. Darin ist eine Häufung der Parallaxen bei $\varpi \sim 3,0$ mas sowie der Eigenbewegungen bei $\mu_{\text{RA}} \sim 4,5$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \sim -6,0$ mas/yr zu sehen. Um Nicht-Mitglieder aus der grafisch dargestellten Datenmenge zu entfernen, wurden ausreichend große Intervallgrenzen, welche jeweils rot in Abbildung 4.1 dargestellt sind, um jene Häufungswerte gesetzt und nur die darin enthaltenen Sterne wurden weiter analysiert. Folglich kamen als Mitglieder des Sternhaufens nur Objekte in Frage mit $\varpi \in [2, 25; 3, 75]$ mas, $\mu_{\text{RA}} \in [1; 7]$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \in [-3; -9]$ mas/yr.

Das arithmetische Mittel sowie der Median aller Parallaxen und Eigenbewegungen der verbliebenen Sterne sind miteinander innerhalb der Standardabweichung konsistent. Somit ist für diese drei Parameter in der Datenmenge keine signifikante Anzahl von Ausreißern mehr enthalten. Innerhalb der dreifachen Standardabweichung befinden sich insgesamt 564 Lichtquellen, die somit potentielle Mitglieder von IC 348 sind, und im Anhang in Tabelle B.1 angegeben werden. Die Zahl von 564 identifizierten Mitgliedern im Rahmen dieser Dissertation übersteigt dabei den Wert von 478 aus Luhman et al. (2016), der in Esplin und Luhman (2017) auf 480 erhöht wurde. Um eine möglichst präzise Angabe der Eigenschaften des Sternhaufens zu erhalten, erfolgte die Fokussierung auf Objekte mit der größten Mitgliedswahrscheinlichkeit. Als wahrscheinlichste Mitglieder des Sternhaufens IC 348 wurden dabei jene eingestuft, deren Parameter dabei innerhalb der Standardabweichung um den zuvor genannten Median streuen. Insgesamt erfüllen 282 Objekte diese Kriterien, welche in

4.1. Untersuchung des Sternhaufens IC 348 mit Gaia-Daten

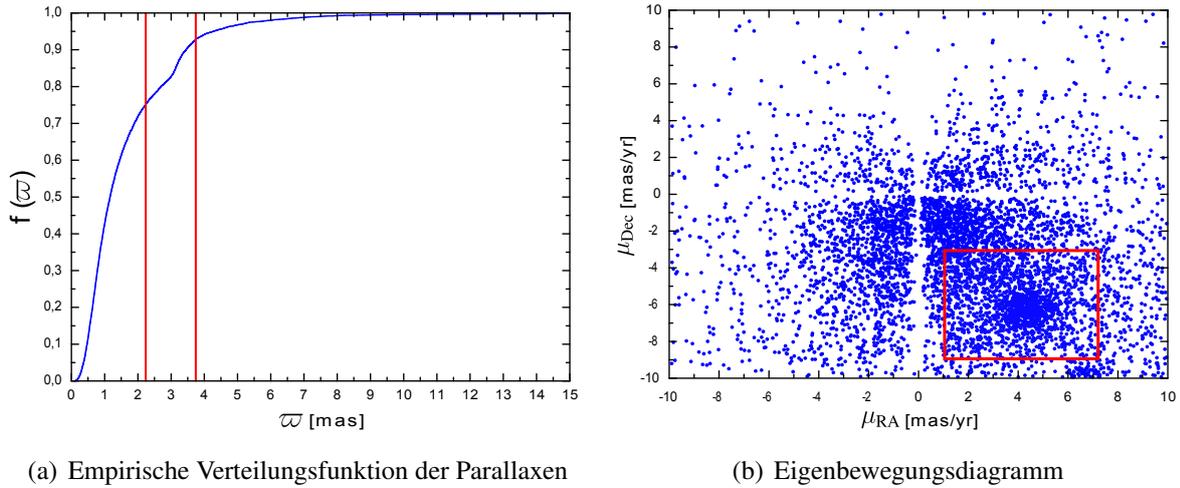


ABBILDUNG 4.1: Messwerte von Sternen mit signifikanter Parallaxe und Eigenbewegung aus Gaia EDR3 in der scheinbaren Umgebung von IC 348. Die Begrenzungen der Intervalle, in denen sich die Mitglieder des Sternhaufens befinden, sind in rot dargestellt.

der dazugehörigen Tabelle B.6 aufgelistet sind. Dazu zählt auch der Transitkandidatenmutterstern IC 348 LRL 47 (Gaia EDR3 216680692063125504). Die Gruppe der wahrscheinlichsten Mitglieder zeigt dabei $\bar{\varpi} = (3, 1614 \pm 0, 1285)$ mas, $\bar{\mu}_{RA} = (4, 404 \pm 0, 411)$ mas/yr und $\bar{\mu}_{Dec} = (-6, 340 \pm 0, 436)$ mas/yr für den Sternhaufen IC 348 als arithmetisches Mittel. Von den 282 identifizierten, wahrscheinlichsten Mitgliedern liegen 197 (69,9 %) in der 1σ -Umgebung von $\bar{\varpi}$. Analog dazu befinden sich 178 (63,1 %) bzw. 173 (61,3 %) in den 1σ -Umgebungen von $\bar{\mu}_{RA}$ und $\bar{\mu}_{Dec}$. Diese Prozentsätze liegen nahe an dem statistisch zu erwartenden Wert von 68 % für eine 1σ -Umgebung. Folglich bilden die 282 identifizierten Sterne eine fundierte Abbildung der Grundgesamtheit an wahrscheinlichsten Mitgliedern des Sternhaufens IC 348.

Für eine weitere Charakterisierung der wahrscheinlichsten Mitgliedssterne wurden die dazugehörigen Entfernungen aus dem Katalog von Bailer-Jones et al. (2021) verwendet. Dieser beinhaltet zwei Entfernungsangaben, die geometrische Entfernung d_{geo} und die photo-geometrische Entfernung d_{pgeo} , welche probabilistisch bestimmt wurden und dabei auf einem dreidimensionalen Modell der Galaxis aufbauen. Dabei basiert d_{geo} auf der Gaia Parallaxe und dem richtungsabhängigen Prior, während d_{pgeo} zusätzlich noch die Farbe der Sterne und deren scheinbare Helligkeit miteinbezieht (Bailer-Jones et al., 2021). Als Entfernungsangabe der Mitgliedssterne wurde nachfolgend d_{geo} verwendet, da d_{pgeo} nicht für alle Sterne verfügbar war. Zwischen d_{geo} und d_{pgeo} besteht außerdem kein signifikanter Unterschied für Lichtquellen, die mit beiden Entfernungsangaben im Katalog gelistet sind, da stets $|d_{geo} - d_{pgeo}| < 3\sigma(d)$ erfüllt ist.

Die Extinktion der wahrscheinlichsten Mitgliedssterne wurde mit der dreidimensionalen Staubkarte von Green, Schlafly, Zucker, Speagle und Finkbeiner (2019) bestimmt. Die Karte gibt

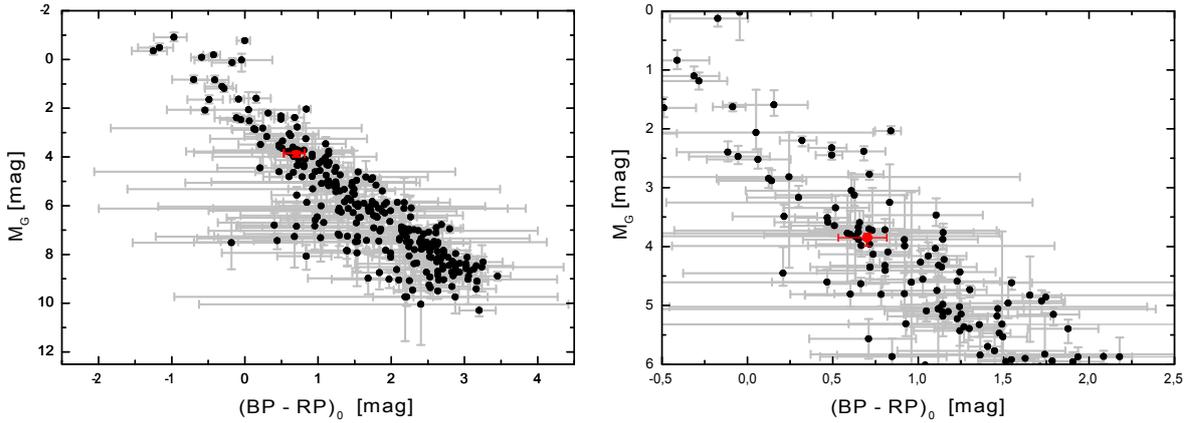


ABBILDUNG 4.2: Farben-Helligkeits-Diagramm der wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens IC 348. Der Transitkandidatenmutterstern IC 348 LRL 47 ist jeweils in rot dargestellt. Die Präzision der Sternparameter wird dabei durch die Messungenauigkeit der Extinktion dominiert, welche hauptsächlich aus der umgebenden Molekülwolke und teilweise vorhandenen Scheiben resultiert.

dabei die Rötung $E(g - r)$ in Abhängigkeit von der jeweiligen Entfernung für Positionen am Himmel an, welche sich nördlich einer Deklination von -30° befinden. Als Positions- und Entfernungsangaben der Sterne wurden ebenfalls deren Werte aus dem Katalog von Bailer-Jones et al. (2021) genutzt. Die Rötungen wurden mit $E(g - r) \cdot \hat{R} = A_r$ zu Extinktionen im Pan-STARRS 1 r -Band umgerechnet, wobei $\hat{R} = 2,617$ der dazugehörige Extinktionsvektor ist (Green et al., 2019). Die Extinktionen in A_r wurden danach mit Relationen aus Wang und Chen (2019) zu A_G in das Gaia G -Band konvertiert. Die Berechnung der Extinktionen A_{BP} und A_{RP} im BP - bzw. RP -Band erfolgten analog dazu. Unter Verwendung von Gleichung 2.30 sowie den Angaben der scheinbaren Helligkeit im G -Band, der Extinktion und Entfernung der jeweiligen Sterne wurden die dazugehörigen absoluten Helligkeiten berechnet. Weiterhin erfolgte die Bestimmung der intrinsischen Farben

$$(BP - RP)_0 = (m_{BP} - m_{RP})_{\text{scheinbar}} - (A_{BP} - A_{RP}) \quad (4.1)$$

mit Hilfe der scheinbaren Helligkeiten aus Gaia EDR3 und den zuvor bestimmten Extinktionen. Die Ergebnisse für die wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens IC 348 sind im Anhang in Tabelle B.6 aufgelistet und im FHD in Abbildung 4.2 illustriert.

Darin ist zu erkennen, dass IC 348 LRL 47 innerhalb seiner Messgenauigkeit sehr nah an einer Vielzahl von Haufenmitgliedern mit vergleichbarer Farbe liegt. Infolgedessen ist es unwahrscheinlich, dass IC 348 LRL 47 ein Doppelstern, bestehend aus zwei ähnlichen Komponenten, ist, da er in diesem Fall um $\sim 0,753$ mag heller als die meisten Sterne mit vergleichbarer Farbe sein müsste.

4.2 Auswertung der Multiband-Photometrie

Der Transitkandidatenmutterstern zeigt neben dem Transitsignal noch eine zusätzliche photometrische Variabilität (Fritzewski et al., 2016). Um deren Einfluss bei der weiteren Auswertung zu verringern, wurde ein Polynom dritten Grades an die Datenpunkte der Lichtkurve, welche sich außerhalb des Transits befinden, angepasst und die Lichtkurve mittels Helligkeitsnormierung dadurch von eventuellen Trends befreit. Diese Anpassung und Helligkeitskorrektur erfolgte für jede Lichtkurve individuell.

TABELLE 4.1: Eigenschaften des Sterns IC 348 LRL 47.

Parameter	Wert	Ref.
RA (J2000) [h : min : s]	03 : 43 : 55, 5	<i>a</i>
Dec (J2000) [° : ' : '']	+32 : 09 : 32, 2	<i>a</i>
M_* [M_\odot]	$0,913^{+0,065}_{-0,055}$	<i>b</i>
R_* [R_\odot]	$1,59^{+0,05}_{-0,48}$	<i>c</i>
T_{eff} [K]	5779^{+154}_{-226}	<i>b</i>
$\log(g)$ [$\log[\text{cm}/\text{s}^2]$]	$4,09^{+0,04}_{-0,02}$	<i>b</i>
[Fe/H] [dex]	$-0,208^{+0,298}_{-0,241}$	<i>b</i>
d [pc]	315 ± 2	<i>d</i>
m_G [mag]	$13,887 \pm 0,003$	<i>a</i>
A_G [mag]	$2,547^{+0,053}_{-0,124}$	<i>e</i>
\mathcal{M}_G [mag]	$3,850^{+0,142}_{-0,072}$	<i>e</i>
$(BP - RP)_0$ [mag]	$0,702^{+0,114}_{-0,170}$	<i>e</i>
u_B	$0,797 \pm 0,017$	<i>f</i>
u_V	$0,677 \pm 0,015$	<i>f</i>
u_R	$0,588 \pm 0,012$	<i>f</i>
u_I	$0,495 \pm 0,011$	<i>f</i>

^a Gaia Collaboration et al. (2021), ^b Anders et al. (2019), ^c Gaia Collaboration et al. (2018), ^d Bailer-Jones et al. (2021), ^e diese Arbeit, ^f Claret, Hauschildt und Witte (2013)

Die weitere Analyse der aufgenommenen Transitlichtkurven wurde mit Hilfe der Webseite *Exoplanet Transit Database*⁵ (ETD; Brát, Poddaný, Pejcha & Zejda, 2010; Poddaný, Brát & Pejcha, 2010) durchgeführt. Mit ETD können synthetische Lichtkurven an Beobachtungsdaten angepasst werden. Dies erfolgt nach dem nichtlinearen Algorithmus der kleinsten Quadrate, wobei ETD Tiefe, Dauer und die Mitte des Transits bestimmt (Brát et al., 2010). Dazu benötigt die Webseite eine erste Abschätzung der Transitdauer und Transitmitte als Eingabeparameter. Weiterhin braucht ETD auch eine Angabe bzgl. des Impaktparameters, welcher aus den Werten für Masse und Radius in Tabelle 4.1 sowie der Transitperiode bestimmt wurde. Außerdem sind als Eingabeparameter auch der lineare Randverdunklungskoeffizient und das Radienverhältnis des Begleiters zu dessen Mutterstern erforderlich. Die verwendeten linearen Randverdunklungskoeffizienten u_λ in den verschiedenen Filtern (Tabelle 4.1) sind Mittelwerte aus den Angaben von Claret et al. (2013) für die entsprechenden Wertebereiche der Effektivtemperatur und Oberflächenbeschleunigung des Muttersterns.

⁵online verfügbar unter <http://var2.astro.cz/ETD/>

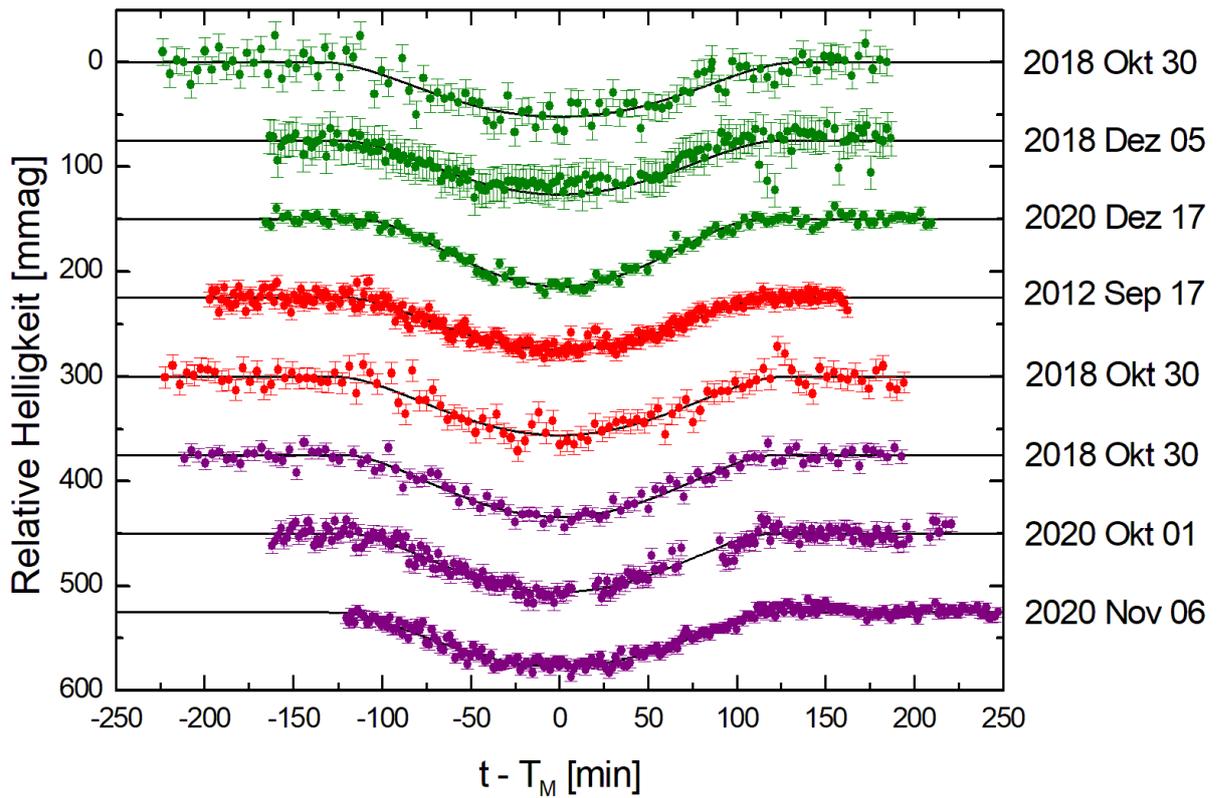


ABBILDUNG 4.3: Transitlichtkurven von IC 348 LRL 47/cc. Die relativen Helligkeiten der Lichtkurven des Sterns sind über den zeitlichen Abstand zur Transitmitte aufgetragen sowie nach Filtern und dem dazugehörigen Beobachtungsbeginn geordnet. Die Aufnahmen im V -Band sind in grün, die im R -Band in rot und die im I -Band in violett dargestellt.

Die Bestimmung der optimalen Parameter bei der Anpassung der synthetischen Lichtkurve erfolgt dabei iterativ, indem jeweils die ausgegebenen Werte als neue Eingabewerte verwendet werden. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis in fünf aufeinanderfolgenden Anpassungsschritten die ausgegebenen Parameter mit den zuvor eingegebenen innerhalb ihrer Messgenauigkeiten übereinstimmen. Die mit ETD identifizierten, am besten passenden Parameter für die jeweiligen Lichtkurven sind im Anhang in Tabelle C.1 angegeben. Die zugrunde liegenden Messwerte sowie angepassten Lichtkurven sind jeweils in Abbildung 4.3 dargestellt, wobei einzelne Messwerte, die um 3σ vom Fit abweichen, als Ausreißer aussortiert wurden. Für IC 348 LRL 47/cc konnten keine Transitbeobachtungen im B -Band durchgeführt werden, da der Mutterstern mit einer Helligkeit von $m_B = (16,12 \pm 0,14)$ mag mindestens 1,5 mag dunkler ist als in den anderen Filtern (Henden, Levine, Terrell & Welch, 2015). In Kombination mit der geringeren Sensitivität des CCD in diesem Wellenlängenbereich (bspw. Mugrauer & Berthold, 2010) ist dieser Stern im B -Band zu dunkel, um die erforderliche Präzision mit einem Meter-Klasse Teleskop zu erreichen.

4.3. Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

TABELLE 4.2: Ergebnisse der Multiband-Photometrie für IC 348 LRL 47/cc. Für jeden Filter ist der Median der Transittiefe und -dauer angegeben.

Filter	$\overline{\Delta m}$ [mmag]	$\overline{T}_{1.4}$ [min]
V	$52,1 \pm 4,2$	$242,2 \pm 11,5$
R	$52,8 \pm 3,1$	$243,2 \pm 4,3$
I	$55,9 \pm 2,0$	$236,7 \pm 3,4$

Für die einzelnen Ergebnisse der Transitdauer und -tiefe wurde danach für jeden Filter der Median berechnet und in Tabelle 4.2 gelistet. Hierbei wird als Messgenauigkeit der Mittelwerte $\overline{\sigma(x)} = \frac{s}{\sqrt{n}}$ angegeben, wobei s die Standardabweichung der zugrunde liegenden Einzelergebnisse und n die Anzahl der eingehenden Werte ist. Dabei fällt auf, dass der Median im Rahmen

der statistisch bestimmten Fehler für alle drei genutzten Filter miteinander konsistent ist. Somit liegt kein Farbeffekt der Transittiefe vor und es lässt sich daraus schlussfolgern, dass IC 348 LRL 47/cc keinen signifikanten Beitrag zum Gesamtfluss des Systems im optischen Wellenlängenbereich leistet. Wie zuvor auch in Fritzewski et al. (2016) ersichtlich, weisen die Lichtkurven in Abbildung 4.3 ein V-förmiges Profil auf. Folglich liegt eine partielle Bedeckung vor. Aus diesem Grund wäre der gemessene Helligkeitseinbruch bei einer vollständigen Bedeckung größer als der detektierte in Tabelle 4.2. Die zu erwartende Transittiefe für einen Planeten und den Stern IC 348 LRL 47 wäre $\Delta m < 50$ mmag nach Baraffe, Homeier, Allard und Chabrier (2015). Das Signal ist somit zu tief, um durch einen Planetentransit erzeugt zu werden. IC 348 LRL 47/cc wird in den nächsten Kapiteln noch genauer charakterisiert.

4.3 Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

Der Transitkandidatenmutterstern wurde zuvor bereits von Duchêne et al. (1999) mit dem Canada-France-Hawaii Telescope beobachtet. Die im H -Band mit einer adaptiven Optik (AO) aufgenommenen Infrarotdaten an diesem 3,6 m-Teleskop (Puget et al., 2004) zeigen keine zusätzlichen Lichtquellen für IC 348 LRL 47 innerhalb eines Abstandes von $0,5''$ mit einem Helligkeitsunterschied von $\Delta H \approx 3$ mag (Duchêne et al., 1999). Um diese Abschätzungen weiter einzugrenzen und ggf. zusätzliche Farbinformationen gewinnen können, wurde am 04.08.2018 zwischen 13:54 UTC und 14:58 UTC der Transitkandidatenmutterstern erneut mit dem größeren 8,2 m-Subaru-Teleskop (Iye et al., 2004) untersucht. Die Beobachtungen wurden von den dort angestellten Astronomen im Servicemodus unter Verwendung der *Infrared Camera and Spectrograph* (IRCS; N. Kobayashi et al., 2000) mit der dazugehörigen adaptiven Optik AO188 (Hayano et al., 2010) durchgeführt.

Eine AO ermöglicht die Minimierung der durch die Erdatmosphäre induzierten Störeffekte der sonst ebenen Wellenfronten des Sternenlichts. Dazu wird die Verformung der ankommenden

den Wellenfront von einem Sensor detektiert und anschließend erfolgt die computergesteuerte Ausrichtung der Aktuatoren. Diese drücken einen deformierbaren Spiegel im Strahlengang in die erforderliche Form, um möglichst planare Wellenfronten zu erzeugen (Unsöld & Baschek, 2005). Die Auswirkungen der Turbulenzen innerhalb der Atmosphäre auf die Wellenfronten können vereinfacht als Resultat der Kombination einer Vielzahl von Zellen mit unterschiedlichen Brechungsindizes beschrieben werden. Dabei charakterisiert der Friedparameter $r_0(\lambda)$ den Durchmesser einer solchen Zelle, die, aufgrund des in ihr konstanten Brechungsindex, ein beugungsbegrenztes Bild erzeugen kann. Die Atmosphäre ist umso turbulenter, je größer das Seeing $\Delta\theta$ ist. Hierbei gilt der Zusammenhang $\Delta\theta = \frac{\lambda}{r_0(\lambda)}$. Infolge der Wellenlängenabhängigkeit $r_0(\lambda) \propto \lambda^{\frac{6}{5}}$ kommen Großteleskope im Infrarot näher an die Beugungsgrenze heran als im visuellen Spektralbereich. Die AO kann den Einfluss der Erdatmosphäre im Infrarotbereich auch besser korrigieren, da hierbei die Verformung der Wellenfronten ebenfalls geringer ist. Das Strehlverhältnis gibt dabei die detektierte Maximalintensität der durch die AO korrigierten Abbildung dividiert durch die theoretisch zu erwartende vollständig beugungsbegrenzte Maximalintensität einer Punktlichtquelle in der dazugehörigen Wellenlänge an (Léna, Lebrun & Mignard, 1998).

Die Aufnahmen am Subaru-Teleskop erfolgten in den JHK -Filtern bei Luftmassen zwischen 1,444 und 1,149 sowie außerhalb der Zeiten in denen sich ein Transit von IC 348 LRL 47/cc ereignen sollte. Während der Beobachtungen betrug das natürliche Seeing $\sim 0,85''$ im K -Band. Nach der AO-Korrektur lag das korrigierte Seeing bei $0,20''$ im K - und es bewegte sich zwischen $0,22''$ und $0,30''$ im J - sowie im H -Band (priv. Kommunikation mit Serviceastronom Ji Hoon Kim). IRCS wurde dabei im 20 mas-Modus verwendet. Hierbei beträgt das Sichtfeld der Kamera $21,06'' \times 21,06''$ bei einer Skala von $(20,57 \pm 0,04)$ mas pro Pixel (Hełminiak, Pyo, Kim & Morris, 2015). Die Aufnahmen wurden unter Einsatz der *Dithering*-Technik gewonnen. Bei diesem Verfahren wird das Teleskop nach jeder Aufnahme um wenige Bogensekunden verschoben, wodurch die Sterne stets auf anderen Pixeln in den verschiedenen Belichtungen abgebildet werden. Dadurch kann bspw. der Einfluss defekter Pixel bei der späteren Datenprozessierung und das Signal des Himmelshintergrunds aus den Aufnahmen entfernt werden. Für die Beobachtungen wurde das Pfadmuster Diamant D5 mit einem Abstand von $3''$ zwischen den fünf verschiedenen Positionen ausgewählt (Hełminiak et al., 2015). An jeder der fünf Stellen wurden im K -Band 30 Einzelbilder mit einer Belichtungszeit von je 2 s aufgenommen und als eine Aufnahme integriert gespeichert. Durch die kurzen Belichtungszeiten wird die Saturation des Detektors verhindert, welche sonst durch die Helligkeit des Himmelshintergrunds im infraroten Wellenlängenbereich auftreten könnte. Dieser Durchlauf wurde anschließend wiederholt, sodass für das K -Band insgesamt 10 Aufnahmen mit einer Gesamtbelichtungszeit von 600 s am Ende zur Verfügung standen. Dieser Prozess erfolgte analog für das H - und J -Band, wo-

4.3. Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

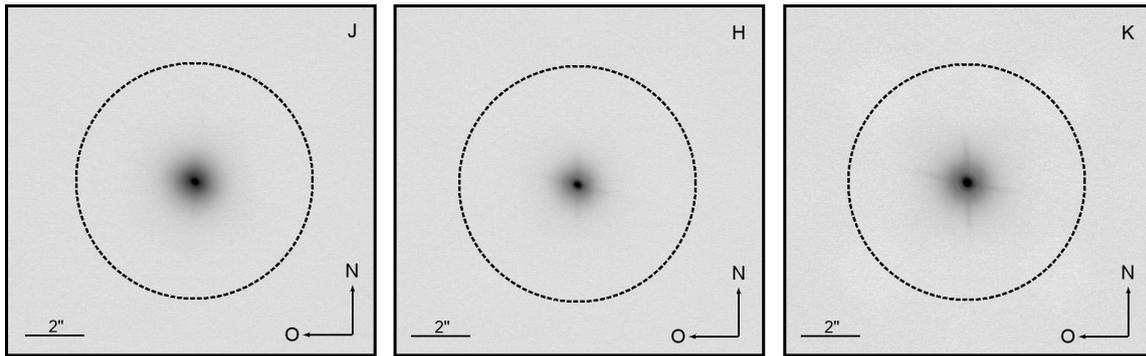


ABBILDUNG 4.4: Hochkontrastbeobachtungen von IC 348 LRL 47 mit IRCS und AO im J -, H - und K -Band. Innerhalb der typischen Apertur der YETI-Teleskope aus dem visuellen Spektralbereich, welche jeweils als Kreis mit einem Radius von $4''$ dargestellt wird, sind keine zusätzlichen Lichtquellen im Infrarot detektierbar.

durch auch in diesen Filtern je 10 Bilder mit einer Gesamtintegrationszeit von 600 s generiert wurden. Als Kalibrationsdaten wurden Domeflats mit und ohne Belichtung in allen verwendeten Filtern aufgenommen.

Die unbelichteten Flats wurden mit Hilfe der Software `ESO ECLIPSE` (Devillard, 1997) mittels Median miteinander kombiniert und anschließend von den belichteten Domeflats subtrahiert. Die so vom Dunkelstrom befreiten Daten wurden normiert und durch Bildung des Median zu einem Masterflat zusammengesetzt. Die sich anschließende Datenprozessierung verwendete die Routine `jitter`, welche ebenfalls ein Bestandteil von `ESO ECLIPSE` ist. Dabei wurden die einzelnen Belichtungen von IC 348 LRL 47 zuerst durch das Masterflat dividiert, bevor das Signal des Himmels hintergrunds aus allen 10 Infrarotaufnahmen durch erneute Berechnung des Median bestimmt wurde. Anschließend erfolgte die Subtraktion des Hintergrundsignals von den zugrunde liegenden Aufnahmen. Schließlich wurden die Bilder so zueinander verschoben, dass der jeweilige Stern deckungsgleich in den Einzelaufnahmen übereinander liegt, bevor diese final addiert werden. Dieses Verfahren wird auch als *shift & add*⁶-Technik bezeichnet. Die vollständig reduzierten Infrarotdaten in den jeweiligen Filtern sind in Abbildung 4.4 zu sehen. In diesen konnten keine weiteren Quellen detektiert werden. Auch eine signifikante Elongation der PSF, die durch einen unaufgelösten stellaren Begleiter mit entsprechendem Abstand von der Hauptkomponente entstehen könnte (siehe Kapitel 5.3 oder Abbildung D.1 für ein Beispiel), ist anhand der Konturlinien in Abbildung 4.5 nicht ersichtlich.

⁶englisch für verschieben und addieren

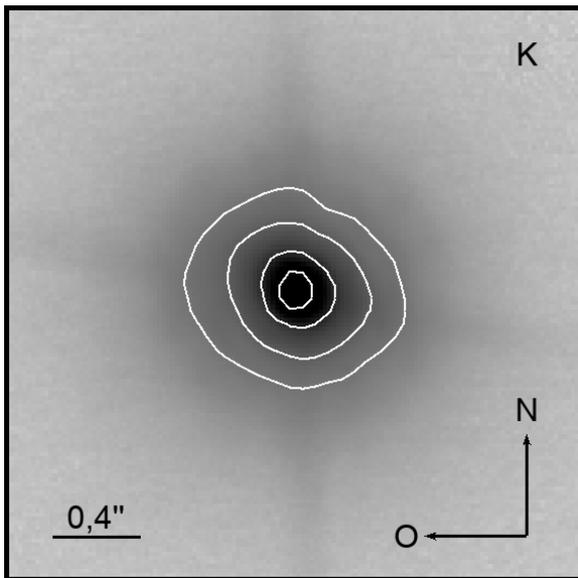


ABBILDUNG 4.5: Detailansicht der IRCS-Aufnahme von IC 348 LRL 47. Die Konturlinien, welche Bereiche gleicher Helligkeit kennzeichnen, sind als weiße Linien illustriert.

Zur Charakterisierung der Qualität der Infra-rotaufnahmen erfolgte die Bestimmung der Detektionsgrenzen. Dazu wurden in einem fest definierten Radius um das Zentrum des Muttersterns für jeden der darin enthaltenen Pixel der Fluss sowie dessen Abstand zum Zentrumspixel von IC 348 LRL 47 gemessen. Als Mittelpunkt des Muttersterns wurde der Pixel mit dem größten enthaltenen Fluss, welcher durch den ADU-Wert repräsentiert wird, definiert.

Damit eine potentielle Lichtquelle in dem jeweiligen Abstand noch hätte detektiert werden können, müsste deren Fluss mindestens dreimal so groß wie der dort gemessene des Hintergrunds sein. Auf diese Weise ist die Detektionsgrenze in den Aufnahmen für ein

signal-to-noise ratio⁷ $S/N = 3$ berechnet worden. Dieser Flussunterschied wurde anschließend als Helligkeitsunterschied in Abhängigkeit des Abstands zum Zentrum des Muttersterns ausgegeben und ist für das K -Band in Abbildung 4.6 dargestellt. Neben dem gemessenen Abstand wurde zusätzlich auch der projizierte Abstand, basierend auf der Entfernung aus Bailer-Jones et al. (2021), angegeben. Die gestrichelten Linien in Abbildung 4.6 zeigen die Helligkeitsunterschiede, welche nach Baraffe et al. (2015) für Begleiter mit $80 M_{\text{Jup}}$ bzw. $13 M_{\text{Jup}}$ bei einem Alter von 3 Myr im K -Band zu erwarten sind. Die zugrunde liegenden absoluten Helligkeiten⁸ aus Baraffe et al. (2015) wurden für die jeweiligen Massen im K_s -Band des 2 MASS⁹-Katalogs (Skrutskie et al., 2006) angegeben und mit

$$m_K = (-0,003 \pm 0,008) + (-0,025 \pm 0,012) \cdot (m_J - m_{K_s}) + m_{K_s} \quad (4.2)$$

aus Leggett et al. (2006) in das K -Band konvertiert. Aus Abbildung 4.6 geht hervor, dass bei einem Abstand von $0,5''$ auch planetare Objekte, die bis zu ≈ 7 mag dunkler als der Mutterstern sind, noch detektierbar wären. Des Weiteren kann die Existenz von Braunen Zwergen für Abstände $\geq 0,38''$ und stellaren Objekten für $\geq 0,20''$ in der Apertur ausgeschlossen werden.

⁷englisch für Signal-zu-Rauschen-Verhältnis

⁸Die Helligkeit für ein Objekt der Masse $13 M_{\text{Jup}}$ wurde jeweils mit Hilfe eines Polynoms fünften Grades über dem Massenbereich von $10 M_{\text{Jup}}$ bis $100 M_{\text{Jup}}$ extrapoliert.

⁹Two Micron All Sky Survey

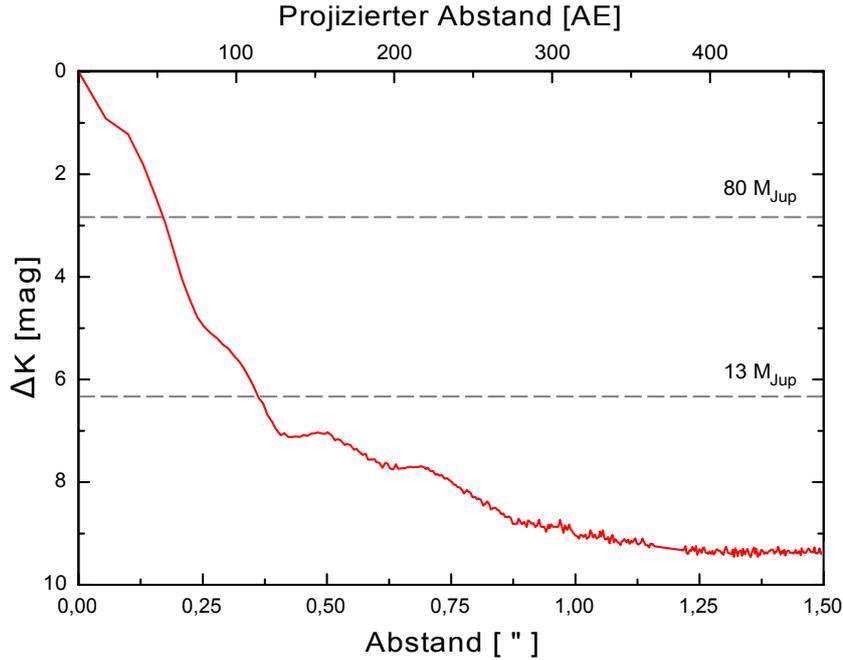


ABBILDUNG 4.6: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K -Band für die Aufnahme des Transitkandidatenmuttersterns IC 348 LRL 47.

Die absoluten Helligkeiten des Sterns IC 348 LRL 47, $\mathcal{M}_J = (3,037_{-0,043}^{+0,063})$ mag, $\mathcal{M}_H = (2,683_{-0,045}^{+0,055})$ mag und $\mathcal{M}_{K_s} = (2,594_{-0,030}^{+0,036})$ mag wurden mit den scheinbaren Helligkeiten aus dem 2 MASS-Katalog analog zum G -Band berechnet. Dabei ist festzustellen, dass deren Kombination am besten zu einem 3 Myr jungen Einzelstern der Masse $(1,10 \pm 0,05) M_\odot$ mit einem Radius von $R = (1,747 \pm 0,037) R_\odot$ passt (Baraffe et al., 2015). Diese Werte sind konsistent im Bereich von 3σ mit den dazugehörigen Angaben in Tabelle 4.1 und ebenso mit $M = (0,960 \pm 0,123) M_\odot$ sowie $R = (1,492 \pm 0,084) R_\odot$ aus dem Katalog von Stassun (2019). In Kirk und Myers (2011) wird IC 348 LRL 47 eine Masse von $\sim 2,43 M_\odot$ (keine explizite Fehlerangabe vorhanden) zugeordnet.

Das Szenario eines überblendeten Doppelsterns ist unwahrscheinlich. IC 348 LRL 47 zeigt keine übermäßige Helligkeit, die auf eine zusätzlich Quelle zurückzuführen wäre. Die absoluten Helligkeiten des Transitkandidatenmuttersterns passen somit zu den Werten eines Einzelsterns. Weiterhin sind die auf den Gaia-Daten basierenden Eigenschaften von IC 348 LRL 47 konsistent mit denen, welche aus den Infrarothelligkeiten bestimmt wurden.

4.4 Modellierung der Radialgeschwindigkeitslösung

Für den Transitkandidatenmutterstern IC 348 LRL 47 sind in der VizieR-Datenbank vier Radialgeschwindigkeitsmessungen im Katalog von Jönsson et al. (2020) verfügbar, welche sich

signifikant voneinander unterscheiden und zu verschiedenen Phasen der Umlaufperiode stattfanden. Die Messungen erfolgten im Rahmen des „Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment“ (APOGEE; Majewski et al., 2017), welches ein Bestandteil der „Sloan Digital Sky Survey III und IV“ (York et al., 2000) ist. Das APOGEE nahm hoch aufgelöste Spektren am 2,5 m-Teleskop des Apache Point Observatoriums im Wellenlängenbereich zwischen 15140 \AA und 16940 \AA auf. Dabei betrug das Auflösungsvermögen des Spektrographen $\mathcal{R} \approx 22500$. Für jedes der vier vollständig reduzierten Spektren wurde ein $S/N > 120$ erreicht (Jönsson et al., 2020). Anhand von Kreuzkorrelation mit künstlichen Vergleichsspektren wurde die Radialgeschwindigkeit bestimmt sowie baryzentrisch korrigiert (Jönsson et al., 2020; Majewski et al., 2017). Diese vier Messungen sind mit ihrer jeweiligen Zeitangabe in Tabelle 4.3 aufgelistet.

Aus der Differenz des größten und kleinsten Radialgeschwindigkeitsmesswertes geht hervor, dass es sich um einen stellaren Begleiter handeln muss. Die zu erwartende Radialgeschwindigkeitsamplitude eines Planeten wäre $< 2 \text{ km/s}$ und die für Braune Zwerge $< 10 \text{ km/s}$. Dabei wird ein Mutterstern mit einer Masse von $\sim 1 M_{\odot}$ angenommen. In Kounkel et al. (2019), welche ebenfalls die APOGEE-Daten untersucht haben, wurde festgestellt, dass in den Spektren von IC 348 LRL 47 nur die Spektrallinien einer Komponente sichtbar sind. Folglich handelt es sich bei diesem System um einen einzelligen spektroskopischen Doppelstern.

TABELLE 4.3: Baryzentrisch korrigierte Radialgeschwindigkeiten von IC 348 LRL 47 aus dem Katalog von Jönsson et al. (2020).

HJD ^a	v_{rad} [km/s]
2456168,9415	$-15,63 \pm 0,02$
2456171,9748	$49,65 \pm 0,02$
2456172,9749	$22,07 \pm 0,03$
2456262,6865	$8,09 \pm 0,02$

^a Berechnet aus dem JD von Jönsson et al. (2020) nach Eastman et al. (2010).

Es erfolgte eine Aktualisierung der Ephemeriden mit dem Programm `PHYSICS OF ECLIPSING BINARIES` (PHOEBE; Prsa, Matijevic, Latkovic, Vilardell & Wils, 2011) in der Version 0.32-snapshot. Dabei wurde nach dem in Zaslavskii (2016) beschriebenen Ablauf vorgegangen. Als Datensätze wurden alle Transitlichtkurven von IC 348 LRL 47/cc im *I*-Band aus Tabelle C.1 verwendet, sowie die Messungen im *R*-Band vom 30.10.2018 und im *V*-Band vom 17.12.2020. Jene genannten Lichtkurven verfügen über eine deutlich bessere zeitliche Auflösung und photometrische Präzision als die restlichen drei ungenutzten Lichtkurven. Die aktualisierten Ephemeriden sind

in Tabelle 4.4 zu finden. Weiterhin wurde auch die Inklination mit PHOEBE bestimmt. Da es sich bei den beobachteten Helligkeitseinbrüchen jeweils um einen partiellen Transit handelt, ist der in Tabelle 4.4 gelistete Wert als Obergrenze angegeben. Zur Bestimmung der Bahnpa-

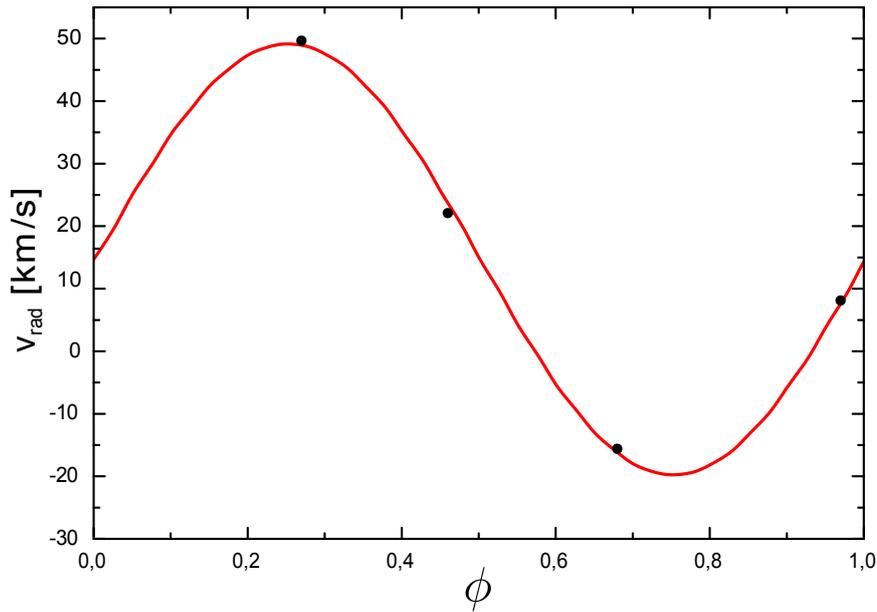


ABBILDUNG 4.7: Phasengefaltete Radialgeschwindigkeitskurve von IC 348 LRL 47. Die mittlere quadratische Abweichung der Messwerte beträgt 0,65 km/s. Die Kurve ist phasenverschoben, so dass sich der Mittelpunkt des Transits T_M bei $\phi = 0$ ereignet.

parameter aus den Radialgeschwindigkeitsmessungen wurde der Spectroscopic Binary Solver (SBS; Johnson, 2004) verwendet. Die zuvor aktualisierte Umlaufperiode des Systems wurde als Eingabeparameter im SBS fixiert. Außerdem wird $e = 0$ gesetzt, da Doppelsternsysteme mit $P < 10$ d typischerweise eine kreisförmige Umlaufbahn aufweisen, während für $P > 10$ d exzentrische Bahnen statistisch wahrscheinlicher sind (Bischoff, Mugrauer, Lux et al., 2020; Bischoff et al., 2017). Die identifizierten Bahnelemente sowie die Massenfunktion und die minimale große Halbachse von IC 348 LRL 47 sind in Tabelle 4.4 angegeben. Die phasengefaltete Radialgeschwindigkeitskurve ist mit den dazugehörigen Messwerten in Abbildung 4.7 dargestellt.

4.5 Ergebnisse

Sowohl aus den Gaia-Daten als auch aus der YETI-Photometrie geht hervor, dass IC 348 LRL 47 von einem leuchtschwachen Begleiter umkreist wird, da die Position des Sterns im FHD (Abbildung 4.2) nicht von den übrigen Haufenmitgliedern mit vergleichbarer Farbe abweicht und auch kein Farbeffekt in den Transitbeobachtungen (Tabelle 4.2) detektiert wurde. In den Infrarotaufnahmen konnte keine zusätzliche Lichtquelle aufgelöst werden und die absoluten Helligkeiten von IC 348 LRL 47 sind konsistent mit den Werten eines Einzelsterns. Das Szenario eines überblendeten Doppelsterns ist deshalb unwahrscheinlich. Aus spektroskopischen Unter-

suchungen von Kounkel et al. (2019) geht hervor, dass nur die Spektrallinien einer Komponente sichtbar sind.

TABELLE 4.4: Ephemeriden von IC 348 LRL 47/cc und Bahnelemente von IC 348 LRL 47 sowie Massenfunktion und Minimum der großen Halbachse.

Parameter	Wert
P [d]	$5,123775 \pm 0,000007$
T_0 [HJD]	$2456188,512 \pm 0,003$
i [°]	$\leq 80,4$
e	0 (fest)
ω [°]	0 (fest)
K [km/s]	$34,59 \pm 0,48$
γ [km/s]	$14,69 \pm 0,33$
$f(M)$ [M_\odot]	$0,0220 \pm 0,0009$
$a \cdot \sin(i)$ [AE]	$0,0162 \pm 0,0002$

bis M3,5 entspricht (Pecaut & Mamajek, 2013). Für einen 3 Myr jungen Stern mit diesen Massenangaben ist, basierend auf den Modellen von Baraffe et al. (2015), ein Radius von $1,458 R_\odot$ bis $1,067 R_\odot$ zu erwarten.

Aus der Massenfunktion und der Inklination in Tabelle 4.4, zusammen mit der Massenangabe für die Primärkomponente IC 348 LRL 47 aus Tabelle 4.1, ergibt sich eine Mindestmasse $M_{\min} = (0,33 \pm 0,02) M_\odot$ für den stellaren Begleiter IC 348 LRL 47/cc. Da es sich bei IC 348 LRL 47 um einen einzelligen Doppelstern handelt, muss dessen Sekundärkomponente auch mindestens 1 mag dunkler sein als die Primärkomponente mit dem Spektraltyp K0. Nach Tabelle 5 in Pecaut und Mamajek (2013)¹⁰ würden spätere Begleiter, beginnend ab dem Spektraltyp K4, diese Bedingung erfüllen. Infolgedessen liegt die Masse der Sekundärkomponente IC 348 LRL 47/cc zwischen $0,73 M_\odot$ und $0,31 M_\odot$, was einem Spektraltyp von K4

¹⁰Die aktuellste Version der Tabelle ist unter https://www.pas.rochester.edu/~emamajek/EEM_dwarf_UBVIJHK_colors_Teff.txt verfügbar.

Kapitel 5

Transitkandidat CVSO 30 b

Der Stern CVSO 30, welcher auch als PTFO 8-8695 bekannt ist, gehört zum Sternhaufen 25 Ori und wurde im Rahmen der „Centro de Investigaciones de Astronomía Variability Survey of Orion OB1“ (CVSO; Briceño et al., 2005) entdeckt. Dabei handelt es sich um einen T-Tauri-Stern mit schwachen Emissionslinien (WTTS¹) vom Spektraltyp M3 (Briceño et al., 2005; Johns-Krull et al., 2016). Durch Anpassung von Isochronen wird CVSO 30 ein Alter von $\tau = (8,5 \pm 1,2)$ Myr zugeordnet (Bouma et al., 2020; Kounkel et al., 2018).

T-Tauri-Sterne sind magnetisch aktive Vorhauptreihensterne, die von einer Gas- und Staubscheibe umgeben sind. Weiterhin besitzen diese Objekte photometrisch variable Lichtkurven. Die Variabilität resultiert zum Einen aus einer Vielzahl von kühlen rotierenden Flecken auf der Sternoberfläche und zum Anderen aus Phasen mit potenzieller Akkretion des Sterns von seiner umgebenden Scheibe. An den Stellen, an denen das akkretierte Material auf den Stern trifft, bilden sich heiße Flecken, welche heller sind als die umgebende Sternoberfläche. Heiße Flecken existieren nur für eine relativ kurze Zeitspanne im Vergleich zu den kühlen Sternflecken, welche oftmals hunderte bis tausende Umdrehungen des Sterns überdauern. Die typische Rotationsperiode von T-Tauri-Sternen liegt zwischen 0,5 d und 18 d. Weiterhin können in der Lichtkurve auch Helligkeitseinbrüche detektiert werden, wenn der Stern durch Staubklumpen innerhalb der Scheibe zeitweise verdeckt wird. Die Existenz von Gas- und Staubscheiben nah an ihrem Stern kann auch zur Ausbildung eines Infrarotexzesses in der spektralen Energieverteilung des Systems führen. Dabei handelt es sich um eine erhöhte Emission von Strahlung im Infrarot, welche die eines vergleichbaren Sterns ohne Scheibe deutlich übersteigt. Anhand der Äquivalentbreite ihrer $H\alpha$ -Emissionslinie der Balmer-Serie $W_{H\alpha}$ und dem Vorhandensein eines Infrarotexzesses wird zwischen klassischen T-Tauri-Sternen und WTTS unterschieden. Klassische T-Tauri-Sterne weisen einen Infrarotexzess sowie eine Wasserstoffemission $W_{H\alpha} > 10 \text{ \AA}$ auf, während ein Infrarotexzess bei WTTS fehlt oder nur sehr schwach

¹weak-line T Tauri star, englisch für T-Tauri-Stern mit schwachen Emissionslinien

ausgeprägt und $W_{\text{H}\alpha} < 10 \text{ \AA}$ ist (Herbst, Herbst, Grossman & Weinstein, 1994; Voigt, 2012). Neben den für T-Tauri-Sterne typischen photometrischen Variationen zeigt CVSO 30 in seiner Lichtkurve zusätzlich transitähnliche Helligkeitseinbrüche mit einer Periode von $\sim 10,8 \text{ h}$. Dieses Phänomen wurde erstmalig von van Eyken et al. (2012) detektiert und durch YETI-Beobachtungen von Raetz et al. (2016) bestätigt. Das ursprünglich gefundene transitähnliche Signal besaß eine Tiefe von $\Delta m_R \approx 35 \text{ mmag}$ und dauerte ca. 100 min an. Um das Szenario eines überblendeten Doppelsterns sowie nicht planetarer Begleiter zu testen, erfolgten Infrarotbeobachtungen mit AO und die Aufnahme von hoch auflösenden Spektren u.a. am Keck-Teleskop und dem Hobby-Eberly-Teleskop. Die zusätzliche Lichtquelle in den Infrarotaufnahmen, welche später als CVSO 30 c bekannt wurde (Schmidt et al., 2016), ist zu leuchtschwach und zu weit entfernt, um den Helligkeitseinbruch zu verursachen (van Eyken et al., 2012). Schmidt et al. (2016) klassifizierten CVSO 30 c aufgrund von zusätzlichen Hochkontrastbeobachtungen ebenfalls als Planetenkandidaten. Des Weiteren zeigte CVSO 30 auch keine signifikante Änderung seiner Radialgeschwindigkeit, weshalb dem potenziellen transitierenden Begleiter CVSO 30 b eine Massengrenze $M_{\text{CVSO 30 b}} \leq (5,5 \pm 1,4) M_{\text{Jup}}$ zugeordnet wurde. Infolgedessen schlussfolgerten van Eyken et al. (2012), dass die gefundenen Helligkeitseinbrüche von CVSO 30 durch einen heißen Jupiter verursacht werden.

Der Status beider Kandidaten wird bis heute kontrovers diskutiert. So stuften Lee und Chiang (2018) CVSO 30 c als Hintergrundstern ein. Auch die Existenz von CVSO 30 b wurde zunehmend angezweifelt, da sich Tiefe, Dauer und Form des transitähnlichen Signals in der Lichtkurve von CVSO 30 seit dessen Entdeckung signifikant verändert haben (Bischoff et al., 2022; Raetz et al., 2016; Tanimoto et al., 2020; van Eyken et al., 2012; Yu et al., 2015). CVSO 30 b zeigte beispielsweise in einigen Epochen keine Wellenlängenabhängigkeit seiner transitähnlichen Verdunklungen (Raetz et al., 2016), was ein Indiz für einen planetaren Begleiter wäre, während in anderen Epochen die Transittiefe zu kürzeren Wellenlängen hin zunahm (Koen, 2015; Onitsuka et al., 2017; Tanimoto et al., 2020; Yu et al., 2015). Weiterhin waren teilweise keine Helligkeitseinbrüche bei CVSO 30 b in den zu erwartenden Zeiträumen detektierbar oder es waren binnen einer Periode mehrere transitähnliche Signale beobachtbar (Bischoff et al., 2022; Tanimoto et al., 2020). Seit 2014 konnten bei CVSO 30 b hauptsächlich drei phasenverschobene Helligkeitseinbrüche gemessen werden, welche der gleichen Periode zu folgen scheinen und in Tanimoto et al. (2020) als Dip-A, Dip-B und Dip-C bezeichnet wurden.

Um diese Eigenschaften zu erklären, wurde eine Vielzahl möglicher Szenarien seit der Entdeckung des Signals vorgestellt. Jedoch konnten diese sich mitunter widersprechenden Begründungen oftmals nur einen Teil der Besonderheiten von CVSO 30 b erklären. Als mögliche Ursache für das Verschwinden und Wiedererscheinen des Transitsignals präsentierten Barnes, van Eyken, Jackson, Ciardi und Fortney (2013) das Szenario eines präzidierenden

Heißen Jupiters, dessen Bahnebene nicht senkrecht zur Rotationsachse des Sterns steht. Die Existenz eines Transitplaneten wurde bspw. durch Yu et al. (2015) in Frage gestellt, da auch der Rossiter-McLaughlin-Effekt² oder Änderungen der Radialgeschwindigkeit nicht beobachtet werden konnte. Kühle Sternflecken sind typischerweise für die Hälfte der Rotationsperiode des Sterns sichtbar. Die potentiellen Rotationsperioden von CVSO 30 waren mit 11,98 h und 10,76 h (Bouma et al., 2020; Koen, 2020) zu lang, um zu einer Transitdauer von ca. 100 min zu passen. Deshalb führte Koen (2021) den Helligkeitseinbruch auf Sternflecken zurück, die sich auf einem differentiell rotierenden Stern bewegen. Die prognostizierten kühlen Sternflecken müssten dabei teilweise die Hälfte der Sternoberfläche bedecken. Eine solche Ausdehnung übersteigt die zu erwartende Größe normaler Flecken und wäre in spektroskopischen Messungen, wie bspw. bei dem WTTS P 1724 (Neuhäuser, Torres, Frink, Covino & Alcalá, 1997), vermutlich bemerkt worden. Weitere Erklärungsansätze setzten einen Transitplaneten voraus, der von einer Staubwolke umgeben ist. Dabei bewirken Veränderungen in der Geometrie der Wolke Änderungen in der Form der Lichtkurve (Grosson & Johns-Krull, 2021; Tanimoto et al., 2020). Durch die Analyse der TESS³-Daten (Ricker et al., 2015) schlussfolgerten Bouma et al. (2020) und Koen (2020), dass es sich bei CVSO 30 um ein Binärsystem, bestehend aus zwei ähnlichen Sternen, handelt, da u.a. die Helligkeitsvariationen mit der Überlagerung zweier verschiedener Perioden beschrieben werden konnten. Diese beiden Perioden wurden zuvor auch von Raetz et al. (2016) gefunden und als Rotationsperiode des Sterns CVSO 30 und Umlaufperiode des Transitplanetenkandidaten CVSO 30 b interpretiert. Alternativ könnten heiße Flecken transitähnliche Verdunklungen hervorrufen, wenn sie in der Nähe des Pols auf der Sternoberfläche rotieren und sich dabei zeitweise aus dem Sichtfeld des Beobachters heraus bewegen (Tanimoto et al., 2020; Yu et al., 2015).

Die nachfolgenden Untersuchungen zu CVSO 30 b durch das YETI-Netzwerk wurden bereits in Bischoff et al. (2022) publiziert. Der dazugehörige Artikel ist in Anhang E zu finden. Dieser liefert einen Beitrag zur Interpretation des Mechanismus, der die transitähnlichen Signale von CVSO 30 verursacht.

²Bei einem rotierenden Stern zeigt dessen Hälfte, welche sich auf den Beobachter zubewegt, eine Blauverschiebung und jene, welche sich vom Beobachter entfernt, eine Rotverschiebung. Infolge eines Planetentransits ändert sich zeitweise der Flussanteil des blau- und des rotverschobenen Lichts. Diese Änderung kann im Linienprofil des Sternenspektrums detektiert werden (Ohta, Taruya & Suto, 2005).

³Transiting Exoplanet Survey Satellite, englisch für Satellit zur Suche extrasolarer Transitplaneten

5.1 Untersuchung des Sternhaufens 25 Ori mit Gaia-Daten

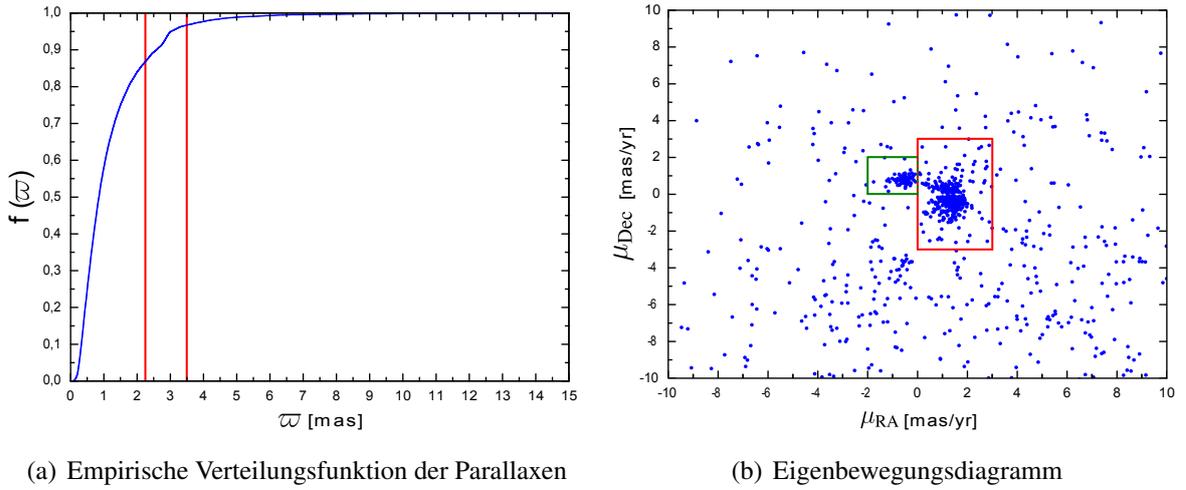
Die Bestimmung der Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori erfolgte analog zur Vorgehensweise in Kapitel 4.1. Dazu wurde in einem Radius von $61'$ um die Sexagesimal-Koordinaten $05\text{ h } 24\text{ min } 49\text{ s}$ (RA J2000) und $+01^\circ 50' 47''$ (Dec J2000) des Sterns 25 Ori (Gaia Collaboration et al., 2018), welcher der Namensgeber für den Sternhaufen ist, nach potentiellen Mitgliedern im Gaia EDR3 Katalog gesucht.

Für Sterne mit signifikant bestimmter Eigenbewegung und (nicht negativer) Parallaxe zeigt sich eine Häufung in Abbildung 5.1 (a) bei $\varpi \sim 2,9$ mas. Anhand seiner Eigenbewegung konnte der Sternhaufen zunächst nicht identifiziert werden, weshalb im weiteren Vorgehen nur Lichtquellen mit $\varpi \in [2, 25; 3, 50]$ mas berücksichtigt wurden. Für die verbleibenden Objekte waren zwei Ansammlungen sichtbar (Abbildung 5.1 (b)). Daher wurden die beiden Häufungen innerhalb der Intervalle $\mu_{\text{RA}} \in [0; 3]$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \in [-3; 3]$ mas/yr (H1) bzw. $\mu_{\text{RA}} \in [-2; 0]$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \in [0; 2]$ mas/yr (H2) separat betrachtet.

Für H1 und H2 sind jeweils der Median und das arithmetische Mittel $\bar{\varpi}$ der Parallaxen innerhalb der Standardabweichung $\sigma(\varpi)$ konsistent miteinander. Zudem gilt $\bar{\varpi} > 3 \cdot \sigma(\varpi)$. Im Falle von H2 zeigt sich dabei keine signifikante Eigenbewegung in RA, während diese aber in Richtung Dec vorhanden ist. Diese 88 Objekte, deren Gaia EDR3-Namen im Anhang in Tabelle B.3 aufgelistet sind, bilden einen Sternhaufen, der nachfolgend als 25 Ori-2 bezeichnet wird, in Anlehnung an die Nomenklatur in Bouma et al. (2020) und Kounkel et al. (2018). Deren angegebene mittlere Parallaxe sowie Eigenbewegung (Tabelle 5.1) sind in guter Übereinstimmung mit den dazugehörigen Angaben aus Kounkel et al. (2018).

Für H1 ist $|\bar{\mu}_{\text{RA}}| \approx 3 \cdot \sigma(\mu_{\text{RA}})$, während keine signifikante Bewegung in Richtung Dec detektierbar ist. Bei den 357 Sternen, die innerhalb der dreifachen Standardabweichung um den jeweiligen Mittelwert von H1 in Tabelle 5.1 streuen, handelt es sich ebenfalls um die Mitglieder eines Sternhaufens, der nachfolgend 25 Ori-1⁴ genannt wird. Dessen einzelne Sterne sind in Tabelle B.2 aufgelistet. Die Gruppe der wahrscheinlichsten Mitglieder von 25 Ori-1 streut dabei innerhalb der einfachen Standardabweichung um den erwähnten Mittelwert. Zu diesen 239 Sternen zählt auch der Transitkandidatenmutterstern CVSO 30 (Gaia EDR3 3222255959210123904). In analoger Weise zum Vorgehen in Kapitel 4.1 wurden die absoluten Helligkeiten im G -Band und die intrinsischen Farben $(BP - RP)_0$ für die wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1 berechnet (siehe Tabelle B.7). Das dazugehörige FHD ist in Abbildung 5.2 dargestellt.

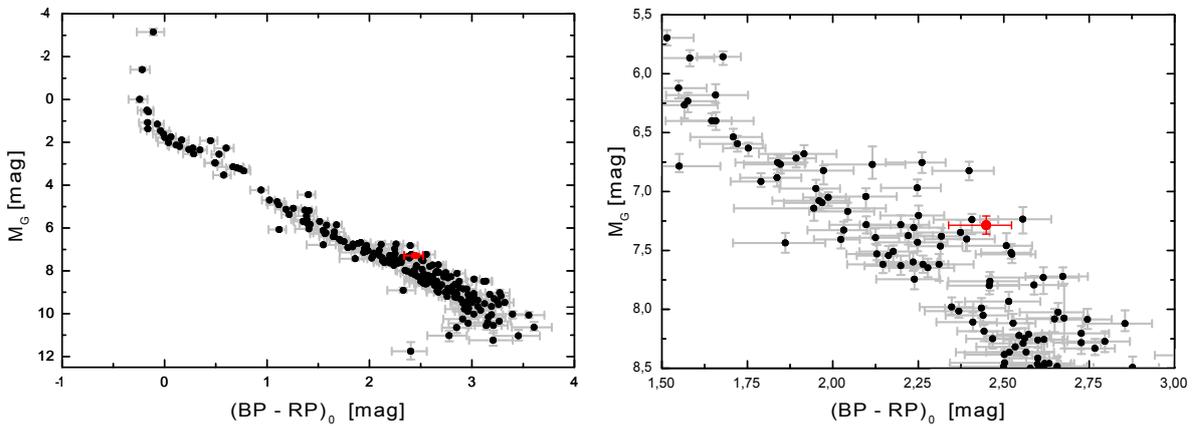
⁴Die in dieser Dissertation als Mitglieder von 25 Ori-1 klassifizierten Sterne werden in Kounkel et al. (2018), aufgrund von zusätzlichen spektroskopischen Untersuchungen, in weitere Untergruppen aufgespalten.



ABILDUNG 5.1: Messwerte von Sternen mit signifikanter Parallaxe und Eigenbewegung aus Gaia EDR3 in der scheinbaren Umgebung von 25 Ori. Die Begrenzungen des Intervalls, in denen sich die Mitglieder des Sternhaufens befinden, sind links in rot dargestellt. Die Sterne der Häufung H1 sind rechts innerhalb des roten und die von H2 innerhalb des grünen Rechtecks dargestellt.

TABELLE 5.1: Eigenschaften der beiden identifizierten Sternhaufen. Es werden jeweils die gemittelte Parallaxe und Eigenbewegung der Mitgliedssterne angegeben sowie deren Anzahl.

Bezeichnung	$\overline{\varpi}$ [mas]	$\overline{\mu}_{RA}$ [mas/yr]	$\overline{\mu}_{Dec}$ [mas/yr]	N
25 Ori-1 (H1)	$2,8424 \pm 0,1848$	$1,366 \pm 0,496$	$-0,224 \pm 0,842$	357
25 Ori-2 (H2)	$2,7361 \pm 0,1727$	$-0,578 \pm 0,291$	$0,808 \pm 0,261$	88



ABILDUNG 5.2: Farben-Helligkeits-Diagramm der wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1. Der Transitkandidatenmutterstern CVSO 30 ist jeweils in rot dargestellt. Aus Bischoff et al. (2022).

Aus dem FHD geht hervor, dass CVSO 30 ca. 0,75 mag heller ist als Sternhaufenmitglieder mit vergleichbarer Farbe, was auch bereits durch Bouma et al. (2020) festgestellt wurde. Dies

legt die Vermutung nahe, dass CVSO 30 ein potentielles Doppelsternsystem mit zwei ähnlichen Komponenten ist. Weiterhin konnten aus dessen Photometrie zwei zugrundeliegende Perioden extrahiert werden, die keine Harmonischen voneinander sind (Bouma et al., 2020; Koen, 2020; Raetz et al., 2016). Der RUWE⁵ ist 1,257 für CVSO 30 und ein Qualitätsindikator für die astrometrische Lösung einer Lichtquelle in den Gaia EDR3-Daten. Stassun und Torres (2021) haben gezeigt, dass dieser zur Bewegungsbeschreibung des Lichtschwerpunktes verwendet werden kann und Werte, die auch nur geringfügig größer als eins sind, ein Indiz für unaufgelöste Binärsternsysteme sind. Die Doppelstern-Hypothese von CVSO 30 und mögliche Alternativszenarien werden u.a. in Kapitel 5.4 näher beleuchtet.

Auch wenn CVSO 30 eindeutig als Mitglied des Sternhaufens 25 Ori-1 identifiziert werden konnte, so unterscheidet sich dieser deutlich von den übrigen Haufenmitgliedern.

5.2 Auswertung der Transitphotometrie

TABELLE 5.2: Eigenschaften des Sterns CVSO 30.

Parameter	Wert	Ref.
RA (J2000) [h : min : s]	05 : 25 : 07,6	^a
Dec (J2000) [° : ' : '']	+01 : 34 : 24,4	^a
M_{\star} [M_{\odot}]	$0,502 \pm 0,038$	^b
R_{\star} [R_{\odot}]	$1,69 \pm 0,16$	^c
T_{eff} [K]	3448^{+43}_{-12}	^b
$\log(g)$ [$\log[\text{cm}/\text{s}^2]$]	$3,84^{+0,02}_{-0,04}$	^b
[Fe/H] [dex]	$0,500 \pm 0,001$	^b
d [pc]	334^{+4}_{-3}	^d
m_G [mag]	$15,101 \pm 0,003$	^a
A_G [mag]	$0,195 \pm 0,0049$	^f
\mathcal{M}_G [mag]	$7,286^{+0,075}_{-0,078}$	^c
$(BP - RP)_0$ [mag]	$2,449^{+0,074}_{-0,110}$	^c
u_R	$0,717 \pm 0,033$	^e

^a Gaia Collaboration et al. (2021), ^b Queiroz et al. (2020), ^c Bischoff et al. (2022), ^d Bailer-Jones et al. (2021), ^e Claret und Bloemen (2011)

Dip-C wurde erstmalig von Tanimoto et al. (2020) im November 2018 entdeckt. Die erste erfolgreiche Detektion durch das YETI-Netzwerk gelang im Oktober 2020.

Die durch `automat.py` erstellten Lichtkurven sind in den Abbildungen A1 bis A7 von An-

Die in dieser Dissertation besprochenen Nachfolgebeobachtungen für CVSO 30 b durch die YETI-Teleskope umfassen den Zeitraum von Oktober 2014 bis Februar 2021 (siehe Tabelle A.2). Die Beobachtungen erfolgten hauptsächlich im R -Filter und waren, basierend auf den Ephemeriden aus Raetz et al. (2016), auf die Zeiträume mit dem zu erwartenden Helligkeitseinbruch (Dip-B) fokussiert. Ab 2014 war eine zusätzliche Verdunklung in der Lichtkurve (Dip-A) detektierbar. Nachdem in den TESS-Daten von CVSO 30 ein drittes Transitsignal (Dip-C) gefunden wurde, welches gegenüber dem ursprünglichen um ca. 180° phasenverschoben ist (priv. Kommunikation mit T.O.B. Schmidt im Sommer 2019), wurden auch für dieses Nachfolgebeobachtungen geplant.

⁵Renormalized Unit Weight Error, englisch für renormierter Gewichtsfehler

hang E dargestellt. Für Epochen mit einer transitähnlichen Verdunklung erfolgte die photometrische Korrektur der Messpunkte außerhalb des Helligkeitseinbruchs analog zu Kapitel 4.2 sowie die anschließend durchgeführte Analyse mit ETD. Die dafür erforderlichen Eingabeparameter wurden aufbauend auf den Angaben in Tabelle 5.2 bestimmt. Außerdem konnte in drei Epochen kurzzeitig ein sprunghafter Anstieg der Helligkeit gemessen werden, der nicht auf die Wetterbedingungen am jeweiligen Observatorium zurückzuführen war. Die maximale Flusszunahme während jener Flare-ähnlichen Ereignisse ist im Anhang in Tabelle C.3 aufgelistet. Solche sprunghaften Helligkeitsanstiege waren auch bereits durch van Eyken et al. (2012) und Czesla et al. (2019) beobachtet worden. Der angegebene Radius für CVSO 30 in Tabelle 5.2 basiert auf der Annahme, dass es sich dabei um einen Einzelstern handelt. Dessen bolometrische Helligkeit M_{bol} ist die Summe aus der absoluten Helligkeit des Sterns im G -Filter und der dazugehörigen bolometrischen Korrektur BK_G , welche mit Hilfe der Webseite „MESA Isochrones & Stellar Tracks⁶“ (Choi et al., 2016) zu $BK_G = (-1, 445 \pm 0, 072)$ mag bestimmt wurde. Dabei flossen auch die Angaben bzgl. Effektivtemperatur, Oberflächenbeschleunigung, Metallizität⁷ und Extinktion des Sterns aus Tabelle 5.2 ein. Im weiteren Vorgehen wurde das Verhältnis der Leuchtkraft von CVSO 30 zu dem der Sonne mittels

$$\log_{10} \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right) = \frac{M_{\text{bol}\odot} - M_{\text{bol}}}{2, 5} \quad (5.1)$$

berechnet (Bischoff et al., 2022). Hierbei sei $M_{\text{bol}\odot} = 4, 74$ mag (Prša et al., 2016). Der Radius

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

ergab sich abschließend aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz. Für den Fall, dass CVSO 30 ein Binärsystem mit zwei gleich hellen Komponenten wäre, ändert sich dessen absolute Helligkeit zu $\tilde{M}_G = 8, 039_{-0, 078}^{+0, 075}$ mag und der Radius wäre $\tilde{R} = 1, 19_{-0, 11}^{+0, 10} R_{\odot}$.

Die mit ETD prozessierten Lichtkurven sind in Abbildung 2 und 3 in Anhang E phasengefaltet dargestellt. Die Faltung erfolgte entsprechend der Ephemeriden

$$T_0 = (2455543, 943 \pm 0, 002) \text{BJD}_{\text{TDB}}, \quad (5.3)$$

$$P = (0, 4483993 \pm 0, 0000006) \text{d} \quad (5.4)$$

⁶online verfügbar unter http://waps.cfa.harvard.edu/MIST/model_grids.html

⁷Teilchenverhältnis von Metallen wie zum Beispiel Eisen zu Wasserstoff in Relation zum solaren Verhältnis: $[\text{Fe}/\text{H}] = \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}}}{N_{\text{H}}} \right) - \log_{10} \left(\frac{N_{\text{Fe}\odot}}{N_{\text{H}\odot}} \right)$ (In der Astronomie werden alle Elemente außer Wasserstoff und Helium als Metalle bezeichnet.)

5.2. Auswertung der Transitphotometrie

aus Tanimoto et al. (2020). Eine Aktualisierung dieser Werte war nicht erforderlich, da sich für Dip-B laut Beobachtet-Minus-Errechnet-Diagramm (B-E-Diagramm) in Abbildung 5.3 keine signifikante Phasenverschiebung während des gesamten Zeitraums ergab, in dem er detektiert werden konnte. Im Mittel war Dip-B bei einer Orbitphase von $0,002 \pm 0,005$ beobachtet worden. Die Transmittelpunkte von Dip-A und Dip-C ereigneten sich dabei im Mittel bei einer Phase von $0,108 \pm 0,012$ bzw. $-0,500 \pm 0,007$ (Bischoff et al., 2022).

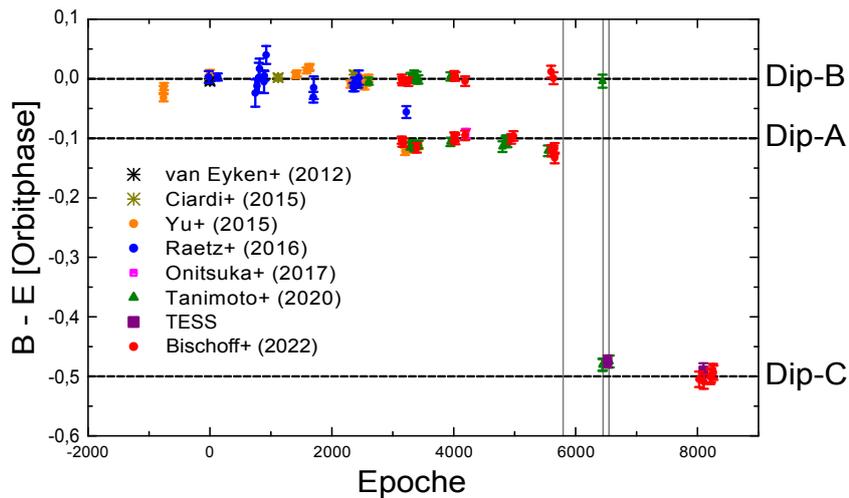


ABBILDUNG 5.3: B-E-Diagramm von CVSO 30 b nach Bischoff et al. (2022). Es wurden nur vollständig detektierte Helligkeitseinbrüche aus Raetz et al. (2016) verwendet und die Zeiträume mit Flare-ähnlichen Erscheinungen sind als senkrechte graue Linien markiert.

Die zeitliche Entwicklung aller transitähnlichen Signale von CVSO 30 b ist in Abbildung 5.4 dargestellt. Die mittlere Transittiefe betrug dabei $\overline{\Delta m_A} = (19,4 \pm 4,5)$ mmag im Fall von Dip-A und die von Dip-B betrug $\overline{\Delta m_B} = (13,1 \pm 6,6)$ mmag. Hierbei fällt jedoch

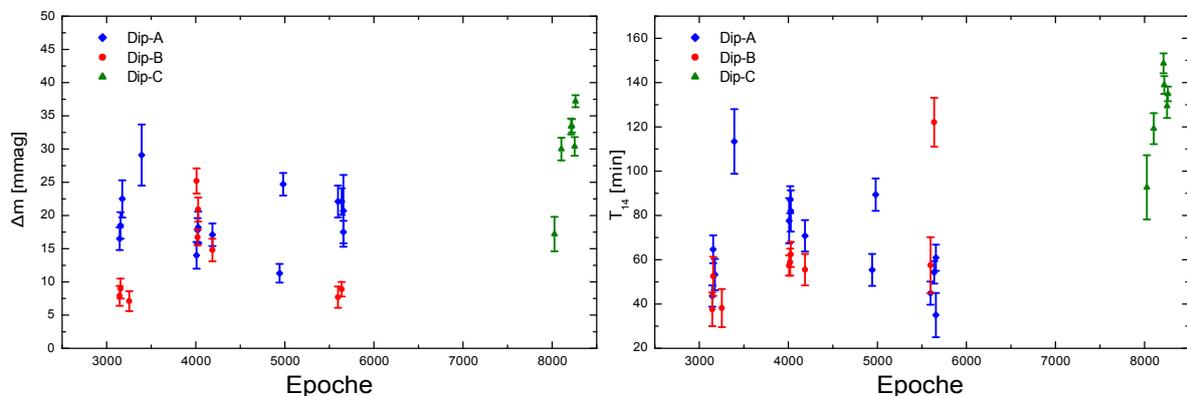


ABBILDUNG 5.4: Zeitliche Entwicklung der detektierten Transittiefe und -dauer der drei phasenverschobenen Signale in der Lichtkurve von CVSO 30 aus Bischoff et al. (2022).

auf, dass das gemittelte Transitsignal von Dip-B in der Beobachtungssaison von 2015/2016 $\overline{\Delta m}_{2015/2016 \text{ B}} = (19,4 \pm 4,6)$ mmag deutlich tiefer war als in den restlichen Zeiträumen mit $\overline{\Delta m}_{\text{B-Rest}} = (8,1 \pm 0,8)$ mmag. Darüber hinaus waren die beiden Helligkeitseinbrüche Dip-A und Dip-B letztmalig im Herbst 2017 durch das YETI-Netzwerk detektiert worden. Tanimoto et al. (2020) geben an, Dip-B nochmals am 09.11.2018 beobachtet zu haben. Allerdings sind in der dazugehörigen Grafik nur wenige Datenpunkte mit Normallicht vor dem prognostizierten Beginn des Transits verfügbar, die im Rahmen der jeweiligen Messfehler auch mit einer Nichtdetektion verträglich wären. Zudem zeigen YETI-Messungen während des unmittelbar darauffolgenden Transitzeitfensters von Dip-B keinen Helligkeitseinbruch (siehe Abbildung A5 in Anhang E). Darüber hinaus wurden Dip-A und Dip-B zuvor am 08.02.2018 von Tanimoto et al. (2020) auch nicht mehr detektiert, was konsistent mit den vorangegangenen YETI-Beobachtungen ist. Die mittlere Tiefe von Dip-C lag im R -Filter bei $\overline{\Delta m}_{\text{C}} = (30,3 \pm 6,9)$ mmag und war vergleichbar tief wie das ursprünglich detektierte Signal in van Eyken et al. (2012). Die Lichtkurven von Dip-C wiesen dabei stets ein U-förmiges Profil auf, während bei Dip-A und Dip-B zeitweise auch eine V -Form sichtbar war. Die mittleren Dauern von Dip-A mit $\overline{T}_{14\text{A}} = (66,6 \pm 21,5)$ min und die von Dip-B mit $\overline{T}_{14\text{B}} = (60,2 \pm 24,8)$ min waren kürzer als $\overline{T}_{14\text{C}} = (127,3 \pm 19,6)$ min von Dip-C (Bischoff et al., 2022). Eine Interpretation dieser Messwerte erfolgt in Kapitel 5.4.

5.3 Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

Die ersten Hochkontrastbeobachtungen zu CVSO 30 wurden 2010 von van Eyken et al. (2012) mit NIRC2⁸ am 10 m-Keck II-Teleskop im Rahmen ihrer Nachfolgebeobachtungen durchgeführt. Der Datensatz besteht aus 12 Aufnahmen im H -Band mit einer Gesamtbelichtungszeit von 6 min. Die Halbwertsbreite von CVSO 30 war dabei ≈ 80 mas und zusätzliche Lichtquellen mit bspw. einem Helligkeitsunterschied $\Delta H = 4,3$ mag konnten bis zu einem Abstand von $0,25''$ ausgeschlossen werden. Allerdings wurde eine Strahlungsquelle $1,8''$ entfernt von CVSO 30 aufgelöst, welche mit einem Kontrast von $\Delta H \approx 6,96$ mag zu dunkel ist, um das transitähnliche Signal zu verursachen (van Eyken et al., 2012).

Weitere Infrarotaufnahmen mit AO folgten durch Schmidt et al. (2016), die CVSO 30 am 03.12.2012 mit NACO⁹ am Very Large Telescope im J -, H - und K_s -Band beobachteten. In jedem Filter wurden 15 Cuben aufgenommen, die aus jeweils vier Aufnahmen mit einer Individualbelichtungszeit von 15 s bestehen. Die Gesamtintegrationszeit pro Filter beträgt somit

⁸Near Infra-Red Camera 2

⁹Nasmyth Adaptive Optics System and Coude Near Infrared Camera

15 min. Das größte Strehlverhältnis wurde dabei im K_s -Band-Datensatz erzielt (Schmidt et al., 2016), welcher durch Bischoff et al. (2022) erneut reduziert wurde, um die Doppelsternhypothese von CVSO 30 zu überprüfen. Die Datenreduktion erfolgte analog zum Vorgehen in Kapitel 4.3. Hierbei zeigt sich $\text{FWHM} = (85 \pm 8)$ mas für CVSO 30. Anhand von künstlichen Vergleichsaufnahmen wurde getestet, wie weit zwei gleich helle Objekte in den K_s -Daten voneinander entfernt sein dürfen, bis eine signifikante Elongation der PSF detektierbar ist. Das fertig reduzierte K_s -Band-Bild von CVSO 30 (Abbildung 8 in Anhang E) wurde jeweils pixelweise verschoben und mit dem Original mit Hilfe des arithmetischen Mittels kombiniert. Anschließend wurde mit dem Programm MIDAS (European Southern Observatory, 2013) eine zweidimensionale Gaußfunktion daran angepasst. Ab einem Abstand ≥ 40 mas konnte eine signifikante Elongation innerhalb der künstlich erzeugten NACO-Aufnahme (Abbildung 5.6 (b)) detektiert werden. Dieser Wert wurde auch durch Beobachtungen von Mugrauer und Ginski (2015) bestätigt. In deren Untersuchungen des Sterns HD 142245 im K_s -Filter mit NACO zeigte der dort vermessene Doppelsternbegleiter ebenfalls eine elongierte PSF mit einem Abstand von ≈ 40 mas (Bischoff et al., 2022). Der in Bischoff et al. (2022) bestimmte Winkelabstand von 40 mas bei CVSO 30 entspricht unter Berücksichtigung der Entfernung (Tabelle 5.2) einem projizierten Abstand von $13,3_{-0,1}^{+0,2}$ AE. Daraus ergibt sich nach dem dritten Keplerschen Gesetz eine maximale Umlaufperiode von ca. 50 yr für den Fall, dass CVSO 30 ein Doppelstern aus zwei gleich hellen Komponenten ist. Als Gesamtmasse des Systems wurde die zweifache Masse aus Tabelle 5.2 angenommen.

CVSO 30 wurde außerdem am 24.01.2019 zwischen 11:15 UTC und 11:38 UTC mit IRCS und AO am Subaru-Teleskop im 20 mas-Modus untersucht. Die Beobachtungen erfolgten im Servicemodus in den Filtern J , H und K unter Einsatz der Dithering-Technik bei Luftmassen von 1,830 bis 2,151. Es wurde das Standardmuster D5 mit einem Abstand von $3''$ zwischen den jeweiligen Positionen verwendet. Im J -Filter wurden 5 Aufnahmen mit einer Gesamtbelichtungszeit von 300 s angefertigt. Im H -Band wurden 6 Bilder mit einer Detektorintegrationszeit von insgesamt 204 s angefertigt und im K -Band 5 Aufnahmen mit einer Gesamtbelichtungszeit von 250 s. Ursprünglich war eine Gesamtintegrationszeit von 600 s pro Filter beantragt worden. Die Daten wurden analog zu Kapitel 4.3 prozessiert und die vollständig reduzierten Aufnahmen sind in Abbildung 5.5 dargestellt. Aufgrund der geringeren Belichtungszeiten im Vergleich zu van Eyken et al. (2012) und Schmidt et al. (2016) konnte auch CVSO 30 c in den IRCS-Daten nicht aufgelöst werden. Hierbei zeigte sich ebenfalls keine signifikante Elongation der PSF anhand der Konturlinien (Abbildung 5.6 (a)).

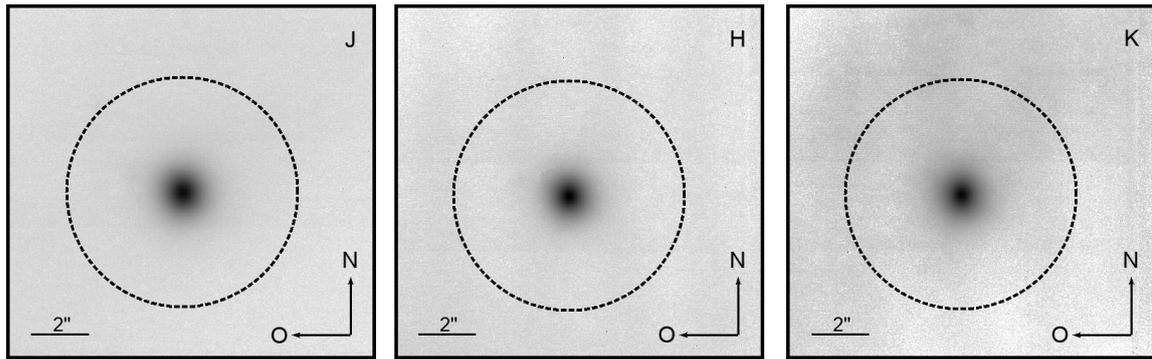
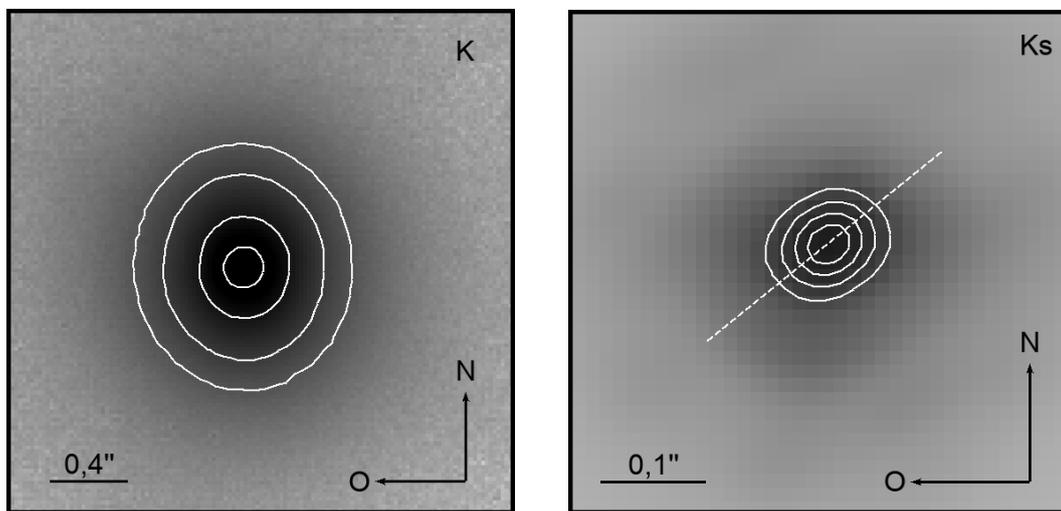


ABBILDUNG 5.5: Hochkontrastbeobachtungen von CVSO 30 mit IRCS und AO im J -, H - und K -Band. Innerhalb der typischen Apertur der YETI-Teleskope aus dem visuellen Spektralbereich, welche jeweils als Kreis mit einem Radius von $4''$ dargestellt wird, konnten keine zusätzlichen Lichtquellen im Infrarot detektiert werden.



(a) Vollständig reduzierte IRCS-Aufnahme ohne signifikante Elongation der PSF

(b) Künstlich generierte NACO-Aufnahme mit signifikant elongierter PSF

ABBILDUNG 5.6: Detailansicht der Infrarotaufnahmen mit AO von CVSO 30. Die Konturlinien, welche Bereiche gleicher Helligkeit kennzeichnen, sind als weiße Linien illustriert.

Die Detektionsgrenzen der IRCS-Aufnahme im K -Band sowie der NACO-Aufnahme im K_s -Band wurden analog zu Kapitel 4.3 und unter Verwendung der Modelle von Baraffe et al. (2015) für ein Alter von 8 Myr berechnet (Abbildung 5.7). Anhand der Infrarotbeobachtung mit NACO wären planetare Begleiter in der Umgebung von CVSO 30 ab einem Mindestabstand von $0,28''$ sowie Braune Zwerge ab $0,09''$ detektierbar. Diese wurden in den Aufnahmen jedoch nicht aufgelöst.

Aus der nicht detektierten Elongation der PSF folgt, wenn CVSO 30 ein Binärsystem aus zwei ähnlichen Komponenten ist, dann muss deren Umlaufperiode > 10 yr sein, da im Zeitraum von

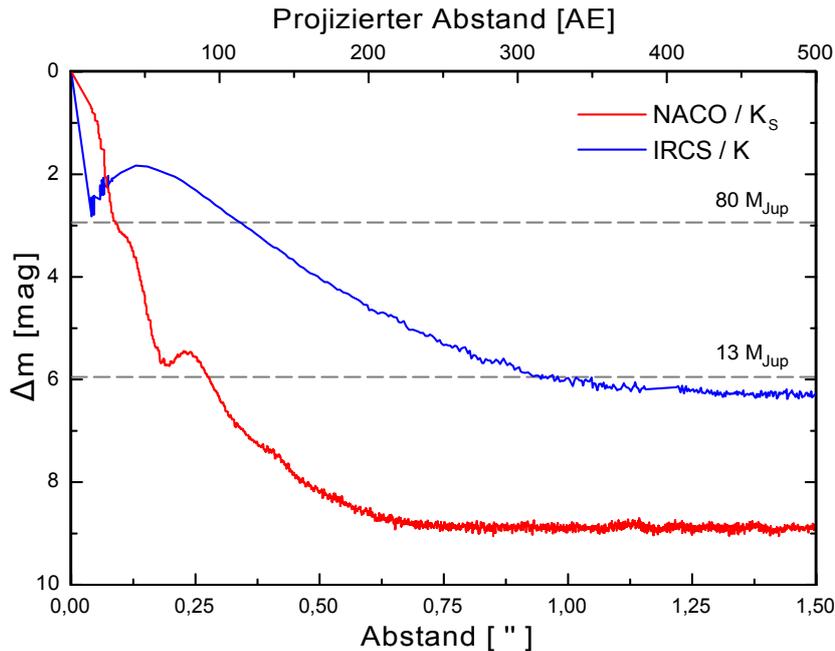


ABBILDUNG 5.7: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K -Band der IRCS-Aufnahme bzw. im K_s -Band der NACO-Aufnahme vom Transitkandidatenmutterstern CVSO 30.

2010 bis 2019 keine signifikante Elongation der PSF (Bischoff et al., 2022; van Eyken et al., 2012) bzw. Änderungen in dessen Radialgeschwindigkeit (Ciardi et al., 2015; Kounkel et al., 2019; van Eyken et al., 2012) festgestellt werden konnte. Infolge der obigen Betrachtungen mit der künstlich generierten NACO-Aufnahme liegt die Periodenobergrenze bei ca. 50 yr.

5.4 Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale

In diesem Kapitel werden zunächst die drei phasenverschobenen Helligkeitseinbrüche sowie deren detektierte Eigenschaften individuell beleuchtet. Als erstes sollen die verbliebenen Erklärungsmöglichkeiten aus Tanimoto et al. (2020) mithilfe der YETI-Photometrie untersucht werden. Im Anschluss wird durch den Vergleich mit Sternen, die CVSO 30 in ihrem Verhalten ähneln, sowie weiterer Informationen aus der Literatur getestet, welche der potentiellen Szenarien nach einer Dekade an Beobachtungen von CVSO 30 b unwahrscheinlich bzw. problematisch sind.

Basierend auf deren photometrischen Messungen in den Filtern I , J , H und K_s , wurden

- ein Heißer Jupiter,
- ein den Stern umkreisender Staubklumpen,

- kühle Sternflecken
- und heiße Flecken auf der Sternoberfläche

als Ursache für die jeweiligen Verdunklungen von Tanimoto et al. (2020) diskutiert. Der Staubklumpen wurde als einzige Erklärung für Dip-A nicht verworfen und die Diskussion dieser Option wird nun fortgesetzt. Um die detektierte Verdunklung dabei erzeugen zu können, müsste der Staubklumpen aus einem lichtundurchlässigen Kern bestehen, der von einer optisch dünnen Gas- und Staubhülle umgeben ist. Der wellenlängenabhängige Helligkeitseinbruch

$$\Delta F(\lambda) = f_{\text{Kern}} + f_{\text{Hülle}} \cdot \tau_V \left[a(\lambda^{-1}) + \frac{b(\lambda^{-1})}{R_V} \right] \quad (5.5)$$

kann anhand des Bedeckungsfaktors f , welcher ein Maß für die verdeckte Fläche der Sternscheibe ist, von Kern- und Hülle des Staubklumpens charakterisiert werden (Tanimoto et al., 2020). Dabei sind $a(\lambda^{-1})$ und $b(\lambda^{-1})$ Koeffizienten aus Cardelli, Clayton und Mathis (1989) sowie τ_V ist der dazugehörige Helligkeitseinbruch im V -Filter. Für Dip-A geben Tanimoto et al. (2020) $R_V = \frac{A_V}{E(B-V)} = 5,3$ an. Für die Beobachtungssaison 2014 ist $f_{\text{Kern}} = 0,01$ und $f_{\text{Hülle}} \cdot \tau_V = 0,014$, während für 2016 $f_{\text{Kern}} = 0,005$ und $f_{\text{Hülle}} \cdot \tau_V = 0,0135$. Diese durch Tanimoto et al. (2020) bestimmten Werte sind auch mit den Messungen von Bischoff et al. (2022) (R -Filter) jeweils im Rahmen der 1σ -Messgenauigkeit konsistent. Die gemittelte Flussabnahme bei Dip-A ist hierbei $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,020 \pm 0,005$ im Zeitraum 2014 bzw. $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,016 \pm 0,009$ für 2016 (Bischoff et al., 2022). Allein aus der Mutiband-Photometrie von Tanimoto et al. (2020) und Bischoff et al. (2022) ist es nicht möglich den beschriebenen Staubklumpen als Erklärung für Dip-A zu falsifizieren.

Als potentielle Ursache für Dip-B kann nach Tanimoto et al. (2020) ebenfalls ein Staubklumpen mit ähnlichen Eigenschaften wie bei Dip-A in Frage kommen. Die gemessenen mittleren Verdunklungen im R -Filter $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,007 \pm 0,001$ (Beobachtungssaison 2014/2015) und $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,008 \pm 0,001$ (Beobachtungssaison 2017/2018) decken sich mit den Angaben $R_V = 5,3$, $f_{\text{Kern}} = 0,003$ sowie $f_{\text{Hülle}} \cdot \tau_V = 0,0027$ aus Tanimoto et al. (2020) im Rahmen der 2σ -Messgenauigkeit (Bischoff et al., 2022). Allerdings sind diese Werte inkonsistent mit $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,018 \pm 0,004$ aus dem Zeitraum 2015/2016 und liegen außerhalb des Fehlerintervalls von 3σ . Als weitere potentielle Ursache für Dip-B geben Tanimoto et al. (2020) einen präzidierenden Heißen Jupiter an. Die sich ändernde Form und Dauer des Signals innerhalb der Lichtkurve bis hin zum vollständigen Verschwinden und späteren Wiedererscheinen wird hierbei auf einen sich ändernden Inklinationwinkel der Planetenbahn zurückgeführt. Laut Tanimoto et al. (2020) ist diese Änderung periodisch und wiederholt sich alle ~ 1411 d. Diese Abschätzung beruht hauptsächlich auf der Detektion von Dip-B am 09.11.2018, welche u.a. durch Bouma et al. (2020) und Bischoff et al. (2022) in Frage gestellt wird. Weiterhin ist Dip-

B während der Beobachtungssaison 2015/2016 im R -Filter nahezu doppelt so tief gewesen wie in den übrigen Zeiträumen. Der daraus resultierende Farbeffekt (in Kombination mit den Infrarotinformationen zu Dip-B aus Tanimoto et al., 2020) wäre untypisch für das Verhalten eines Heißen Jupiters. Die Szenarien des umkreisenden Staubklumpens und eines präzidierenden Heißen Jupiters können die beobachteten Veränderungen in der Lichtkurve im R -Filter von CVSO 30 nicht zufriedenstellend erklären.

Bei Dip-C kann es sich nach Tanimoto et al. (2020) ebenfalls um einen von Staubklumpen induzierten Helligkeitseinbruch handeln. Die dafür angegebenen Werte $R_V = 5,3$, $f_{\text{Kern}} = 0,0065$ sowie $f_{\text{Hülle}} \cdot \tau_V = 0,009$ sind konsistent im Rahmen von 3σ -Messgenauigkeit mit der durch das YETI-Netzwerk beobachteten mittleren Transittiefe $\overline{\Delta F}(\lambda_R) = 0,028 \pm 0,006$. Im Falle eines heißen Flecks kann ebenfalls ein Helligkeitseinbruch entstehen, wenn dieser auf der Sternoberfläche in Polnähe um eine geneigte Achse rotiert. Der heiße Fleck, welcher heller als die umgebende Fläche ist, kann dabei zeitweise vom Beobachter während der Detektion von Dip-C in der Lichtkurve nicht gesehen werden. Die damit verbundene wellenlängenabhängige Flussabnahme

$$\Delta F(\lambda) = \frac{f \cdot [B_\lambda(T_{\text{hot}}) - B_\lambda(T_\star)]}{(1 - f) \cdot B_\lambda(T_\star) + f \cdot B_\lambda(T_{\text{hot}})} \quad (5.6)$$

ergibt sich aus dem Bedeckungsfaktor f , der Effektivtemperatur des Sterns T_\star sowie des heißen Flecks T_{hot} und der emittierten Schwarzkörperstrahlung in der jeweiligen Wellenlänge (Tanimoto et al., 2020). In Gleichung 5.6 sind f und T_{hot} die beiden Unbekannten, welche benötigt werden, um das Verhältnis $\frac{\Delta F(\lambda_1)}{\Delta F(\lambda_2)}$ des beobachteten Helligkeitseinbruchs in zwei verschiedenen Filtern zu charakterisieren. Die dafür möglichen Kombinationen für die Beobachtungen von Dip-C in allen verfügbaren Filtern sind jeweils konsistent miteinander und in Abbildung 5.8 dargestellt. Infolgedessen können weder die Staubklumpenhypothese noch das Szenario eines rotierenden heißen Flecks als Ursache von Dip-C aufgrund der photometrischen Messungen ausgeschlossen werden. Von 2011 bis 2013 wurde die zu Dip-C gehörende Orbitphase durch Raetz et al. (2016) mehrfach beobachtet und es konnte währenddessen keine vergleichbare Verdunklung in diesem Zeitraum gemessen werden. Folglich scheint Dip-C in dieser Zeitspanne noch nicht existiert zu haben. Aus diesem Grund kann Dip-C auch kein Sekundärtransit von Dip-B sein (Bischoff et al., 2022).

Auch wenn die Existenz der einzelnen Dips anscheinend zeitlich begrenzt ist, so fällt jedoch auf, dass diese der gleichen Periode $P = (0,4483993 \pm 0,0000006)$ d zu folgen scheinen (Abbildung 5.3). Für Dip-A und Dip-C kann die Möglichkeit eines umkreisenden Staubklumpens, ausgehend von der Photometrie, nicht ausgeschlossen werden. Unter der Annahme, dass die Masse des Staubklumpens vernachlässigbar gegenüber der Masse von CVSO 30 aus Tabelle

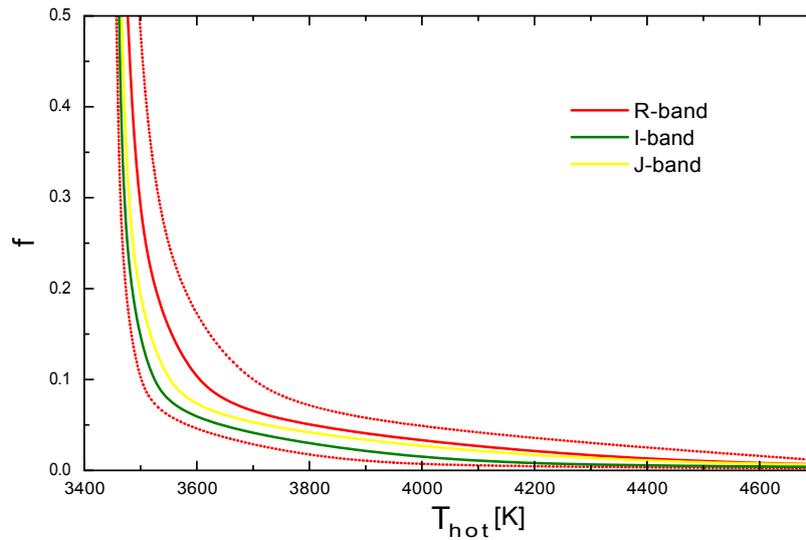


ABBILDUNG 5.8: Konturlinienkarte für die aufgenommenen Transittiefen von Dip-C. Dargestellt sind die möglichen Kombinationen des Bedeckungsfaktors f und der Temperatur T_{hot} eines heißen Flecks in verschiedenen Filtern. Die rot gepunkteten Linien sind die Grenzen des 3σ -Intervalls für das R -Band. Aus Bischoff et al. (2022).

5.2 ist, ergibt sich nach dem dritten Keplergesetz ein Abstand von $a = (9,1 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ AE des Staubs zum Stern. Bei dieser Entfernung ist die zu erwartende Temperatur 2268^{+161}_{-141} K, vorausgesetzt, die absorbierte und emittierte Strahlungsleistung des umkreisenden Materials sind im Gleichgewicht zueinander.

Die bei diesem Abstand zu erwartenden Temperaturen liegen nach H. Kobayashi, Kimura, Watanabe, Yamamoto und Müller (2011) oberhalb der Sublimationsgrenze von typischen Staubbestandteilen wie Eis, Eisen, Kohlenstoff, Obsidian, Olivin und Pyroxen. Folglich werden diese Materialien gasförmig sein und nicht als Festkörper in Form von Staub vorliegen. Auf eine solche Zusammensetzung deutet auch das Fehlen eines Infrarotexzesses bei CVSO 30 hin. CVSO 30 besitzt als WTTS keine bzw. lediglich eine optisch dünne Scheibe. Diese beobachtete Eigenschaft steht im Widerspruch zu der Annahme, dass die Helligkeitseinbrüche in der Lichtkurve durch Staub entstehen, der die Sternscheibe zeitweise verdeckt. Jenes passt auch zu den Ergebnissen von David et al. (2017), die im Spektrum des jungen M 2,5 Zwergs RIK-210 marginale Anzeichen für einen Infrarotexzess nachgewiesen haben. Dieser Stern zeigt ebenfalls variable Helligkeitseinbrüche, die bis zu $\sim 20\%$ des normalen Flussniveaus tief sind. David et al. (2017) führen diese transitähnlichen Erscheinungen auf eine Gaswolke mit geringfügigem Staubanteil zurück, welche RIK-210 mit einer Periode von $\sim 5,7$ d umkreist und diesen zeitweise verdeckt. Die Wolke würde sich dabei auch außerhalb der nach H. Kobayashi et al. (2011) bestimmten Sublimationsgrenze für Kohlenstoff, Obsidian, Olivin und Pyroxen bewegen.

Eine staubfreie, den Stern umkreisende, glühende Gaswolke könnte in Zeiträumen, in denen sie sich hinter dem Stern entlang bewegt, transitähnliche Helligkeitseinbrüche verursachen (Jardine & van Ballegooijen, 2005; Stauffer et al., 2017). Dabei wären Verdunklungen in der Größenordnung einiger weniger Prozent möglich, wenn das teilweise ionisierte Gas zeitweise nicht sichtbar ist. Die Strahlungsemission der Wolke wäre durch Elektronenübergänge von ungebundenen zu gebundenen Zuständen innerhalb des Paschen-Kontinuums im optischen Wellenlängenbereich erklärbar (David et al., 2017). Die Existenz eines teilweise ionisierten Gases wäre selbst bei den zuvor berechneten Temperaturen von lediglich 2268_{-141}^{+161} K möglich (Rodríguez-Barrera, Helling, Stark & Rice, 2015). Das Gas wäre dabei in Form eines Torus um den Stern vorhanden, der wiederum Bereiche mit erhöhter Verdichtung des Materials aufweist. Diese Anordnung würde sich in Bereichen um den Stern ausbilden können, an denen sich seine magnetische und gravitative Kraft gegenseitig ausgleichen. Das dafür notwendige Material könnte in Folge des Sternwinds dorthin gelangen und bestünde aus mitrotierendem Plasma, das Strahlung in spezifischen Wellenlängen emittiert (Collier Cameron & Robinson, 1989; Jardine & van Ballegooijen, 2005; Palumbo et al., 2022).

Das Plasma verursacht außerdem Veränderungen im Linienprofil der $H\alpha$ -Linie der Balmer-Serie, während es vor der Sternscheibe vorbei rotiert. Diese Änderungen wären nach Palumbo et al. (2022) in Form des Rositter-McLaughlin-Effekts (RME) messbar. Yu et al. (2015) haben 22 Spektren von CVSO 30 mit dem High Resolution Spectrograph (HIRES; Vogt et al., 1994) am Keck-Teleskop aufgenommen. Diese Beobachtungen fanden am 12.12.2013 statt und decken dabei einen Zeitraum ab, in dem sich ein transitähnlicher Helligkeitseinbruch von CVSO 30 b ereignen sollte. Die spektroskopischen Messungen begannen 2 h vor der prognostizierten Transitmitte und dauerten 4 h an. Dabei konnte der RME nicht detektiert werden, was ein weiteres Argument gegen die Planetenhypothese ist (Yu et al., 2015). Würden die Helligkeitseinbrüche stattdessen durch die glühende Wolke verursacht, so wäre diese zum Zeitpunkt des transitähnlichen Signals hinter dem Stern, was kein Widerspruch zu einer Nichtdetektion des RME ist. Weitere spektroskopische Untersuchungen zu CVSO 30 erfolgten durch Johns-Krull et al. (2016), die eine Variabilität in der $H\alpha$ -Emissionslinie feststellten. Nachdem aus den fluss-normierten Spektren der Beitrag des Sterns subtrahiert wurde, zeigen die Residuen der $H\alpha$ -Linie eine sich ändernde Radialgeschwindigkeit, welche zur Umlaufperiode des potentiellen Begleiters aus van Eyken et al. (2012) passt. Allerdings sind die detektierten Geschwindigkeiten oftmals phasenverschoben in Bezug auf jene, welche nach den Ephemeriden von van Eyken et al. (2012) zu erwarten wären, wie bspw. in Abbildung 9 aus Johns-Krull et al. (2016) zu sehen ist. Mit einer Größenordnung von 70% bis 80% der stellaren Äquivalentbreite ist die $H\alpha$ -Emission des potentiellen Begleiters viel zu groß, um durch einen einzigen Planeten verursacht zu werden. Nach Johns-Krull et al. (2016) müsste ein Planet dazu von einer zusätzlichen

leuchtenden Hülle umgeben sein, um einen derartigen Überschuss der $H\alpha$ -Emission zu erklären. Diese beobachteten Eigenschaften stehen jedoch in keinem Widerspruch zum Szenario der glühenden Wolke, da diese auf der gleichen Umlaufbahn um $\omega = 180^\circ$ gegenüber einem potentiellen Planeten verschoben wäre, was die Phasenverschiebung der Radialgeschwindigkeit zur Folge hätte. Weiterhin würde die im $H\alpha$ -Licht emittierende Wolke auch dazu beitragen, dass CVSO 30 röter erscheint als ohne diese. Somit könnte dies auch die besondere Position von CVSO 30 im FHD in Abbildung 5.2 erklären, ohne dass es sich dabei um ein Doppelsystem handeln müsste. In diesem Fall ist CVSO 30 nicht um $\sim 0,75$ mag zu hell im Vergleich zu Sternhaufenmitgliedern mit ähnlicher Farbe $(BP - RP)_0$, sondern er ist um $\sim 0,25$ mag zu rot im Vergleich zu Mitgliedern mit ähnlicher Helligkeit \mathcal{M}_G .

Ein höherer Metallgehalt in einem Stern führt dazu, dass dieser bei größeren Wellenlängen mehr abstrahlt im Vergleich zu einem metallärmeren Stern mit gleicher Masse (Bonfils et al., 2005; Mann et al., 2015). Aus dem Katalog von Anders et al. (2019) geht hervor, dass 39 der wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1, welche sich im FHD innerhalb von 3σ um CVSO 30 befinden, als Median eine Metallizität von $[\text{Fe}/\text{H}] = (0,40 \pm 0,15)$ dex aufweisen. Dies ist mit dem dazugehörigen Wert von CVSO 30 aus Tabelle 5.2 konsistent. Die Option, dass CVSO 30 aufgrund einer größeren Metallizität im FHD als zu rot erscheint, im Vergleich zu Sternen mit ähnlicher Masse, ist somit unwahrscheinlich.

Eine Reihe von photometrisch variablen Zwergsternen in Sternentstehungsgebieten mit der Spektralklasse M wurde von Stauffer et al. (2017, 2018, 2021) beobachtet. Bei diesen Objekten handelt es sich um kurzperiodische WTTS ohne detektierbare Akkretionsscheibe. Eine Untergruppe der untersuchten Sterne zeigt dabei ein ähnliches Verhalten wie CVSO 30. Deren Rotationsperioden liegen in der Größenordnung ~ 1 d und die Lichtkurven der sogenannten *stars with persistent flux dips*¹⁰ beinhalten bis zu vier deutlich detektierbare Helligkeitseinbrüche pro Periode. Diese Verdunklungen dauern von einer Stunde bis zu 5 h an und deren Flusseinbrüche sind maximal 2% – 7% tief. Auch wenn die Helligkeitseinbrüche weitgehend stabil sein können, sind dennoch plötzliche Änderungen in der Lichtkurvenform möglich. Dabei kann ein signifikantes Abflachen des transitähnlichen Signals eintreten, bis hin zu dessen vollständigem Verschwinden. Stauffer et al. (2017) sahen diese Veränderungen in der Lichtkurve eintreten, nachdem zuvor Flare-ähnliche Helligkeitsanstiege beobachtet wurden. Solche Ereignisse konnten auch in den YETI-Lichtkurven gemessen werden, wie in Tabelle C.3 (Anhang C) und Abbildung A4 sowie A5 (Anhang E) zu sehen ist. Diese ereigneten sich nach der letzten signifikanten¹¹ Detektion von Dip-A und Dip-B, wie aus Abbildung 5.3 hervorgeht und

¹⁰englisch für Sterne mit anhaltenden Flusseinbrüchen

¹¹Die letzte Detektion von Dip-B durch Tanimoto et al. (2020) wird von Bouma et al. (2020) und Bischoff et al. (2022) in Frage gestellt.

5.4. Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale

passen zu den Beobachtungen von Stauffer et al. (2017). Weitere Flare-ähnliche Helligkeitsausbrüche von CVSO 30 im optischen Wellenlängenbereich sind in Abbildung 2 und 5 aus van Eyken et al. (2012) erkennbar.

Czesla et al. (2019) untersuchten einen im Röntgenbereich detektierten Flare in den öffentlich zugänglichen Daten des XMM-Newton Teleskops (Jansen et al., 2001). Dieser wurde am 01.03.2009 mit den Kameras *MOS 2* sowie *pn* beobachtet und ist in Abbildung 5.9 zu sehen.

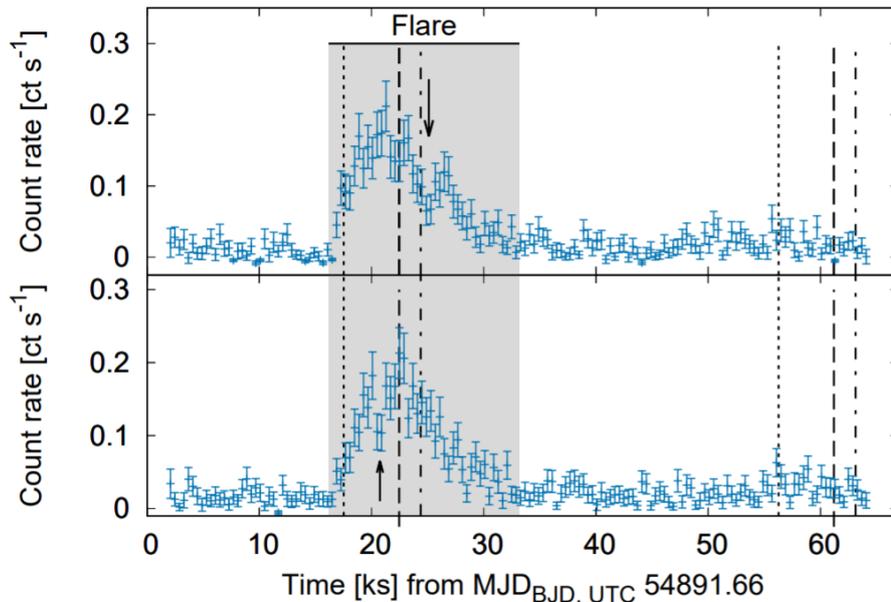


ABBILDUNG 5.9: Hintergrund-subtrahierte *MOS 2*- bzw. *pn*-Röntgenlichtkurve von CVSO 30. Die ursprünglichen Messwerte wurden zu Datenpunkten mit einer Gesamtintegrationszeit von je 400 s zusammengefasst. Im oberen Abschnitt ist die Lichtkurve, welche im Wellenlängenbereich der harten Röntgenstrahlung ($12,4 \text{ \AA}$ bis $1,4 \text{ \AA}$) aufgenommen wurde und im unteren ist die im Bereich der weichen Röntgenstrahlung ($124,0 \text{ \AA}$ bis $12,4 \text{ \AA}$) dargestellt. Die Pfeile markieren Helligkeitseinbrüche. Die vertikalen Linien kennzeichnen den Beginn bzw. das Ende des erwarteten Transitzeitfensters nach den Ephemeriden von Yu et al. (2015) und Raetz et al. (2016). Aus Czesla et al. (2019).

Der Flare dauerte ca. 4,7 h an und ereignete sich in einem Zeitraum, in dem nach den Ephemeriden von Yu et al. (2015) und Raetz et al. (2016) ein transitähnlicher Helligkeitseinbruch durch CVSO 30 b zu erwarten war (Czesla et al., 2019). Das gesamte durch XMM-Newton erfasste Zeitfenster deckt einen Zeitraum von ca. 16,7 h ab, was $1,6 \cdot P$ aus Tanimoto et al. (2020) entspricht. Allerdings konnte in diesen Röntgenstrahlungsdaten kein Flussrückgang detektiert werden, der in Tiefe und Dauer mit den transitähnlichen Signalen im optischen Wellenlängenbereich konsistent wäre. Auch wenn in Abbildung 5.9 sowohl im harten als auch im weichen Röntgenbereich je ein Flussrückgang (mit Pfeilen markiert) während des Flares zu sehen ist, so ereignen sich diese nicht zeitgleich, was bei einem Planetentransit zu erwarten wäre. Als mögliche Ursache für den tieferen Einbruch im harten Röntgenbereich geben Czesla et al. (2019)

an, dass es sich dabei um die Überlagerung eines zweiten Flares mit dem ersten handeln könnte. Für diese Überlegung spricht, dass die Dauer des Flares mehr als doppelt so lang ist, im Vergleich zu der Zeitangabe der typischen Dauer von Flares nach Voigt (2012) (siehe Fußnote 1 in Kapitel 3.1). Die Glockenform des Röntgenflares deutet darauf hin, dass es sich bei der beobachteten Epoche um eine Phase von CVSO 30 handelt, in der auch Akkretion stattfand (Bischoff et al., 2022). Auch Yu et al. (2015) stellten aufgrund ihrer Äquivalentbreitenmessung der $H\alpha$ -Emissionslinie fest, dass CVSO 30 zumindest ein wenig Material akkretiert.

Eine alternative Erklärung zur Theorie der mitrotierenden glühenden Wolke gibt Koen (2021). Hierbei wird davon ausgegangen, dass es sich bei CVSO 30 um ein Doppelsternsystem aus zwei ähnlichen Sternen handelt und die transitähnlichen Signale werden auf Anordnungen von rotierenden kühlen Flecken auf der Sternoberfläche zurückgeführt. Die Simulationen von Koen (2021) bauen auf den photometrischen TESS-Daten auf und beschreiben dabei das Verhalten von CVSO 30 lediglich in dem durch den TESS-Satelliten erfassten Wellenlängenbereich. Allerdings ist der angenommene Bedeckungsfaktor eines solchen Flecks im Modell 2 mit $f \gtrsim 0,5$ sehr groß gewählt und wäre vermutlich in spektroskopischen Untersuchungen wie bspw. in Neuhäuser et al. (1997) aufgefallen. Außerdem ist der von Tanimoto et al. (2020) detektierte Farbeffekt der Transittiefe mit kühlen Sternflecken inkonsistent und diese wurden daraufhin als Ursache des Transitsignals bereits verworfen. Auch Grosson und Johns-Krull (2021) begründen die Helligkeitseinbrüche von CVSO 30 mit einer Kombination von kühlen Flecken auf der Oberfläche des Sterns, der zusätzlich von einem Heißen Jupiter umkreist wird. Um die detektierten Farbeffekte in der Lichtkurve mit Flecken und Planet in Einklang zu bringen, müsste der Heiße Jupiter außerdem von einer Staubwolke umgeben sein, deren Radius eine Ausdehnung von $R \sim 5R_{\text{Jup}}$ hat (Grosson & Johns-Krull, 2021). Problematisch bei diesem Ansatz ist, dass die an der Position der Umlaufbahn zu erwartenden Temperaturen zu groß sind und der Staub somit sublimieren würde. Außerdem gibt dieses Modell keine Erklärung für den notwendigen Phasensprung eines hypothetischen Planeten um ca. 180° innerhalb eines Jahres, welches dem Phasenunterschied von Dip-B und Dip-C entspricht.

Aufgrund der beiden Perioden, die innerhalb der photometrischen Messungen von CVSO 30 gefunden wurden, und der Position im FHD, kann es sich um einen Doppelstern handeln (Bouma et al., 2020; Koen, 2020). Allerdings könnten diese Perioden auch durch Sternflecken verursacht werden, die in verschiedenen Breiten auf der Oberfläche eines Einzelsterns differentiell rotieren. Aus der Untersuchung von Tausenden Sternen der Kepler-Mission (Koch et al., 2010) geht hervor, dass die relative Scherung eines differentiell rotierenden Sterns $\alpha = (P_{\text{max}} - P_{\text{min}})/P_{\text{max}}$ mit zunehmenden Rotationsperioden ebenfalls zunimmt (Reinhold & Gizon, 2015; Reinhold, Reiners & Basri, 2013). Dies würde im Umkehrschluss auch die beiden

5.4. Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale

zeitlich dicht beieinander liegenden Perioden des kurzperiodischen CVSO 30 erklären. Die Position im FHD wäre auf die $H\alpha$ -Emission der glühenden Wolke zurückzuführen, die CVSO 30 röter erscheinen lässt, als er ohne diese wäre (Bischoff et al., 2022).

Abschließend ist festzuhalten, dass seit der Entdeckung von transitähnlichen Helligkeitseinbrüchen in der Lichtkurve von CVSO 30 sich diese als stark variabel erwiesen und seit 2014 im Wesentlichen drei Verdunklungen beobachtet werden konnten, die zueinander phasenverschoben sind und der gleichen Periode zu folgen scheinen (Bischoff et al., 2022; Tanimoto et al., 2020). Als Ursache dafür kann ein transitierender Heißer Jupiter CVSO 30 b als unwahrscheinlich betrachtet werden, aufgrund von Farbeffekten und dem Verschwinden von Dip-A und Dip-B in relativ kurzer Zeit. Die Theorie der mitrotierenden Gaswolken kann die meisten der detektierten Erscheinungen in der Lichtkurve erklären, ohne dabei auf dauerhafte Akkretion zurückgreifen zu müssen (Bischoff et al., 2022; Bouma et al., 2020). Die Veränderungen in der Lichtkurvenform von CVSO 30 wären durch Änderungen in der Geometrie der Gaswolke zu erklären (Stauffer et al., 2017, 2018, 2021). Die gemessenen Transittiefen in Tabelle A1 in Anhang E sind somit als Sekundärtransits zu betrachten, weshalb

$$\Delta m = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_{\star}}{F_{\star} + F_{\text{Wolke}}} \right) \quad (5.7)$$

gilt. Dabei ist F_{\star} der stellare Flussanteil und F_{Wolke} der Beitrag der glühenden Wolke. Für den Fall, dass CVSO 30 ein Doppelstern ist, wäre gemäß dem Stefan-Boltzmann-Gesetz $F_{\star} \equiv 2 \cdot \tilde{R}^2 \cdot T_{\text{eff}}^4$. Als Einzelstern wäre $F_{\star} \equiv R^2 \cdot T_{\text{eff}}^4$ für CVSO 30. Auch wenn die transitähnlichen Verdunklungen wahrscheinlich durch die mitrotierende Wolke entstehen, so ist ein Teil der übrigen Erscheinungen in der Lichtkurve von CVSO 30 auch durch Phasen von Akkretion sowie kühle Sternflecken bedingt (Bischoff et al., 2022).

Kapitel 6

Transitkandidat in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37

Die photometrische Variabilität des Sterns STKGSH J213912.0+570728.1 wurde erstmalig im Rahmen der YETI-Beobachtungskampagnen festgestellt. Diesen Stern umkreist der zweite Transitkandidat (STKGSH J213912.0+570728.1/cc), welcher durch Beobachtungen des Sternhaufens Trumpler 37 zwischen August 2009 und September 2011 gefunden wurde. Für Trumpler 37 ergibt sich mittels Median ein Alter von $\tau \sim 4$ Myr, basierend auf den Altersangaben aus Getman et al. (2012), Saurin, Bica und Bonatto (2012), Sicilia-Aguilar, Hartmann, Hernández, Briceño und Calvet (2005), Barentsen et al. (2011) sowie Wu, Zhou, Ma und Du (2009).

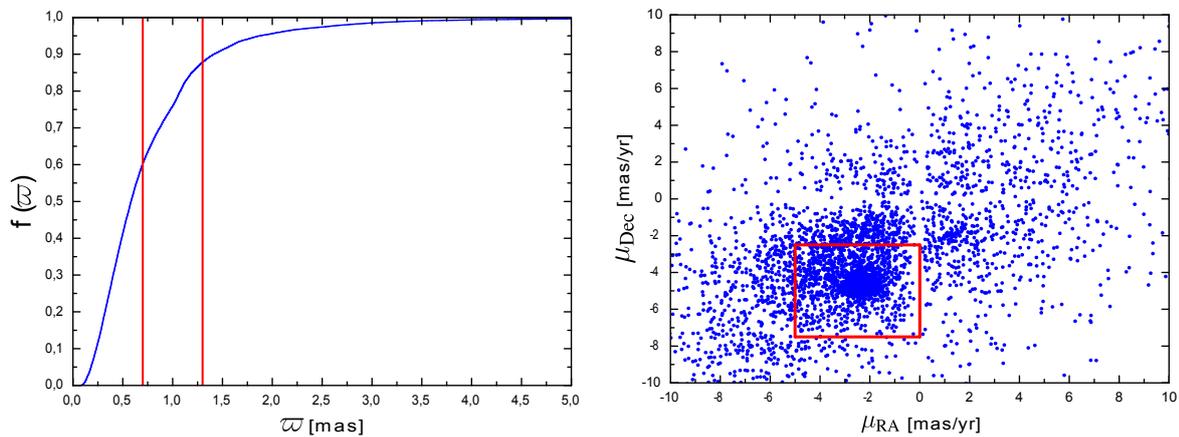
STKGSH J213912.0+570728.1/cc verursacht einen U-förmigen Transit mit $\Delta m_R \approx 10$ mmag, dessen Transitdauer $T_{14} \sim 1,4$ h im R -Filter ist. Die Periode dieses photometrischen Signals beträgt $P = (0,736867 \pm 0,000004)$ d. Begonnen wurde mit den Nachfolgebeobachtungen zu diesem Objekt durch Errmann (2016). Auf dessen Ergebnisse wird nachfolgend an gegebener Stelle eingegangen. Auch wenn STKGSH J213912.0+570728.1 in einer Vielzahl von photometrischen und astrometrischen Katalogen in der VizieR-Datenbank gelistet wird, so fanden abgesehen von Errmann (2016) noch keine weiteren Untersuchungen zum transitähnlichen Signals von STKGSH J213912.0+570728.1/cc statt.

Ein erster Transitplanetenkandidat (STKGSH J213856.0+571134.5/cc) stellte sich zuvor als stellarer Begleiter heraus (Errmann et al., 2014).

Durch die Auswertung der Gaia EDR3-Daten soll u.a. eine etwaige Zugehörigkeit des Transitkandidaten zum jungen Sternhaufen Trumpler 37 überprüft werden. Anhand der Multiband-Photometrie wird nach Farbeffekten eines potentiellen stellaren Begleiters gesucht. Das Szenario eines überblendeten Doppelsterns wird mit Hilfe von Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot mit AO getestet.

6.1 Untersuchung des Sternhaufens Trumpler 37 mit Gaia-Daten

Mit Hilfe der Daten des Gaia EDR3 wurde analog zu Kapitel 4.1 nach Mitgliedern des Sternhaufens Trumpler 37 gesucht. Basierend auf $\varpi \sim 1,066$ mas wurde innerhalb eines Radius von $30'$ um die Koordinaten $21\text{ h }38\text{ min }59\text{ s}$ (RA J2000) und $+57^\circ 30' 51''$ (Dec J2000) von Trumpler 37 (Cantat-Gaudin & Anders, 2020) nach potentiellen Mitgliedern geforscht. Von den darin enthaltenen Sternen mit signifikant bestimmten Messwerten der Eigenbewegung und (nicht negativen) Parallaxe war innerhalb der empirischen Verteilungsfunktion der Parallaxen in Abbildung 6.1 (a) eine Häufung bei $\varpi \sim 1,0$ mas zu erkennen, während die anhand der Eigenbewegung vorerst nicht ersichtlich war. Deshalb wurden in den nachfolgenden Schritten nur Sterne mit $\varpi \in [0,7; 1,3]$ mas betrachtet.



(a) Empirische Verteilungsfunktion der Parallaxen

(b) Eigenbewegungsdiagramm

ABBILDUNG 6.1: Messwerte von Sternen mit signifikanter Parallaxe und Eigenbewegung aus Gaia EDR3 in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37.

Die Eingrenzung der Parallaxen aller Sterne in der scheinbaren Umgebung von Trumpler 37 führt dazu, dass sich für die verbleibenden Lichtquellen innerhalb des Eigenbewegungsdiagramms in Abbildung 6.1 (b) eine Häufung bei $\mu_{\text{RA}} \sim -2,5$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \sim -5,0$ mas/yr zeigt. Als potentielle Mitglieder des Sternhaufens kommen hierbei nur Sterne mit $\mu_{\text{RA}} \in [-5, 0; 0, 0]$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \in [-7, 5; -2, 5]$ mas/yr in Frage. Objekte, welche innerhalb der dreifachen Standardabweichung um das arithmetische Mittel dieser Menge streuen, werden als Mitglieder klassifiziert. Das arithmetische Mittel und die dazugehörige Standardabweichung der Sterne, welche die 1939 Mitglieder von Trumpler 37 bilden, ist in Tabelle 6.1 zusammen mit den Gaia EDR3-Messwerten des Transitkandidatenmuttersterns STKGSH J213912.0+570728.1 (Gaia EDR3 2178184593941140096) und einer weiteren Lichtquelle, welche sich innerhalb der

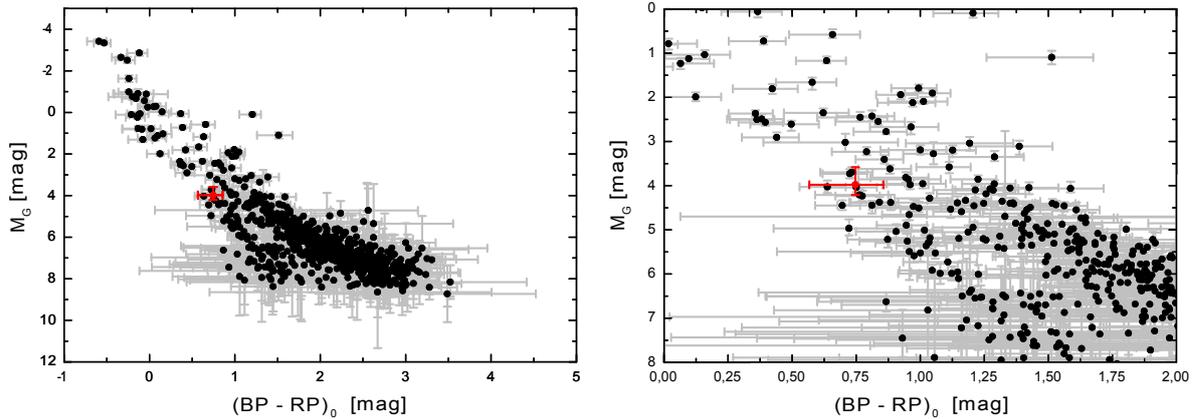


ABBILDUNG 6.2: Farben-Helligkeits-Diagramm der wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens Trumpler 37. Der Transitkandidatenmutterstern STKGSH J213912.0+570728.1, welcher kein Mitglied des Sternhaufens ist, wird jeweils in rot dargestellt.

typischen YETI-Apertur von STKGSH J213912.0+570728.1 befindet, gelistet. Letztere wird nachfolgend als STKGSH J213912.0+570728.1:3¹ (Gaia EDR3 2178184593934807680) bezeichnet.

Die Mitgliedschaft von STKGSH J213912.0+570728.1 im Sternhaufen Trumpler 37 kann ausgeschlossen werden, insbesondere aufgrund der sich stark voneinander unterscheidenden Eigenbewegungen μ_{RA} . Dies deckt sich mit der Vermutung von Errmann (2016), da diesem Objekt nur eine Mitgliedschaftswahrscheinlichkeit von 4 % zugeordnet wurde.

TABELLE 6.1: Ermittelte Eigenschaften von Trumpler 37. Neben der bestimmten Parallaxe und Eigenbewegung des Sternhaufens werden die Messwerte des Transitkandidatenmuttersterns und einer weiteren Lichtquelle innerhalb von dessen YETI-Apertur angegeben.

Bezeichnung	$\overline{\varpi}$ [mas]	$\overline{\mu}_{RA}$ [mas/yr]	$\overline{\mu}_{Dec}$ [mas/yr]
Trumpler 37	$0,9861 \pm 0,1576$	$-2,654 \pm 0,950$	$-4,383 \pm 0,972$
STKGSH J213912.0+570728.1	$1,5078 \pm 0,1313$	$-13,003 \pm 0,168$	$-6,571 \pm 0,155$
STKGSH J213912.0+570728.1:3	$0,7431 \pm 0,3578$	$0,862 \pm 0,520$	$-2,056 \pm 0,404$

STKGSH J213912.0+570728.1 ist ein Vordergrundstern, basierend auf dessen Parallaxe. Die zusätzliche Lichtquelle STKGSH J213912.0+570728.1:3 wäre bzgl. Eigenbewegung und Parallaxe mit den Werten des Sternhaufens innerhalb der 3σ -Umgebung konsistent. Die Messwerte für ϖ und μ_{RA} sind bei STKGSH J213912.0+570728.1:3 im Gaia EDR3 jedoch nicht signifikant bestimmt. Die Parallaxe und die Bewegung des Sternhaufens in Richtung Dec konnten signifikant ermittelt werden. Dieser zeigt keine merkliche Eigenbewegung in Richtung RA.

¹Die Zahl hinter dem Doppelpunkt spezifiziert, um welchen Stern es sich innerhalb der YETI-Apertur handelt (siehe bspw. Abbildung 6.7).

6.1. Untersuchung des Sternhaufens Trumpler 37 mit Gaia-Daten

Die Anzahl der identifizierten 1939 Mitgliedssterne von Trumpler 37 im Rahmen dieser Dissertation, welche in Tabelle B.4 aufgeführt sind, übersteigt den Wert von 774 Mitgliedern aus Cantat-Gaudin und Anders (2020) bzw. den von 899 aus Errmann (2016).

Für die Gruppe der wahrscheinlichsten Mitglieder von Trumpler 37 erfolgte analog zu den vorangegangenen Kapiteln die Berechnung der absoluten Helligkeiten \mathcal{M}_G sowie intrinsischen Farben $(BP - RP)_0$. Die dazugehörigen Ergebnisse sind in Tabelle B.8 aufgeführt und in Abbildung 6.2 illustriert. Dabei fällt auf, dass sich die wahrscheinlichsten Mitgliedssterne im FHD nicht entlang einer Linie anordnen, wie bspw. im Falle der Sternhaufen 25 Ori-1 in Abbildung 5.2 oder NGC 7243 in Abbildung 7.2.

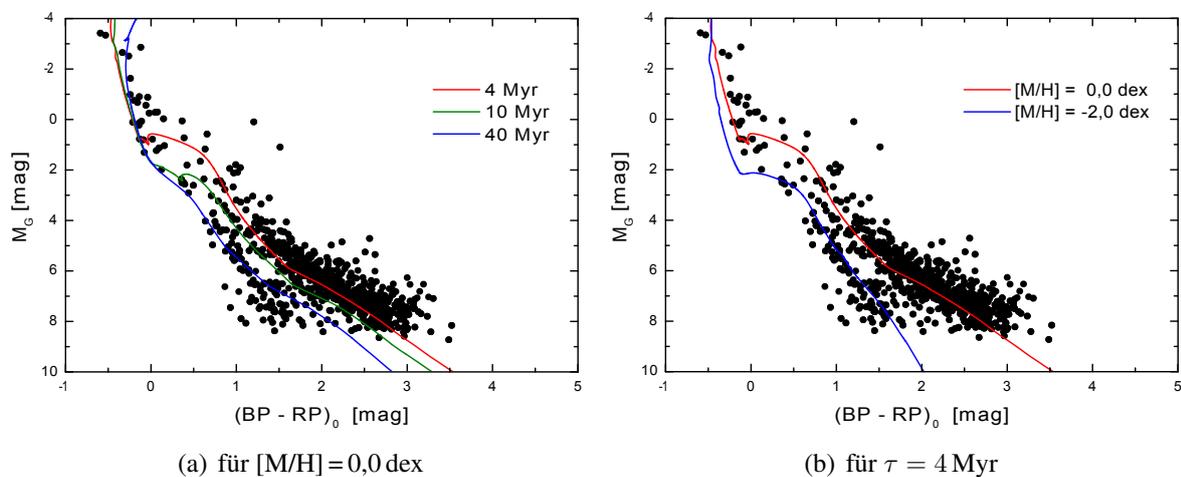


ABBILDUNG 6.3: Farben-Helligkeits-Diagramm der 740 wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens Trumpler 37 mit Isochronen nach den PARSEC-Modellen (Bressan et al., 2012).

Zur Untersuchung dieses Phänomens wurden Isochronen nach den PARSEC-Modellen² von Bressan et al. (2012) für unterschiedliche Altersangaben bzw. mit unterschiedlicher Metallizität an die Datenpunkte des Sternhaufens angepasst und in Abbildung 6.3 dargestellt. Die 4 Myr-Isochrone mit solarer Metallizität ($[M/H] = 0,0 \text{ dex}$)³ eignet sich gut, um die Positionierung eines Großteils der Sterne im FHD zu beschreiben. In Abbildung 6.3 (a) zeigen die Kurven mit solarer Metallizität, dass die beiden Gruppen des Sternhaufens durch Isochronen mit 4 Myr und 40 Myr beschrieben werden können. Allerdings scheint es unwahrscheinlich, dass eine Teilpopulation des gleichen Sternhaufens um das zehnfache älter ist als die andere. Alternativ erfolgte die Charakterisierung der Mitgliedssterne durch die 4 Myr-Isochrone für verschiedene Metallizitäten in Abbildung 6.3 (b). Daraus geht hervor, dass sich der überwiegende Teil von Trumpler 37 entlang der Isochrone mit solarer Metallizität anordnet, während

²online verfügbar unter <http://stev.oapd.inaf.it/cgi-bin/cmd>

³ $[M/H] \approx [Fe/H]$

dies für eine Untergruppe bei $[M/H] = -2,0$ dex gegeben ist.

Von den 740 wahrscheinlichsten Mitgliedern des Sternhaufens Trumpler 37 sind 196 auch im Katalog von Anders et al. (2019) erfasst. Aus der darin gelisteten Teilmenge der Mitgliedssterne geht hervor, dass ein Großteil der Sterne im Rahmen ihres Fehlerintervalls mit solarer Metallizität verträglich sind, während eine kleinere Gruppe einen signifikant geringeren Anteil an Metallen aufweist ($[M/H] \approx -2,0$ dex), wie in Abbildung 6.4 zu sehen ist. Dies bestätigt die obige Vermutung, dass es deutliche Unterschiede innerhalb der Mitgliedssterne hinsichtlich ihrer Metallizität gibt.

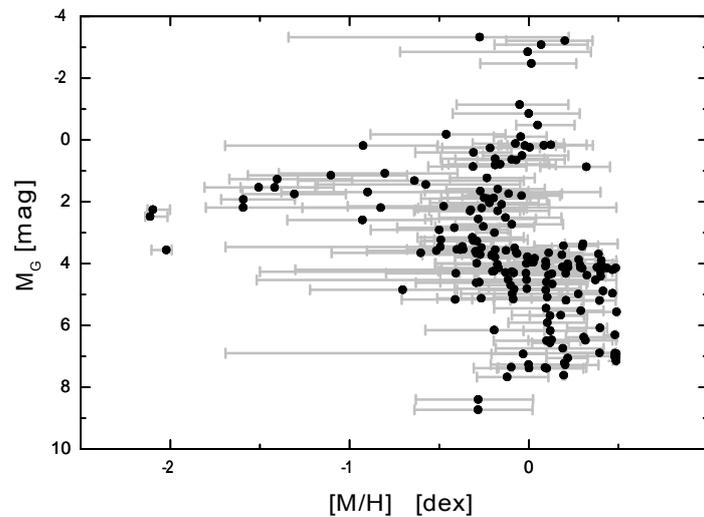


ABBILDUNG 6.4: Die absolute G -Band-Helligkeit aus dem Katalog von Anders et al. (2019) wurde für die 196 darin gelisteten wahrscheinlichsten Mitglieder von Trumpler 37 über der dazugehörigen Metallizität aufgetragen.

Die Altersabschätzung von STKGSH J213912.0+570728.1 erfolgte analog zum Vorgehen in Bischoff, Mugrauer, Torres et al. (2020) sowie Bischoff et al. (2021). Dabei wurden verschiedene Isochronen an die Position von STKGSH J213912.0+570728.1 im FHD angepasst (Abbildung 6.5). Als Metallizität des Muttersterns wurde der Wert aus Tabelle 6.2 angenommen. Das Beobachtungsobjekt ist mit mehreren Isochronen im Rahmen seiner Fehler konsistent. Ein junges Alter $\tau < 100$ Myr ist für STKGSH J213912.0+570728.1 unwahrscheinlich, da in dessen Spektrum keine signifikante Absorptionslinie des Indikators Lithium (6708 \AA) nachgewiesen werden konnte (Errmann, 2016). Infolgedessen liegt das Alter des Sterns eher in der Größenordnung $\tau \gtrsim 100$ Myr.

Außerdem ist für den Transitkandidatenmutterstern STKGSH J213912.0+570728.1 $\text{RUWE} = 10,427$ in Gaia EDR3 und für STKGSH J213912.0+570728.1:3 ist dessen $\text{RUWE} = 1,071$. Beide Werte sind > 1 und somit ein Hinweis, dass es sich bei diesen Lichtquellen um unaufgelöste Doppelsterne handeln könnte (Stassun & Torres, 2021).

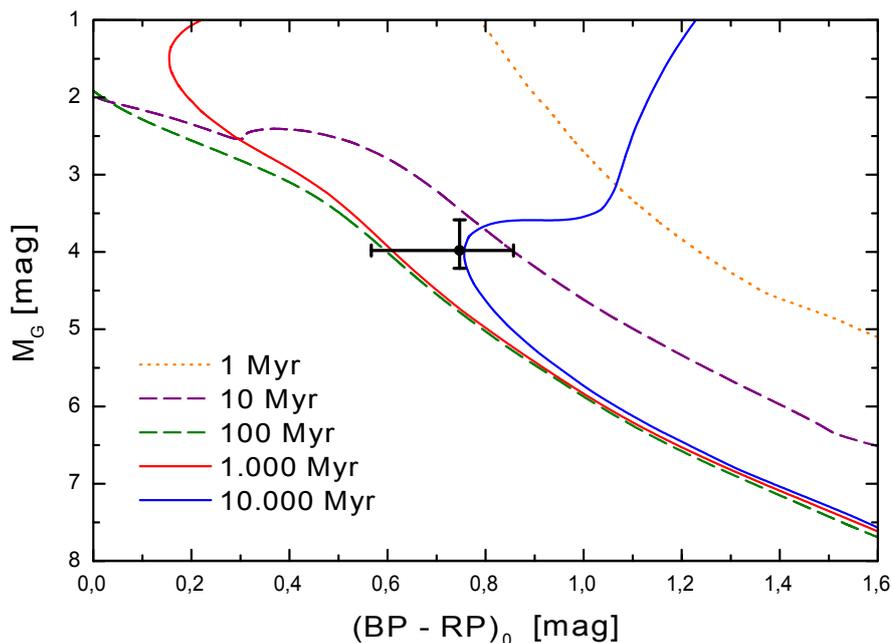


ABBILDUNG 6.5: Farben-Helligkeits-Diagramm mit Isochronen nach den PARSEC-Modellen (Bressan et al., 2012) zur Altersabschätzung von STKGSHJ213912.0+570728.1. Als Metallizität wurde $[M/H] = -0,25$ dex angenommen.

6.2 Auswertung der Multiband-Photometrie

Die Multiband-Photometrie des Transitkandidaten durch das YETI-Netzwerk erfolgte im Rahmen dieser Dissertation zwischen Oktober 2017 und November 2018. Dazu wurden die Beobachtungen nach den bereits bekannten Ephemeriden aus Errmann (2016) geplant. Im Gegensatz zum Vorgehen in Errmann (2016) wurde die Integrationszeit der Detektoren nicht konstant bei 120 s belassen, sondern an die Helligkeit des Sterns im jeweiligen Filter angepasst (siehe Tabelle A.3), sodass in den einzelnen Aufnahmen eine photometrische Präzision in der Größenordnung von wenigen Millimagnituden erzielt wurde. Die anschließend von `automat.py` erstellten Lichtkurven wurden analog zu Kapitel 4.2 weiter prozessiert und im Anschluss mit ETD ausgewertet. Die von ETD geforderten Eingabeparameter wurden basierend auf den Eigenschaften von STKGSHJ213912.0+570728.1 in Tabelle 6.2 bestimmt. Alle Transitlichtkurven von STKGSHJ213912.0+570728.1/cc, die einen signifikant detektierten Helligkeitseinbruch beinhalten, sind in Abbildung 6.6 dargestellt und deren gemessene Transittiefe bzw. -dauer ist in Tabelle C.4 zu finden. Tabelle 6.3 beinhaltet den dazugehörigen Median in den jeweiligen Filtern. Mit Hilfe der Lichtkurven im R - und I -Filter wurden die Ephemeriden $T_0 = (2455804,439 \pm 0,004)$ HJD und $P = (0,736881 \pm 0,000001)$ d unter Verwendung des Programms PHOEBE aktualisiert.

TABELLE 6.2: Eigenschaften des Sterns STKGSHJ213912.0+570728.1.

Parameter	Wert	Ref.
RA (J2000) [h : min : s]	21 : 39 : 12, 0	^a
Dec (J2000) [° : ' : '']	+57 : 07 : 28, 1	^a
M_{\star} [M_{\odot}]	$0,947^{+0,115}_{-0,075}$	^b
R_{\star} [R_{\odot}]	$1,26^{+0,04}_{-0,22}$	^c
T_{eff} [K]	6056^{+288}_{-248}	^b
$\log(g)$ [$\log[\text{cm}/\text{s}^2]$]	$4,33^{+0,09}_{-0,09}$	^b
[Fe/H] [dex]	$-0,250^{+0,248}_{-0,305}$	^b
d [pc]	658^{+87}_{-58}	^d
m_G [mag]	$13,782 \pm 0,003$	^a
A_G [mag]	$0,710^{+0,123}_{-0,025}$	^e
\mathcal{M}_G [mag]	$3,981^{+0,230}_{-0,397}$	^e
$(BP - RP)_0$ [mag]	$0,747^{+0,110}_{-0,180}$	^e
u_B	$0,755 \pm 0,027$	^f
u_V	$0,641 \pm 0,024$	^f
u_R	$0,559 \pm 0,020$	^f
u_I	$0,470 \pm 0,018$	^f

^a Gaia Collaboration et al. (2021), ^b Anders et al. (2019), ^c Gaia Collaboration et al. (2018), ^d Bailer-Jones et al. (2021), ^e diese Arbeit, ^f Claret et al. (2013)

TABELLE 6.3: Ergebnisse der Multiband-Photometrie für Transitkandidat STKGSHJ213912.0+570728.1/cc. Analog zu Tabelle 4.2.

Filter	$\overline{\Delta m}$ [mmag]	$\overline{T}_{1,4}$ [min]
B	$5,1 \pm 0,7$	$110,9 \pm 15,0$
V	$7,7 \pm 0,8$	$85,1 \pm 5,8$
R	$10,2 \pm 0,5$	$88,7 \pm 3,2$
I	$12,5 \pm 0,6$	$92,3 \pm 2,3$

Betrachtet man die mittleren Transittiefen von STKGSHJ213912.0+570728.1/cc, so fällt auf, dass dessen Tiefe mit zunehmender Wellenlänge ebenfalls zunimmt. So ist bspw. der Transit im R -Band doppelt so tief wie im B -Band. Das Beobachtungsobjekt zeigt somit einen signifikanten Farbefekt, weshalb in der Apertur eine zusätzliche Lichtquelle vorhanden sein muss, deren Strahlungsanteil nicht vernachlässigbar ist.

Im Gegensatz dazu ist die mittlere Transiddauer in allen Filtern miteinander im Bereich von 2σ konsistent. Die dazugehörigen Werte im R -Filter ($\Delta m_R = (11,7 \pm 0,5)$ mmag, $T_{1,4} = (83,4 \pm 1,8)$ min) aus Errmann (2016) sind innerhalb von 2σ ebenfalls konsistent mit denen aus Tabelle 6.3. Die Transiddauer im I -Band mit $T_{1,4} = (77,5 \pm 3,2)$ min und die -tiefe $\Delta m_I = (16,4 \pm 1,3)$ mmag aus Errmann (2016) stimmen mit den Werten aus dieser Dissertation innerhalb des 3σ -Fehlerintervalls überein.

6.2. Auswertung der Multiband-Photometrie

Diese Signatur der Transittiefen von STKGSHJ213912.0+570728.1/cc passt allerdings nicht zu einem Stern, der von einem leuchtschwächeren Begleiter umkreist wird. In diesem Fall wäre der zusätzliche, durch den Begleiter emittierte Strahlungsanteil bei längeren Wellenlängen größer als bei kürzeren. Infolgedessen würden die Transittiefen mit zunehmender Wellenlänge abnehmen und nicht zunehmen wie bei STKGSHJ213912.0+570728.1/cc.

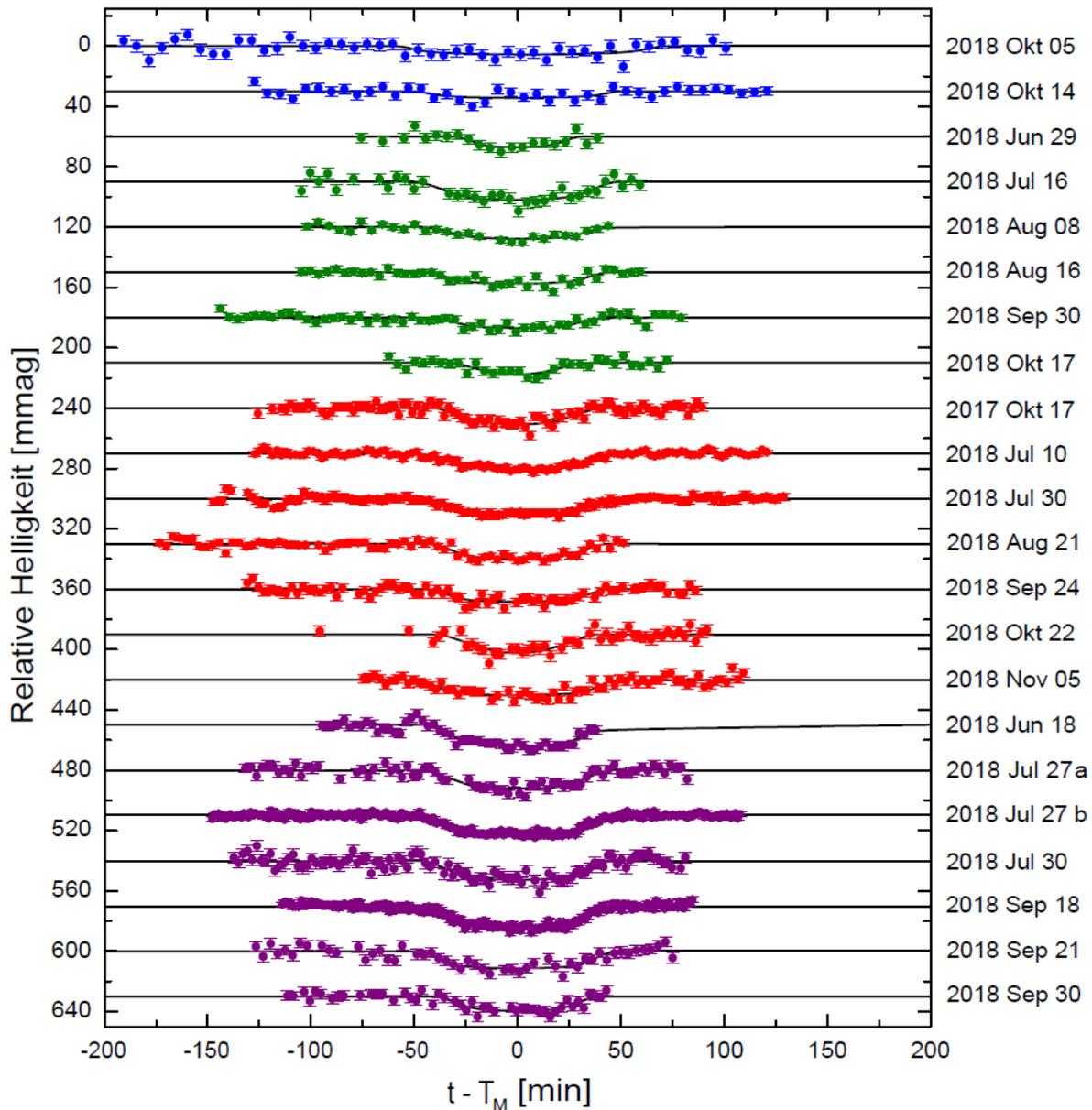


ABBILDUNG 6.6: Transitlichtkurven von STKGSHJ213912.0+570728.1/cc. Die relativen Helligkeiten der Lichtkurven des Sterns sind über den zeitlichen Abstand zur Transitmitte aufgetragen, sowie nach Filtern und dem dazugehörigen Beobachtungsbeginn geordnet. Die Aufnahmen im *B*-Band sind in blau, die im *V*-Band in grün, die im *R*-Band in rot und die im *I*-Band in violett dargestellt.

Als mögliche Erklärung für den detektierten Farbeffekt kommt ein überblendetes Doppelsternsystem in Frage. Dieses könnte aus einem bedeckungsveränderlichen Binärsystem mit Sternen der mittleren bis späten Spektraltypen bestehen, deren photometrisches Signal von einem Stern der frühen Spektralklassen überstrahlt wird. Ein Indiz für dieses Szenario ist, dass in den Gaia EDR3-Daten bereits eine zusätzliche Quelle in der Apertur von STKGSH J213912.0+570728.1 detektiert wurde (siehe Kapitel 6.1). Diese Hypothese wird mit Hilfe von IRCS-Aufnahmen mit AO im nächsten Kapitel näher betrachtet.

6.3 Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

Der Stern STKGSH J213912.0+570728.1 wurde am 26.09.2012 von 11:14 UTC bis 11:36 UTC am Subaru-Teleskop mit IRCS und AO im Servicemodus beobachtet. Die Aufnahmen des Sterns fanden in den Filtern H und K statt, bei Luftmassen zwischen 1,703 und 1,818. Hierbei wurde ebenfalls die Dithering-Technik mit dem Pfadmuster Diamant D5 verwendet, wobei der Abstand zwischen den einzelnen Positionen $4''$ betrug. In jedem Filter wurden je 5 Aufnahmen mit einer individuellen Integrationszeit von 60 s aufgenommen. Zur Kalibration der Daten standen Domeflats mit und ohne Belichtung in den beiden verwendeten Filtern zur Verfügung. Diese Infrarotaufnahmen wurden in Errmann (2016) bereits ausgewertet. Die Rohdaten wurden für die vorliegende Dissertation erneut nach dem Vorgehen in Kapitel 4.3 reduziert und die vollständig prozessierten Aufnahmen sind in Abbildung 6.7 zu sehen. Die dazugehörige Detektionsgrenze für das K -Band ist in Abbildung 6.8 dargestellt. Durch die Verwendung der inzwischen verfügbaren Informationen des Gaia-Satelliten sowie der darauf aufbauenden Kataloge soll nachfolgend untersucht werden, ob die Fehlerintervalle bei der Extrapolation der Infrarothelligkeiten in das R -Band im Vergleich zu Errmann (2016) verringert werden können.

Aus Kapitel 6.1 war die Existenz der zusätzlichen Lichtquelle STKGSH J213912.0+570728.1:3 innerhalb der Apertur der YETI-Teleskope bereits bekannt. Dieses Objekt ist in Abbildung 6.7 ebenfalls detektiert und mit der Zahl 3 markiert. Darüber hinaus konnten noch weitere Quellen in der Apertur aufgelöst werden. Bei diesen Objekten handelt es sich um Sterne, da nach Abbildung 6.8 nur stellare Quellen (STKGSH J213912.0+570728.1:2) für Abstände $< 0,5''$ von STKGSH J213912.0+570728.1:1 detektiert werden können. Die Helligkeitsunterschiede von STKGSH J213912.0+570728.1:3 bzw. STKGSH J213912.0+570728.1:4 zu STKGSH J213912.0+570728.1:1 im K -Band sind nach Tabelle 6.4 zu gering, um im Bereich der Braunen Zwerge (Abbildung 6.8) zu liegen. Planetare Lichtquellen können innerhalb der Infrarotaufnahmen nicht detektiert werden.

Die dazugehörigen intrinsischen Farben $(H - K)_0$ wurden analog zu Gleichung 4.1 berech-

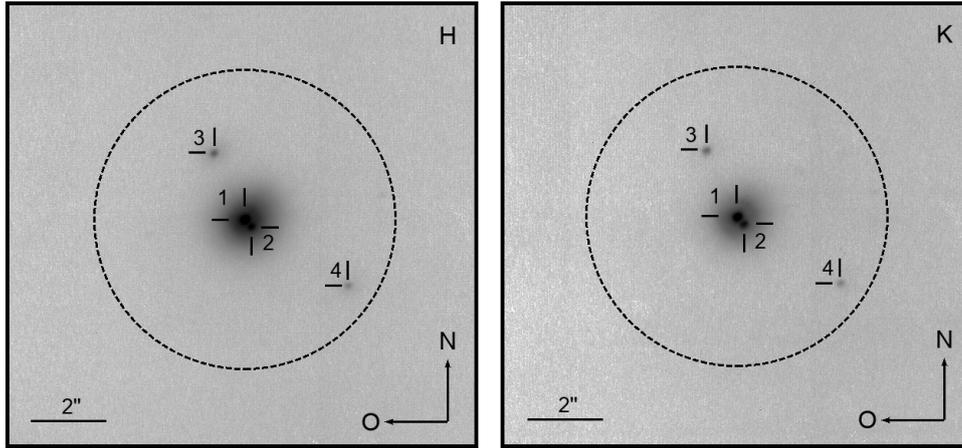


ABBILDUNG 6.7: Hochkontrastbeobachtungen von STKGSH J213912.0+570728.1 mit IRCS und AO im H - und K -Band. Innerhalb der typischen Apertur der YETI-Teleskope aus dem visuellen Spektralbereich, welche jeweils als Kreis mit einem Radius von $4''$ dargestellt wird, sind vier Lichtquellen im Infrarot detektierbar.

TABELLE 6.4: Helligkeiten der vier Strahlungsquellen innerhalb der YETI-Apertur von STKGSH J213912.0+570728.1. Die Werte für m_H und m_K stammen aus Errmann (2016). Die Angaben für $(H - K)_0$ sowie m_R wurden im Rahmen der vorliegenden Dissertation bestimmt. Hierbei ist m_R die extrapolierte Helligkeit aus den Helligkeitsangaben im Infrarot.

Quelle	m_H [mag]	m_K [mag]
STKGSH J213912.0+570728.1:1	$12,134 \pm 0,028$	$12,098 \pm 0,035$
STKGSH J213912.0+570728.1:2	$13,734 \pm 0,028$	$13,513 \pm 0,035$
STKGSH J213912.0+570728.1:3	$16,370 \pm 0,028$	$16,212 \pm 0,036$
STKGSH J213912.0+570728.1:4	$17,452 \pm 0,030$	$17,163 \pm 0,038$
Quelle	$(H - K)_0$ [mag]	m_R [mag]
STKGSH J213912.0+570728.1:1	$-0,022 \pm 0,049$	$12,60 \pm 0,31$
STKGSH J213912.0+570728.1:2	$0,120 \pm 0,157$	$16,55 \pm 2,05$
STKGSH J213912.0+570728.1:3	$0,067 \pm 0,070$	$18,29 \pm 1,06$
STKGSH J213912.0+570728.1:4	$0,188 \pm 0,159$	$21,24 \pm 2,31$

net. Die dafür erforderlichen Extinktionen basieren auf den Rötungen aus der Staubkarte von Green et al. (2019), welche mit Hilfe der dazugehörigen Extinktionsvektoren in die Filter J , H und K_s konvertiert wurden. Die Umrechnung der Helligkeit vom K_s - in das K -Band erfolgte dabei mit Gleichung 4.2. Im Falle der Lichtquellen STKGSH J213912.0+570728.1:2 und STKGSH J213912.0+570728.1:4 wurde jeweils als Rötung $E(g - r) = (0,55 \pm 0,27)$ mag angenommen, da dieser Wert den Angaben für stellare Hintergrundobjekte an der Position von STKGSH J213912.0+570728.1 innerhalb der Staubkarte entspricht. Die Distanzen der Quellen STKGSH J213912.0+570728.1:1 und STKGSH J213912.0+570728.1:3 waren aus Bailer-Jones et al. (2021) bekannt, so dass deren Angabe der Rötung bzw. Extinktion besser eingegrenzt werden konnte.

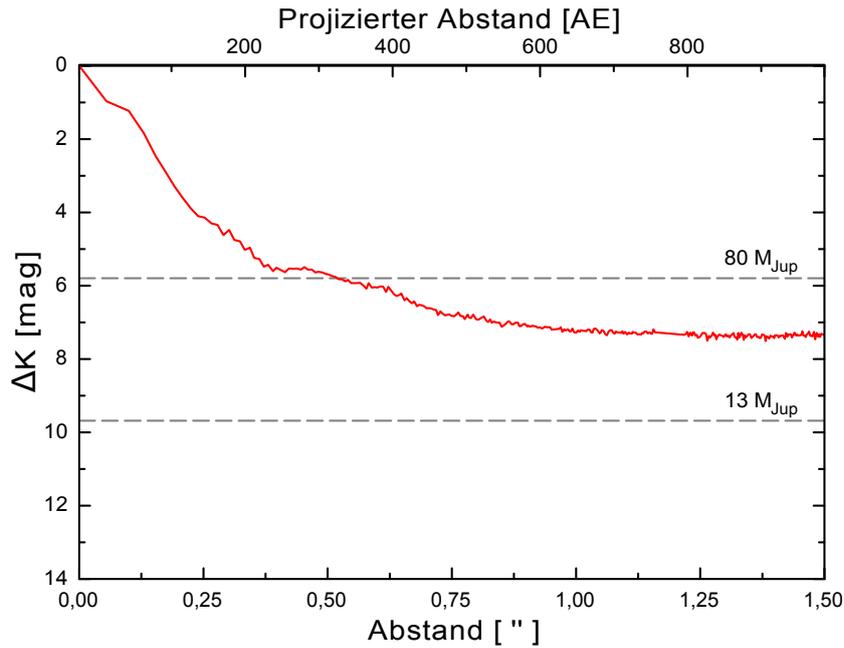


ABBILDUNG 6.8: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K -Band für die Aufnahme des Transitkandidatenmuttersterns STKGSH J213912.0+570728.1. Die Abstände bzw. der Helligkeitsunterschied ist in Bezug zu STKGSH J213912.0+570728.1:1 dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen die zu erwartenden Helligkeitsunterschiede für Begleiter mit $80 M_{\text{Jup}}$ und $13 M_{\text{Jup}}$ bei einem Alter von $\tau = 100 \text{ Myr}$ nach Baraffe et al. (2015).

Anhand von $(H - K)_0$ wurden die Spektralklassen der vier Lichtquellen unter Verwendung der Farben aus Tabelle 5 in Pecaut und Mamajek (2013) abgeschätzt. Aus den absoluten Helligkeiten \mathcal{M}_R der jeweiligen Spektralklassen erfolgte, unter Verwendung der Extinktion A_R , die Extrapolation der scheinbaren Helligkeiten m_R . Diese Ergebnisse sind ebenfalls in Tabelle 6.4 aufgelistet. Die Extinktionen der Lichtquellen im R -Band wurde nach Wang und Chen (2019) aus den dazugehörigen Werten im H -Band bestimmt.

Für die Extrapolation waren nur Helligkeitsinformationen in zwei Filtern verfügbar. Zusätzlich liegen deren abgedeckte Wellenlängenbereiche vergleichsweise nah beieinander, was sich ebenfalls negativ auf die Genauigkeit der Helligkeiten m_R auswirkt. Infolgedessen treten u.a. Messungenauigkeiten in der Größenordnung von Magnituden für die R -Band-Helligkeiten auf. Die für m_R extrapolierten Werte in dieser Dissertation sind konsistent mit den Angaben aus Errmann (2016) im Bereich von 1σ . Eine signifikante Einschränkung der Messungenauigkeit im Vergleich zu Errmann (2016) war nur für STKGSH J213912.0+570728.1:1 realisierbar. Hier konnte das Fehlerintervall mehr als halbiert werden.

Basierend auf den extrapolierten Helligkeiten m_R aus Tabelle 6.4 wurde überprüft, welche der vier Quellen potentiell in der Lage ist, den im R -Band beobachteten Helligkeitseinbruch von $\Delta m_R = (10,3 \pm 0,5) \text{ mmag}$ zu verursachen. Den tiefstmöglichen Helligkeitseinbruch

kann eine Quelle erzeugen, wenn sie ein bedeckungsveränderlicher Doppelstern mit zwei ähnlichen Komponenten ist, die sich zeitweise vollständig bedecken. In diesem Fall muss auch der zusätzliche Fluss der anderen drei Strahlungsquellen innerhalb der YETI-Apertur mit berücksichtigt werden. Die maximal möglichen Einbrüche wären $\Delta m_R > 100$ mmag, sollte es sich bei STKGSHJ213912.0+570728.1:1 oder STKGSHJ213912.0+570728.1:2 um ein solches Doppelsternsystem handeln. Auch die zu erwartenden minimalen Verdunklungen wären mit $\Delta m_R > 12$ mmag ebenfalls zu tief. Da diese Werte nicht zu den beobachteten passen, müsste STKGSHJ213912.0+570728.1:1 bzw. STKGSHJ213912.0+570728.1:2 ein Doppelsternsystem sein, in dem eine hellere Lichtquelle von einem leuchtschwächeren Begleiter umkreist wird. Der maximal mögliche Helligkeitseinbruch durch STKGSHJ213912.0+570728.1:3 ist $\Delta m_R \approx 8$ mmag und liegt nur knapp außerhalb des 3σ -Intervalls des beobachteten. Basierend auf der Extrapolation aus den Infrarothelligkeiten allein, kann STKGSHJ213912.0+570728.1:3 als Ursache des Signals nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Im Gegensatz dazu ist dies für STKGSHJ213912.0+570728.1:4 möglich, da dieses Objekt infolge des zusätzlichen Flusses der übrigen drei Sterne nur Helligkeitseinbrüche $\Delta m_R < 2$ mmag verursachen könnte. Diese Resultate sind konsistent mit den Ergebnissen aus Errmann (2016).

Zu STKGSHJ213912.0+570728.1:3 sind weitere Informationen in Gaia EDR3 verfügbar. Die darin gelisteten Helligkeiten im G -, BP - und RP -Filter konnten unter Verwendung der dazugehörigen Farbtransformation aus Riello et al. (2021) in das R -Band umgerechnet werden. Selbiges wurde auch für STKGSHJ213912.0+570728.1, der sich aus den übrigen drei Lichtquellen innerhalb der YETI-Apertur zusammensetzt, durchgeführt. Der maximal mögliche von STKGSHJ213912.0+570728.1:3 verursachte Helligkeitseinbruch mit der Überblendung durch STKGSHJ213912.0+570728.1 ist $\Delta m_R < 3$ mmag. Mit Hilfe der Photometrie aus Gaia EDR3 kann somit STKGSHJ213912.0+570728.1:3 als Ursache des Transitsignals ausgeschlossen werden.

Die Auswertung der Hochkontrastbeobachtungen im Infrarot mit AO hat gezeigt, dass innerhalb der YETI-Apertur weitere Sterne vorhanden sind. Dies belegt die Vermutung aus dem vorherigen Kapitel, dass es sich bei STKGSHJ213912.0+570728.1 um ein überblendetes Doppelsternsystem handelt. Weiterhin konnte eingegrenzt werden, welche der zusätzlichen Lichtquellen innerhalb der Apertur als Ursprung für die Helligkeitseinbrüche in Frage kommen.

6.4 Erklärungsansätze für das transitähnliche Signal

STKGSH J213912.0+570728.1:1 und STKGSH J213912.0+570728.1:2 verbleiben, aufbauend auf den Untersuchungen im vorangegangenen Kapitel, als potentielle Muttersterne des Transitsignals. Dabei konnte anhand der intrinsischen Farben $(H - K)_0$ beider Sterne festgestellt werden, dass STKGSH J213912.0+570728.1:1 tendenziell einen früheren Spektraltyp (B0V bis B9V) hat als STKGSH J213912.0+570728.1:2. Die beobachteten Transittiefen in den Filtern des optischen Wellenlängenbereichs legen nahe, dass die Quelle des Transitsignals von einem weiteren Stern überblendet wird, der insbesondere im B -Filter signifikant Strahlung emittiert. Durch den zusätzlichen Fluss eines Sterns der frühen Spektraltypen innerhalb der YETI-Apertur kann die Transittiefe eines bedeckungsveränderlichen Doppelsterns im blauen stärker schrumpfen als im roten Wellenlängenbereich.

Diese photometrischen Überlegungen sind konsistent mit spektroskopischen Untersuchungen von Errmann (2016). Das vollständig reduzierte Spektrum von STKGSH J213912.0+570728.1, welches mit dem Spektrographen CAFOS⁴ (Meisenheimer, 1998) am 2,2 m-Teleskop des Calar Alto Observatoriums aufgenommen wurde, ist in Abbildung 6.9 dargestellt. Errmann (2016) erkannte eine Diskrepanz zwischen dem Verlauf des Kontinuums und den vorhandenen Spektrallinien. Die Absorptionslinien im Spektrum des Sterns passen zum Spektraltyp G0V. Im Gegensatz dazu deutet der Verlauf des Kontinuums auf eine Lichtquelle hin, deren Spektraltyp früher als A0V ist. Ein solches Spektrum kann das Resultat zweier Sterne sein, bei dem ein sonnenähnlicher Stern mit vielen stark ausgeprägten Linien von einer heißeren Lichtquelle mit wenigen Absorptionslinien überstrahlt wird (Errmann, 2016).

Daher werden nachfolgend STKGSH J213912.0+570728.1:1 als Stern des Spektraltyps B5V (Mitte des Bereichs B0V-B9V) und STKGSH J213912.0+570728.1:2 als G0V-Stern betrachtet. Zur Charakterisierung des leuchtschwächeren Begleiters STKGSH J213912.0+570728.1/cc wurde die spektrale Flussverteilung verschiedener Hauptreihensterne aus Straižys, Liubertas und Valiauga (1997) untersucht. Dabei erfolgte die Fokussierung auf zwei Wellenlängenbereiche zwischen $3900 \text{ \AA} - 4800 \text{ \AA}$ sowie $5700 \text{ \AA} - 7100 \text{ \AA}$. Diese Wellenlängen entsprechen den Abschnitten des Spektrums, bei dem im B - bzw. R -Band des Bessel-Filtersystems (Bessell, 1990) die Transmission $> 0,5$ ist (Moro & Munari, 2000). Der Fluss im jeweiligen Filter ist das bestimmte Integral der Flussverteilungskurven aus Straižys et al. (1997). Basierend auf Gleichung 2.29 wurden für einen M0V-Stern bzw. einen Braunen Zwerg als Begleiter die dazugehörigen Transittiefen berechnet und mit den beobachteten verglichen. In diesen Berechnungen wurde stets der Fluss von STKGSH J213912.0+570728.1:1 miteinbezo-

⁴Calar Alto Faint Object Spectrograph, englisch für Calar Alto Spektrograph für leuchtschwacher Objekte.

6.4. Erklärungsansätze für das transitähnliche Signal

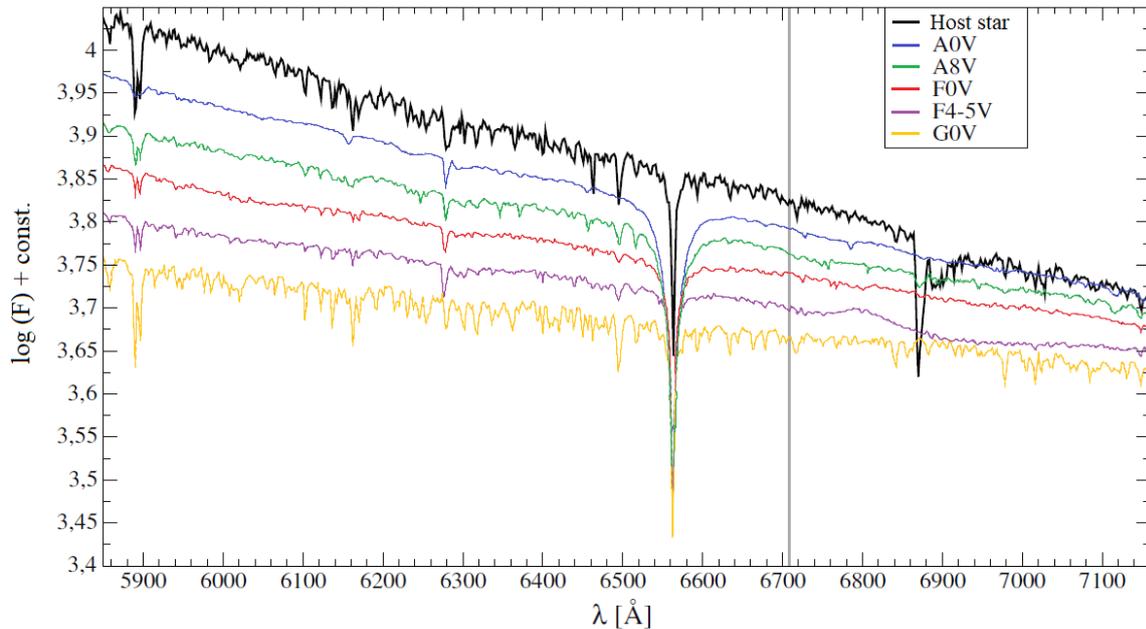


ABBILDUNG 6.9: CAFOS-Spektrum von STKGSH J213912.0+570728.1 (Host star). Der spektrale Flussverlauf wurde unter Verwendung des Standardsterns HD 217086 vom Einfluss der atmosphärischen Extinktion befreit und ist in schwarz illustriert. Zusätzliche Vergleichsspektren von Valdes et al. (2004) sind als bunte Linien dargestellt. Die vertikale graue Linie markiert die Position einer potentiellen Lithiumabsorptionslinie (6708 Å). Aus Errmann (2016).

gen. Aufgrund ihrer deutlich geringeren Helligkeit sind dabei STKGSH J213912.0+570728.1:3 und STKGSH J213912.0+570728.1:4 vernachlässigt worden. Als Radien der Hauptreihensterne wurden die Werte aus Tabelle 5 von Pecaut und Mamajek (2013) verwendet. Für den Braunen Zwerg wurde angenommen, dass dieser einen Radius $\lesssim 1,5 R_{\text{Jup}}$ (Carmichael et al., 2020) besitzt und im optischen Wellenlängenbereich keinen signifikanten Anteil zum Gesamtfluss beiträgt.

Weiterhin wurden zwei Fälle betrachtet. Im ersten sollten STKGSH J213912.0+570728.1:1 und STKGSH J213912.0+570728.1:2 die gleiche Entfernung zum Beobachter ($d_1 = d_2$) haben und im zweiten sei STKGSH J213912.0+570728.1:2 ein Hintergrundstern bezogen auf STKGSH J213912.0+570728.1:1 ($d_1 < d_2$). Für den zweiten Fall wurde der Anteil des Flusses berechnet, den ein Hintergrundstern in einer Entfernung $d = 1000$ pc in Relation zur gleichen Quelle mit der Distanz von STKGSH J213912.0+570728.1:2 besitzt. Für $d = 1000$ pc wurde die mittlere Rötung $E(g - r) \approx 0,37$ mag aus Green et al. (2019) angenommen. Deren Umrechnung zur Extinktion im H -Band erfolgte analog zu Kapitel 6.3. Anschließend wurde diese mit Koeffizienten aus Wang und Chen (2019) in das B - bzw. R -Band konvertiert. Die resultierenden theoretischen Transittiefen sind in Tabelle 6.5 aufgelistet.

Die obigen theoretischen Werte für einen Braunen Zwerg sind mit den beobachteten Tran-

sittiefen aus Tabelle 6.3 innerhalb ihrer 3σ -Umgebung verträglich unter der Bedingung, dass STKGSH J213912.0+570728.1:1 und STKGSH J213912.0+570728.1:2 sich in der gleichen Entfernung zum Beobachter befinden. Die Helligkeitseinbrüche eines M0V-Sterns als Begleiter wären in diesem Fall zu tief.

Sollte STKGSH J213912.0+570728.1:2 ein Hintergrundstern in einer Entfernung von 1000 pc sein, so wären die zu erwartenden Helligkeitseinbrüche eines M0V-Sterns immer noch tiefer als die beobachteten. Ein Brauner Zwerg würde in diesem Fall flachere Transits verursachen als jene, die in der Multiband-Photometrie gemessen wurden. Aus diesen Gründen müsste es sich bei dem Begleiter dann um einen M-Hauptreihenstern handeln mit einer späteren Spektralklasse als M0.

TABELLE 6.5: Theoretische Transittiefen von STKGSH J213912.0+570728.1/cc. Für einen M0V-Stern und einen Braunen Zwerg als Begleiter von STKGSH J213912.0+570728.1:2 wurden die dazugehörigen theoretischen Helligkeitseinbrüche infolge der Überblendung mit STKGSH J213912.0+570728.1:1 berechnet.

Fall	Begleiter	Δm_B [mmag]	Δm_R [mmag]
$d_1 = d_2$	M0V-Stern	~ 90	~ 100
	Brauner Zwerg	~ 6	~ 12
$d_1 < d_2$	M0V-Stern	~ 35	~ 45
	Brauner Zwerg	~ 2	~ 6

Infolge der zu STKGSH J213912.0+570728.1/cc durchgeführten Untersuchungen ist es naheliegend, dass es sich bei diesem Beobachtungsobjekt um ein überblendetes Doppelsternsystem handelt. Anhand der von Gaia detektierten Eigenbewegung (ca. 14,6 mas/yr) könnte überprüft werden, ob sich die Lichtquelle STKGSH J213912.0+570728.1:2 seit September 2012 in die gleiche Richtung bewegt hat wie STKGSH J213912.0+570728.1:1. Dazu wären weitere Infrarotaufnahmen mit AO erforderlich.

Kapitel 7

Transitkandidaten in der scheinbaren Umgebung von NGC 7243

Die Helligkeitsvariationen der vier Transitkandidaten in der scheinbaren Umgebung des Sternhaufens NGC 7243 wurden erstmalig durch Beobachtungen des YETI-Netzwerkes entdeckt. Die dazugehörigen Beobachtungskampagnen fanden im Zeitraum von August 2013 bis November 2015 statt. Ein U-förmiges, transitähnliches Signal, welches im R -Filter ca. 80 mmag tief ist, wurde in der Lichtkurve von J221550.7+495610.6 entdeckt. Ein Sekundärtransit konnte dabei nicht detektiert werden. Die Periode des Begleiters J221550.7+495610.6/cc beträgt $\approx 4,380$ d und erste Ergebnisse zu diesem Objekt wurden in Garai et al. (2016) publiziert.

Durch zusätzliche Beobachtungen außerhalb der YETI-Kampagnen konnten drei weitere Transitkandidaten identifiziert werden. Der Stern NGC 7243 JFA 1310 zeigt alle 1,389 d einen 35 mmag tiefen Helligkeitseinbruch im R -Filter. Ein weiteres transitähnliches Signal konnte in der Lichtkurve von J221323.7+493534.0 entdeckt werden. Dieses ist im R -Band ca. 50 mmag tief und zeigt eine Periodizität von $P \approx 0,803$ d. Der vierte Transitkandidat wird bei dem Stern J221711.5+494200.1 vermutet. Dessen potentieller Begleiter verursachte einen 60 mmag tiefen Transit im R -Filter mit einer Periode von $P \approx 2,857$ d (priv. Kommunikation mit Z. Garai).

Die nachfolgenden Untersuchungen bzgl. der Transitkandidaten beginnt mit einer Charakterisierung des Sternhaufens NGC 7243. Daran schließt sich die Auswertung der Multiband-Photometrie und der Infrarotbeobachtungen mit adaptiver Optik an. Den Abschluss bildet die Diskussion möglicher Begleiter, welche das Transitsignal verursachen können.

7.1 Untersuchung des Sternhaufens NGC 7243 mit Gaia-Daten

Die Analyse des Sternhaufens NGC 7243 mit den Gaia EDR3-Daten erfolgte analog zum Verfahren in Kapitel 4.1. Aufbauend auf der Parallaxe $\varpi \sim 1,116$ mas wurde um die Koordinaten 22 h 15 min 09 s (RA J2000) und $+49^\circ 49' 48''$ (Cantat-Gaudin & Anders, 2020) nach Mitgliedssternen geforscht. Der Suchradius betrug dabei $30'$. Innerhalb der empirischen Verteilungsfunktion der Parallaxen (Abbildung 7.1 (a)) ist eine Häufung bei $\varpi \sim 1,2$ mas ersichtlich. Anhand der Eigenbewegung konnten vorerst keine Mitglieder identifiziert werden. Aus diesem Grund war eine Begrenzung der Parallaxen auf $\varpi \in [0,75; 1,45]$ mas erforderlich.

Für die verbleibenden Sterne konnte ebenfalls keine Häufung im Eigenbewegungsdiagramm identifiziert werden. Infolgedessen musste das Intervall der Parallaxe weiter eingeschränkt werden ($\varpi \in [1,00; 1,25]$ mas). Erst danach zeigte sich eine Häufung von Sternen bei $\mu_{\text{RA}} \sim 0,5$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \sim -3,0$ mas/yr (Abbildung 7.1 (b)). Folglich waren potentielle Mitglieder von NGC 7243 innerhalb der Intervalle $\mu_{\text{RA}} \in [-1; 2]$ mas/yr und $\mu_{\text{Dec}} \in [-1; -5]$ mas/yr zu finden. Von den darin enthaltenen Sternen wurden die Objekte, welche innerhalb der dreifachen Standardabweichung bzgl. des dazugehörigen arithmetischen Mittels streuen, als Mitglieder des Sternhaufens eingestuft. Jene 373 Mitgliedssterne sind in Tabelle B.5 aufgelistet. Die Anzahl der identifizierten Mitglieder von NGC 7243 in dieser Dissertation übersteigt den Wert von 211 aus Jilinski, Frolov, Ananjevskaja, Straume und Drake (2003) sowie den von 352 aus Cantat-Gaudin und Anders (2020).

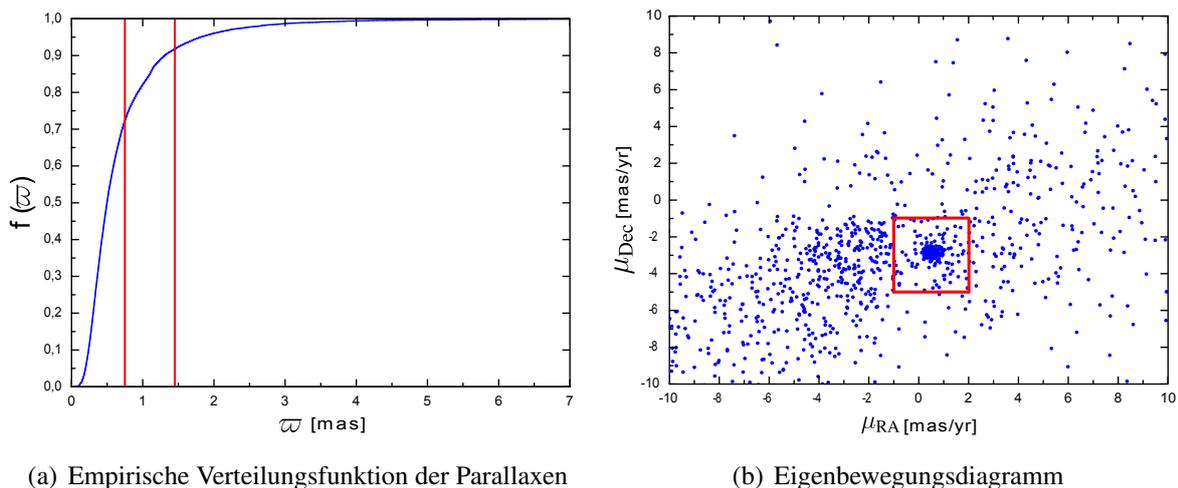


ABBILDUNG 7.1: Messwerte von Sternen mit signifikanter Parallaxe und Eigenbewegung aus Gaia EDR3 in der scheinbaren Umgebung von NGC 7243.

Das arithmetische Mittel und die Standardabweichung aller identifizierten Mitglieder sind in

Tabelle 7.1 mit den dazugehörigen Angaben der Transitkandidatenmuttersterne aufgelistet. Für den Sternhaufen konnte dessen Parallaxe sowie die Eigenbewegung in Richtung Dec signifikant bestimmt werden. NGC 7243 zeigt dabei keine signifikante Bewegung in Richtung RA. Aufbauend auf diesen Werten kann die Mitgliedschaft für alle vier Transitkandidatenmuttersterne ausgeschlossen werden, was die Vermutung von Garai et al. (2016) bestätigt. Es handelt sich bei diesen Objekten um Hintergrundsterne.

TABELLE 7.1: Ermittelte Eigenschaften von NGC 7243. Neben der bestimmten Parallaxe und Eigenbewegung des Sternhaufens werden die Messwerte der Transitkandidatenmuttersterne angegeben.

Bezeichnung	$\overline{\varpi}$ [mas]	$\overline{\mu}_{RA}$ [mas/yr]	$\overline{\mu}_{Dec}$ [mas/yr]
NGC 7243	$1,1270 \pm 0,0502$	$0,502 \pm 0,386$	$-2,897 \pm 0,388$
J221550.7+495610.6	$0,6180 \pm 0,0240$	$0,476 \pm 0,025$	$-2,256 \pm 0,024$
NGC 7243 JFA 1310	$-0,2266 \pm 0,2851$	$-2,168 \pm 0,290$	$-4,397 \pm 0,284$
J221323.7+493534.0	$0,3412 \pm 0,0216$	$-3,866 \pm 0,022$	$-4,383 \pm 0,021$
J221711.5+494200.1	$0,1005 \pm 0,0367$	$-4,607 \pm 0,038$	$-3,110 \pm 0,037$

Die Berechnung der absoluten Helligkeiten im G -Band und der intrinsischen Farben für die wahrscheinlichsten Mitglieder von NGC 7243 erfolgte analog zu Kapitel 4.1. Die dazugehörigen Ergebnisse sind im Anhang in Tabelle B.9 aufgelistet und in Abbildung 7.2 mit den Transitkandidatenmuttersternen zusammen illustriert. Die wahrscheinlichsten Mitglieder von NGC 7243 ordnen sich nahezu vollständig entlang einer Linie im FHD an. Ein signifikanter Unterschied in der Metallizität jener Sterne, wie bei Trumpler 37, liegt folglich nicht vor. Dies wird auch durch die Metallizitäten aus dem Katalog von Anders et al. (2019) bestätigt. Das arithmetische Mittel ($-0,127$ dex) und der Median ($-0,171$ dex) jener 228 darin enthaltenen Mitgliedssterne sind miteinander konsistent innerhalb der Standardabweichung ($0,189$ dex).

Der RUWE von zwei dieser Muttersterne ist geringfügig kleiner als 1. Im Gegensatz dazu ist $RUWE = 1,05$ für J221550.7+495610.6. Bei NGC 7243 JFA 1310 deutet $RUWE = 18,81 > 1,4$ darauf hin, dass es sich bei diesem Objekt auch um ein Tripelsternsystem handeln könnte (Stassun & Torres, 2021). Auch die negative Parallaxe dieses Objekts ist ein zusätzliches Indiz für eng beieinander stehende Lichtquellen, die nur zeitweise von Gaia aufgelöst werden konnten (Hobbs et al., 2021).

Zur Abschätzung des Alters der Transitkandidaten wurden Isochronen von Bressan et al. (2012) verwendet (Abbildung 7.3). Die dabei angenommene Metallizität $[M/H] = -0,3$ dex stimmt mit den Angaben der Sterne aus dem Katalog von Anders et al. (2019) im Rahmen der jeweiligen Fehlerintervalle überein. Unter der Annahme, dass es sich bei diesen Objekten nicht um Vorhauptreihensterne handelt, sind sie mit einem Alter $\tau \gtrsim 1000$ Myr sowie $\tau < 10.000$ Myr konsistent.

7.2. Auswertung der Multiband-Photometrie

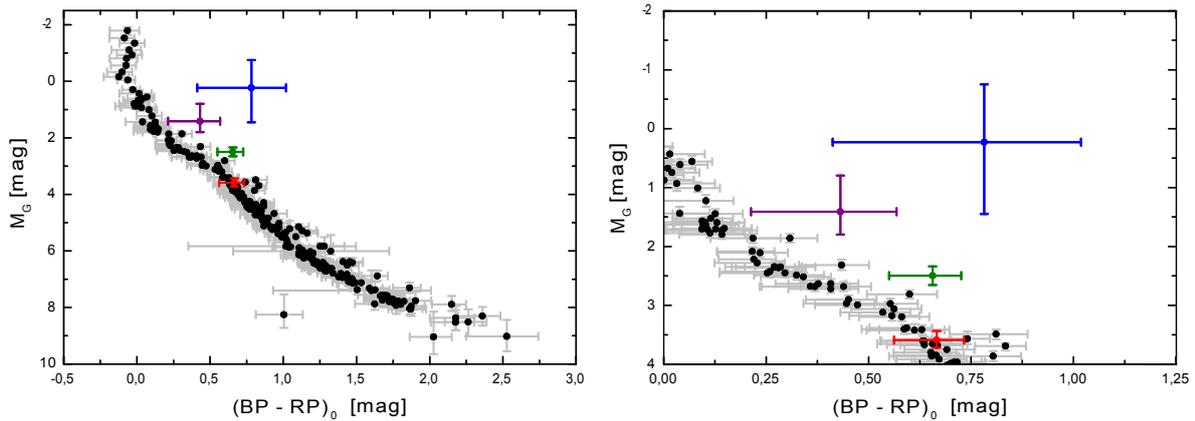


ABBILDUNG 7.2: Farben-Helligkeits-Diagramm der wahrscheinlichsten Mitglieder des Sternhaufens NGC 7243. J221550.7+495610.6 ist in rot, NGC 7243 JFA 1310 in blau, J221323.7+493534.0 in grün und J221711.5+494200.1 in violett dargestellt.

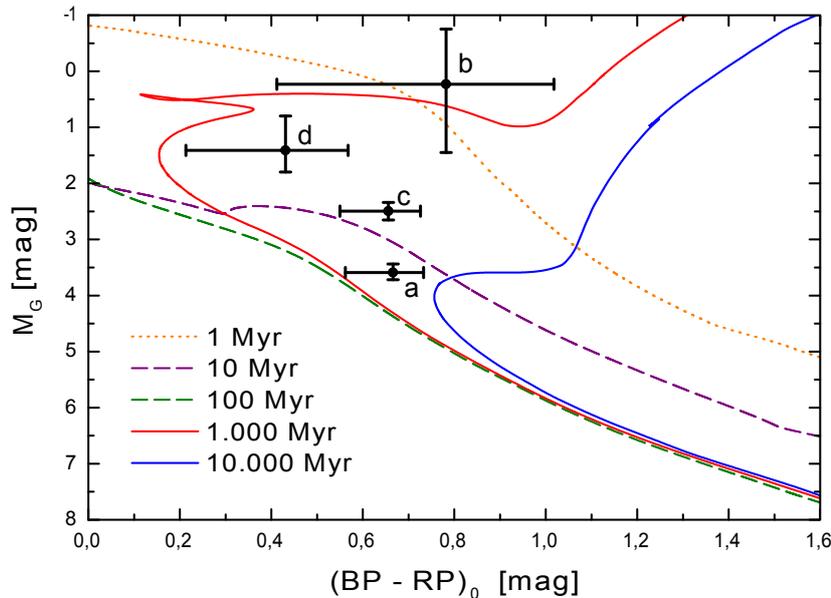


ABBILDUNG 7.3: Farben-Helligkeits-Diagramm mit Isochronen nach den PARSEC-Modellen (Bressan et al., 2012) zur Altersabschätzung der Muttersterne J221550.7+495610.6 (a), NGC 7243 JFA 1310 (b), J221323.7+493534.0 (c) und J221711.5+494200.1 (d). Als Metallizität wurde $[M/H] = -0,3$ dex angenommen.

7.2 Auswertung der Multiband-Photometrie

Die photometrischen Nachbeobachtungen der Transitkandidaten wurden zwischen Juli 2018 und November 2020 durchgeführt. Die einzelnen Beobachtungen sind im Anhang in den Tabellen A.4 bis A.7 aufgelistet. Die Eigenschaften der Sterne, welche u.a. zur Bestimmung der Eingabeparameter für ETD verwendet wurden, sind in Tabelle 7.2 zu finden.

TABELLE 7.2: Eigenschaften der Transitkandidatenmuttersterne.

Parameter	J221550.7 +495610.6	NGC 7243 JFA 1310	J221323.7 +493534.0	J221711.5 +494200.1	Ref.
RA (J2000) [h : min : s]	22 : 15 : 50, 7	22 : 12 : 16, 2	22 : 13 : 23, 7	22 : 17 : 11, 5	^a
Dec (J2000) [° : ' : "]	+49 : 56 : 10, 6	+50 : 02 : 24, 9	+49 : 35 : 34, 0	+49 : 42 : 00, 1	^a
M_* [M_\odot]	$0,887^{+0,092}_{-0,083}$	$1,098^{+0,300}_{-0,180}$	$1,288^{+0,150}_{-0,182}$	$1,539^{+0,287}_{-0,262}$	^b
R_* [R_\odot]	$1,25^{+0,16}_{-0,17}$ †	$1,14^{+0,39}_{-0,23}$	$1,42^{+0,16}_{-0,41}$	$1,68^{+0,10}_{-0,32}$	^c
T_{eff} [K]	6104^{+276}_{-194}	6148^{+467}_{-376}	6263^{+327}_{-357}	7263^{+327}_{-743}	^b
$\log(g)$ [$\log[\text{cm}/\text{s}^2]$]	$4,25^{+0,08}_{-0,15}$	$4,13^{+0,22}_{-0,33}$	$3,91^{+0,11}_{-0,11}$	$4,06^{+0,19}_{-0,16}$	^b
[Fe/H] [dex]	$-0,498^{+0,230}_{-0,374}$	$-0,231^{+0,253}_{-0,279}$	$-0,126^{+0,146}_{-0,366}$	$-0,196^{+0,361}_{-0,226}$	^b
d [pc]	1544^{+73}_{-54}	5471^{+2466}_{-2050}	2716^{+135}_{-129}	6817^{+1721}_{-908}	^d
m_G [mag]	$14,948 \pm 0,003$	$14,471 \pm 0,003$	$15,156 \pm 0,003$	$16,167 \pm 0,003$	^a
A_G [mag]	$0,416^{+0,049}_{-0,049}$	$0,551^{+0,172}_{-0,196}$	$0,490^{+0,049}_{-0,049}$	$0,588^{+0,123}_{-0,074}$	^e
\mathcal{M}_G [mag]	$3,589^{+0,129}_{-0,152}$	$0,230^{+1,219}_{-0,983}$	$2,496^{+0,158}_{-0,157}$	$1,411^{+0,387}_{-0,614}$	^e
$(BP - RP)_0$ [mag]	$0,666^{+0,067}_{-0,104}$	$0,782^{+0,236}_{-0,370}$	$0,656^{+0,070}_{-0,106}$	$0,431^{+0,137}_{-0,218}$	^e
u_B	$0,743 \pm 0,029$	$0,737 \pm 0,037$	$0,747 \pm 0,023$	$0,657 \pm 0,054$	^f
u_V	$0,630 \pm 0,026$	$0,626 \pm 0,032$	$0,634 \pm 0,018$	$0,570 \pm 0,038$	^f
u_R	$0,550 \pm 0,022$	$0,546 \pm 0,027$	$0,553 \pm 0,015$	$0,501 \pm 0,030$	^f
u_I	$0,461 \pm 0,019$	$0,458 \pm 0,024$	$0,462 \pm 0,015$	$0,410 \pm 0,028$	^f

^a Gaia Collaboration et al. (2021), ^b Anders et al. (2019), ^c entsprechend der jeweiligen Masse nach Pecaut und Mamajek (2013), ^d Bailer-Jones et al. (2021), ^e diese Arbeit, ^f Claret et al. (2013), † Gaia Collaboration et al. (2018)

Die Prozessierung der photometrischen Messungen wurde mit ETD analog zu Kapitel 4.2 durchgeführt. Die an die Messwerte angepassten Transitlichtkurven sind in den Abbildungen C.1 bis C.3 dargestellt. Für J221711.5+494200.1/cc war kein signifikanter Helligkeitseinbruch in den prognostizierten Zeitfenstern detektierbar (Abbildung C.4). Aus diesem Grund sind in den Tabellen C.5 bis C.7 nur die Transittiefen bzw. Transitdauern der übrigen drei Kandidaten enthalten. In Tabelle 7.3 sind die dazugehörigen Mittelwerte für die einzelnen Filter aufgelistet sowie die mit PHOEBE aktualisierten Ephemeriden.

Die mittleren Transittiefen im B -, V - und I -Filter von J221550.7+495610.6/cc sind miteinander konsistent im Rahmen der 3σ -Messgenauigkeit. Allerdings ist der Transit im R -Band signifikant flacher als in den übrigen. Es liegt somit ein Farbeffekt vor, der auf einen stellaren Begleiter hinweist. Die Transitdauern von J221550.7+495610.6/cc stimmen in allen Filtern innerhalb von 2σ miteinander überein.

NGC 7243 JFA 1310/cc zeigt in den vier Filtern mittlere Transittiefen, die im Rahmen von 3σ zueinander passen. Die Mittelwerte der dazugehörigen Transitdauern sind innerhalb der 1σ -Messgenauigkeit miteinander verträglich. NGC 7243 JFA 1310/cc zeigt somit keinen Farbeffekt, weshalb weitere Untersuchungen zur Charakterisierung des Begleiters erforderlich sind. Dies ist auch der Fall für J221323.7+493534.0/cc. Die Tiefen des Transits sind in allen Filtern miteinander im Bereich von 2σ -Messgenauigkeit konsistent. Bei der Transitdauer liegen die

7.3. Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

TABELLE 7.3: Ergebnisse der Multiband-Photometrie für J221550.7+495610.6/cc (N1), NGC 7243 JFA 1310/cc (N2) und J221323.7+493534.0/cc (N3). Für jeden Filter ist der Median der Transittiefe und -dauer angegeben. Die letzte Spalte enthält die aktualisierten Ephemeriden.

	Filter	$\overline{\Delta m}$ [mmag]	$\overline{T}_{1,4}$ [min]	Ephemeriden
N1	B	$104,7 \pm 7,2$	$288,1 \pm 0,9$	
	V	$100,1 \pm 4,0$	$285,3 \pm 2,1$	$T_0 = (2456511,418 \pm 0,005)$ HJD
	R ^a	$77,2 \pm 1,2$	$278,6 \pm 10,9$	$P = (4,380380 \pm 0,000009)$ d
	I	$92,2 \pm 2,1$	$292,3 \pm 3,8$	
N2	B	$45,9 \pm 6,5$	$134,0 \pm 13,0$	
	V	$47,7 \pm 3,5$	$141,9 \pm 6,9$	$T_0 = (2456946,845 \pm 0,015)$ HJD
	R	$40,8 \pm 3,4$	$150,1 \pm 12,2$	$P = (1,388905 \pm 0,000011)$ d
	I	$32,6 \pm 3,8$	$140,6 \pm 6,6$	
N3	B	$46,3 \pm 6,9$	$143,4 \pm 11,6$	
	V	$46,0 \pm 0,7$	$165,6 \pm 0,7$	$T_0 = (2456945,258 \pm 0,019)$ HJD
	R	$46,2 \pm 1,3$	$160,0 \pm 6,9$	$P = (0,803316 \pm 0,000009)$ d
	I	$44,9 \pm 1,4$	$155,7 \pm 2,4$	

^a berechnet aus den Werten der JKTEBOP-Analyse in Garai et al. (2016)

Werte für den V- und den I-Filter knapp außerhalb von 3σ und die Dauer im I-Band ist geringfügig kürzer.

Für den Stern J221711.5+494200.1 wurden durch Z. Garai mehrere 60 mmag-tiefe Verdunklungen im R-Band detektiert. In drei Lichtkurven dieses Sterns (Abbildung C.4), welche Epochen nach besagter Detektion abbilden, zeigte jedoch kein Transitsignal. Aufgrund der signifikant besseren photometrischen Präzision dabei, kann die Existenz eines Transits, nahe der durch die Ephemeriden prognostizierten Zeitfenster, ausgeschlossen werden. Eine weitere Lichtkurve von J221711.5+494200.1 (28.08.2013 in Abbildung C.4) deckt den Beginn eines Zeitfensters ab, in dem sich ein Helligkeitseinbruch hätte ereignen müssen. Diese abgebildete Epoche fand noch vor der erstmaligen Detektion des Signals durch Z. Garai statt. Allerdings konnte hier ebenfalls kein Anzeichen für eine 60 mmag-tiefe Verdunklung des Sterns J221711.5+494200.1 festgestellt werden.

7.3 Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

Die Beobachtung des Sterns J221550.7+495610.6 fand am 04.08.2018 zwischen 12:43 UTC und 13:41 UTC mit IRCS und der dazugehörigen AO am Subaru-Teleskop im Servicemodus statt. IRCS wurde dabei im 20 mas-Modus betrieben. Hierbei wurde ebenfalls die Dithering-Technik angewandt und der Abstand zwischen den einzelnen Positionen betrug $3''$. In den Filtern J, H und K wurden je zehn Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 60 s generiert.

Somit betrug die Gesamtintegrationszeit 600 s pro Filter. Die Beobachtungen fanden bei Luftmassen zwischen 1,182 und 1,261 statt.

Infrarotaufnahmen mit AO der anderen drei Transitkandidatenmuttersterne erfolgten am 03.10.2020 zwischen 02:06 UTC und 04:39 UTC im Servicemodus am Large Binocular Telescope (LBT) mit dem Instrument LUCI¹ 1 und dessen AO. Das Sichtfeld der Kamera betrug $30'' \times 30''$ bei einer Skala von $(15,0 \pm 0,5)$ mas pro Pixel (Heidt et al., 2018; Rothberg et al., 2018). Die fünf verschiedenen Dither-Positionen des Teleskops lagen dabei $5''$ auseinander. Die Beobachtungen am LBT fanden bei Luftmassen zwischen 1,202 und 1,046 statt. Die dabei eingesetzten Filter mit den dazugehörigen Integrationszeiten sind in Tabelle 7.4 aufgelistet.

TABELLE 7.4: Beobachtungslogbuch für die Hochkontrastbeobachtungen mit LUCI 1 am LBT. Für jeden Transitkandidatenmutterstern wird der verwendete Filter mit der dazugehörigen Anzahl an Aufnahmen (N) und Gesamtintegrationszeit des Detektors (DIT) angegeben.

Stern	Filter	N	DIT [s]
NGC 7243 JFA 1310	<i>J</i>	5	300
	<i>H</i>	5	300
	<i>K_s</i>	5	300
J221323.7+493534.0	<i>J</i>	5	300
	<i>H</i>	5	300
	<i>K_s</i>	10	600
J221711.5+494200.1	<i>J</i>	5	300
	<i>H</i>	5	300
	<i>K_s</i>	8	480

Als Kalibrationsdaten standen für die IRCS- und LUCI 1-Aufnahmen jeweils Domeflats mit und ohne Belichtung zur Verfügung. Die Datenreduktion erfolgte analog zum Vorgehen in Kapitel 4.3. Die vollständig reduzierten Aufnahmen sind in Abbildung 7.4 und im Anhang in Abbildung D.1 dargestellt. Eine Detailansicht von NGC 7243 JFA 1310 im *K_s*-Filter ist in Abbildung 7.5 zu finden.

Zur Charakterisierung der Qualität der Infrarotaufnahmen mit AO wurden wie in den vorherigen Kapiteln die Detektionsgrenzen (siehe Abbildung D.2 - D.5) bestimmt. Aufbauend auf der Abschätzung in Kapitel 7.1, wurde von einem Alter $\tau = 2000$ Myr für die vier Transitkandidatenmuttersterne ausgegangen. Unter dieser Bedingung sind potentielle substellare Begleiter zu dunkel, um sie in den Infrarotaufnahmen zu detektieren.

Für J221550.7+495610.6 und J221323.7+493534.0 konnten zusätzliche Lichtquellen innerhalb der YETI-Apertur aufgelöst werden, welche sich im Abstand von mehreren Bogensekunden zur Quelle im Zentrum der YETI-Apertur befinden. Deshalb konnten die instrumentellen Hel-

¹LBT Utility Camera in the Infrared

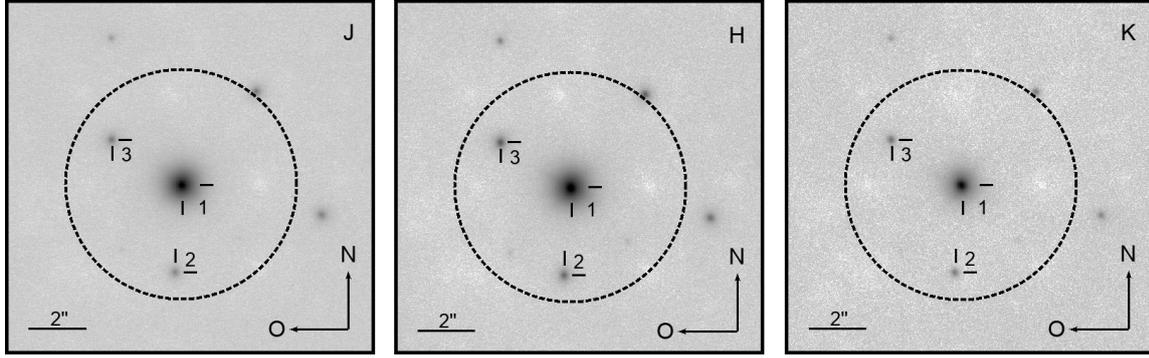


ABBILDUNG 7.4: Hochkontrastbeobachtungen von J221550.7+495610.6 mit IRCS und AO im J -, H - und K -Band. Die typische Apertur der YETI-Teleskope aus dem visuellen Spektralbereich ist jeweils als Kreis mit einem Radius von $4''$ dargestellt.

ligkeiten $m_{\text{inst } i}$ dieser Objekte durch Aperturphotometrie mit MIDAS bestimmt werden. Der verwendete Aperturradius entsprach dabei der zweifachen FWHM der einzelnen Lichtquellen. Die FWHM wurde zuvor ebenfalls durch MIDAS gemessen. Aus den Unterschieden der instrumentellen Helligkeiten der aufgelösten Lichtquellen $m_{\text{inst } i} - m_{\text{inst } j}$, wurden die Verhältnisse der dazugehörigen instrumentellen Flüsse $\frac{F_{\text{inst } i}}{F_{\text{inst } j}}$ durch

$$\log_{10} \left(\frac{F_{\text{inst } i}}{F_{\text{inst } j}} \right) = - \frac{m_{\text{inst } i} - m_{\text{inst } j}}{0,4} \quad (7.1)$$

berechnet.

Die scheinbaren Helligkeiten m_i der jeweiligen Lichtquellen in den Infrarotaufnahmen konnten unter Verwendung der Helligkeiten (im gleichen Filter) aus dem 2 MASS-Katalog $m_{2\text{MASS}}$ bestimmt werden. Da die Aperturen von 2 MASS und YETI jeweils einen Standardradius von $4''$ besaßen (Skrutskie et al., 2006), muss die gemeinsame Helligkeit aller Lichtquellen innerhalb der YETI-Apertur gleich der Helligkeit des Sterns aus dem 2 MASS-Katalog sein. Infolgedessen ergibt sich die scheinbare Helligkeit einer Lichtquelle in der IRCS- bzw. LUCI 1-Aufnahme durch

$$m_i = -2,5 \log_{10} \left(\frac{F_{\text{inst } i}}{\sum_{i=1}^n F_{\text{inst } i}} \right) + m_{2\text{MASS}}. \quad (7.2)$$

Im Fall von J221550.7+495610.6 musste die K_s -Band-Helligkeit aus dem 2 MASS-Katalog mittels Gleichung 4.2 in das K -Band konvertiert werden. Die berechneten scheinbaren Helligkeiten der Quellen aus den IRCS-Aufnahmen (Abbildung 7.4) sind in Tabelle 7.5 aufgelistet. Die scheinbaren Helligkeiten der Objekte aus Abbildung D.1 (b) sind in Tabelle 7.6 aufgeführt. Analog zum Vorgehen in Kapitel 6.3 wurden die dazugehörigen intrinsischen Farben $(J - K)_0$

bzw. $(J - K_s)_0$ bestimmt. Darauf aufbauend erfolgte die Extrapolation der scheinbaren Helligkeiten m_R ebenfalls in analoger Weise zu Kapitel 6.3.

TABELLE 7.5: Helligkeiten und intrinsische Farben der drei Strahlungsquellen innerhalb der YETI-Apertur von J221550.7+495610.6. In der oberen Hälfte sind die scheinbaren Helligkeiten der Quellen im J -, H - und K -Band aufgelistet. In der unteren Hälfte sind die verwendeten Rötungen aus Green et al. (2019) angegeben, welche zur Bestimmung von der intrinsischen Farbe $(J - K)_0$ und der Extrapolation von m_R verwendet wurden.

Quelle	m_J [mag]	m_H [mag]	m_K [mag]
J221550.7+495610.6:1	$13,833 \pm 0,034$	$13,509 \pm 0,044$	$13,434 \pm 0,057$
J221550.7+495610.6:2	$18,282 \pm 0,030$	$17,576 \pm 0,041$	$17,358 \pm 0,048$
J221550.7+495610.6:3	$17,912 \pm 0,031$	$17,193 \pm 0,042$	$17,052 \pm 0,051$
Quelle	$E(g - r)$ [mag]	$(J - K)_0$ [mag]	m_R [mag]
J221550.7+495610.6:1*	$0,17 \pm 0,02$	$0,310 \pm 0,034$	$14,91 \pm 0,18$
J221550.7+495610.6:2	$0,21 \pm 0,06$	$0,815 \pm 0,049$	$20,57 \pm 0,44$
J221550.7+495610.6:3*	$0,17 \pm 0,03$	$0,822 \pm 0,036$	$20,09 \pm 0,30$

* in Bailer-Jones et al. (2021) gelistet

J221550.7+495610.6:2 und J221550.7+495610.6:3 können als Ursprung des Transitsignals ausgeschlossen werden. Infolge der Überblendung mit den anderen Quellen wäre der maximal zu erwartende Helligkeitseinbruch $\Delta m_R < 15$ mmag, wenn es sich bei diesen Objekten um bedeckungsveränderliche Doppelsterne mit zwei ähnlichen Komponenten handelte. Dieser Wert liegt deutlich unter der beobachteten Transittiefe von ca. 80 mmag im R -Filter. Folglich kann der potentielle Begleiter J221550.7+495610.6/cc nur die Lichtquelle J221550.7+495610.6:1 umkreisen. Anhand von $(J - K)_0$ konnte für J221550.7+495610.6:1 eine Spektralklasse im Bereich von F6V bis G0V abgeschätzt werden. Infolge des zusätzlichen Flusses der Quellen J221550.7+495610.6:2 und J221550.7+495610.6:3 innerhalb der Apertur, müsste der tatsächliche Transit im R -Filter um ≈ 1 mmag tiefer sein als der gelistete Wert in Tabelle 7.3.

Im Fall von J221323.7+493534.0 ist die zusätzliche Lichtquelle J221323.7+493534.0:2 ebenfalls zu dunkel, um das Transitsignal zu erzeugen. Als Doppelstern mit zwei ähnlichen Komponenten wäre der dazugehörige Helligkeitseinbruch bei einer zeitweisen vollständigen Bedeckung < 1 mmag, was deutlich flacher ist als der beobachtete. J221323.7+493534.0:1 muss folglich der Ursprung für das Transitsignal sein. Anhand seiner intrinsischen Farbe $(J - K_s)_0$ kann J221323.7+493534.0:1 einer Spektralklasse von F6V bis F8V zugeordnet werden.

Eine signifikante Elongation der PSF von NGC 7243 JFA 1310 (Abbildung 7.5) zeigt, dass dieses Objekt aus mehreren Lichtquellen besteht. Die beiden Sterne innerhalb der Apertur überblenden sich gegenseitig und sind zu dicht beieinander, um deren Helligkeit direkt durch Aperturphotometrie bestimmen zu können. Aus diesem Grund wurde das Verfahren der PSF-

7.3. Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik

TABELLE 7.6: Helligkeiten und intrinsische Farben der beiden Strahlungsquellen innerhalb der YETI-Apertur von J221323.7+493534.0. Analog zu Tabelle 7.5.

Quelle	m_J [mag]	m_H [mag]	m_{K_s} [mag]
J221323.7+493534.0:1	$14,016 \pm 0,032$	$13,631 \pm 0,040$	$13,645 \pm 0,039$
J221323.7+493534.0:2	$20,605 \pm 0,049$	$19,714 \pm 0,056$	$19,500 \pm 0,059$
Quelle	$E(g-r)$ [mag]	$(J-K_s)_0$ [mag]	m_R [mag]
J221323.7+493534.0:1	$0,20 \pm 0,02$	$0,273 \pm 0,017$	$15,01 \pm 0,09$
J221323.7+493534.0:2	$0,23 \pm 0,05$	$0,992 \pm 0,034$	$25,73 \pm 0,51$

Subtraktion für die Aufnahme im K_s -Band angewandt, da in diesem Filter die beiden Quellen am deutlichsten erkennbar sind.

Bei der PSF-Subtraktion wurden zuerst die Pixelkoordinaten des Mittelpunkts der Lichtquelle NGC 7243 JFA 1310:1 in der Originalaufnahme bestimmt. Danach erfolgten Drehungen der Aufnahme in 2° -Schritten um den zuvor bestimmten Mittelpunkt. Jedes der gedrehten Bilder wurde separat von der Originalaufnahme subtrahiert, um somit künstliche Differenzbilder zu generieren. Die so erzeugten Differenzaufnahmen wurden danach durch Bildung des Medians miteinander kombiniert. Dabei war in diesem Bild die PSF von NGC 7243 JFA 1310:1 entfernt worden (Abbildung D.9, links), sodass die instrumentelle Helligkeit von NGC 7243 JFA 1310:2 gemessen werden konnte. Dieses Verfahren der „roll-subtraction technique“ (Ginski et al., 2014; Mugrauer, Schlagenhaut, Buder, Ginski & Fernández, 2022) wurde auch entsprechend für die Helligkeitsbestimmung von NGC 7243 JFA 1310:1 durchgeführt.

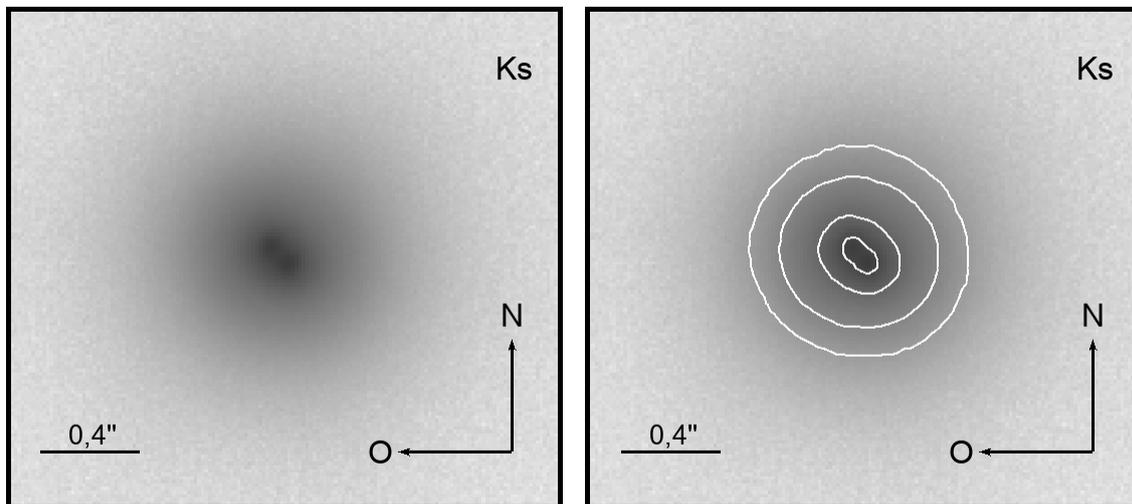


ABBILDUNG 7.5: Detailansicht der Hochkontrastbeobachtungen von NGC 7243 JFA 1310 mit LU-CI 1 und AO im K_s -Band. Die Konturlinien, welche Bereiche gleicher Helligkeit kennzeichnen, sind als weiße Linien illustriert und zeigen eine signifikante Elongation der PSF.

Der resultierende Helligkeitsunterschied zwischen beiden Sternen ist nicht signifikant ($\Delta m_{K_s} = (0,059 \pm 0,025)$ mag). Beide Quellen sind somit gleich hell. Folglich muss der tatsächliche Transit im R -Band doppelt so tief sein wie der beobachtete in Tabelle 7.3. Analog zum obigen Vorgehen wurde $(J - K_s)_0 = (0,313 \pm 0,025)$ mag für NGC 7243 JFA 1310:1 bzw. NGC 7243 JFA 1310:2 bestimmt, was konsistent mit einer Spektralklasse von F8V bis G0V ist. Der Winkelabstand zwischen NGC 7243 JFA 1310:1 und NGC 7243 JFA 1310:2 ist $\varphi \approx 0,1''$. Dies entspricht einem projizierten Abstand von mindestens 400 AE, basierend auf der Untergrenze der Entfernungsangabe für NGC 7243 JFA 1310 (Tabelle 7.2). Unter Berücksichtigung der Periode des Transitsignals von ca. 1,4 d kann ausgeschlossen werden, dass eine gegenseitige Bedeckung von NGC 7243 JFA 1310:1 und NGC 7243 JFA 1310:2 jenes Signal verursacht. Folglich muss einer der beiden Sterne von einem leuchtschwachen Begleiter umkreist werden. Anhand der U-förmigen Lichtkurven durch NGC 7243 JFA 1310/cc (Abbildung C.3) kann ein partieller Transit ausgeschlossen werden. Weiterhin wäre der zu erwartende Helligkeitseinbruch für ein überblendetes Doppelsternsystem mit zwei ähnlichen Komponenten zu tief ($\Delta m > 300$ mmag).

In den LUCI 1-Aufnahmen von J221711.5+494200.1 konnten innerhalb der YETI-Apertur keine zusätzlichen Lichtquellen aufgelöst werden. Bei den übrigen drei Transitkandidatenmuttersternen wurden zusätzliche Sterne innerhalb der YETI-Apertur detektiert. Im Fall von J221550.7+495610.6 und J221323.7+493534.0 waren diese zu dunkel, um die Quelle des Transitsignals zu sein. Es zeigte sich, dass bei NGC 7243 JFA 1310 zwei gleich helle sehr dicht beieinanderstehen.

7.4 Erklärungsansätze für die transitähnlichen Signale

Anhand der Oberflächenbeschleunigung und den absoluten Helligkeiten der Transitkandidatenmuttersterne aus Tabelle 7.2 konnte festgestellt werden, dass deren Werte inkonsistent mit Riesensternen sind.

Dem Stern J221550.7+495610.6 konnte eine Spektralklasse von F6V bis G0V zugeordnet werden. Der zu erwartende Helligkeitseinbruch im R -Filter wäre $\Delta m_R < 10$ mmag für Braune Zwerge und Planeten. Das ca. 80 mmag tiefe Transitsignal von J221550.7+495610.6/cc wird somit durch einen stellaren Begleiter verursacht. Aufbauend auf den Radien und Helligkeiten aus Pecaut und Mamajek (2013) kann das photometrische Signal durch Sterne der Spektraltypen M2V bis M4V erklärt werden.

Die beiden gleich hellen Quellen innerhalb der YETI-Apertur von NGC 7243 JFA 1310 wurden als Sterne des Spektraltyps der späten F-Klasse identifiziert. Infolge der gegenseitigen Über-

blendung ist das tatsächliche Transitsignal von NGC 7243 JFA 1310/cc doppelt so tief wie das beobachtete. Auch bei NGC 7243 JFA 1310/cc handelt es sich deshalb um einen Stern der frühen Typen der Spektralklasse M.

Der Transitkandidatenmutterstern J221323.7+493534.0 gehört den Spektraltypen F6V bis F8V an. Allerdings ist der Fluss der zusätzlichen Quelle J221323.7+493534.0:2 in der YETI-Apertur vernachlässigbar gering. Das Transitsignal von J221323.7+493534.0/cc ist nur halb so tief wie in den vorangegangenen Fall. Deshalb gehört J221323.7+493534.0/cc zu den mittleren Klassen des Spektraltyps M.

Das photometrische Signal von J221711.5+494200.1/cc konnte im Rahmen dieser Dissertation nicht detektiert werden. Die absolute Helligkeit im G -Band sowie die intrinsischen Farben $(BP - RP)_0$ und $(J - K_s)_0$ des Muttersterns sind konsistent mit den Werten eines Hauptreihensterns des Spektraltyps A bis frühes F (nach Tabelle 5 aus Pecaut & Mamajek, 2013). Ein planetarer Begleiter kann als Ursache des zeitweise detektierbaren Signals hierbei ausgeschlossen werden. Um den berichteten transitähnlichen Helligkeitseinbruch von $\Delta m_R \approx 60$ mmag zu erzeugen, müsste der Mutterstern des Spektraltyps A0V bzw. F5V von einem M1V- bzw. M3V-Stern umkreist werden.

Die PSF der Sterne J221550.7+495610.6, J221323.7+493534.0 und J221711.5+494200.1 zeigt keine Elongation (Abbildungen D.6 bis D.8). Dies ist ein weiterer Hinweis für einen leucht-schwachen Begleiter in einem engen Doppelsternsystem im Fall von J221550.7+495610.6 und J221323.7+493534.0.

In drei der vier untersuchten Systeme ist die Sekundärkomponente des Doppelsterns vom Spektraltyp M. Die Ursache der transitähnlichen Helligkeitseinbrüche bei J221711.5+494200.1, die von Z. Garai detektiert wurden, konnte nicht geklärt werden. Sollte der Stern tatsächlich einen stellaren Begleiter haben, so könnte dieser anhand von Radialgeschwindigkeitsmessungen ggf. detektiert werden.

Bei den Transitkandidaten in der scheinbaren Umgebung von NGC 7243 handelt es sich somit nicht um substellare Begleiter.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Dissertation war es herauszufinden, ob der Transit eines Exoplaneten die Helligkeitseinbrüche in den Lichtkurven der sieben Transitkandidatenmuttersterne verursacht. Die untersuchten Transitkandidaten waren zuvor in YETI-Beobachtungskampagnen detektiert worden. Die erforderlichen Nachfolgebeobachtungen wurden dazu an sieben Teleskopen des YETI-Netzwerkes sowie am LBT und dem Subaru-Teleskop durchgeführt. Im Rahmen der Multiband-Photometrie wurden Beobachtungsdaten mit einer Gesamtbelichtungszeit von ca. 422,8 h aufgenommen und mit dem Programm `automat.py` prozessiert. Diese Daten ermöglichten u.a. die Aktualisierung und Präzisierung der Ephemeriden. Des Weiteren konnten durch die Analyse der Lichtkurven für J221550.7+495610.6/cc, STKGSH J213912.0+570728.1/cc und CVSO 30 b, in Kombination mit Literaturwerten, Farbeffekte festgestellt werden. Diese widersprechen dem Szenario eines planetaren Begleiters.

Zur Überprüfung, ob es sich bei den Beobachtungsobjekten um überblendete Doppelsysteme handelt, erfolgten Hochkontrastaufnahmen aller Transitkandidatenmuttersterne im infraroten Wellenlängenbereich mit AO an Großteleskopen. Dadurch konnten zusätzliche stellare Lichtquellen innerhalb der YETI-Aperturen von STKGSH J213912.0+570728.1 aufgelöst werden. Selbes war auch für NGC 7243 JFA 1310, J221550.7+495610.6 und J221323.7+493534.0 möglich. Hierbei konnten auch zuvor nicht bekannte Sterne detektiert werden. In der YETI-Apertur von STKGSH J213912.0+570728.1 und NGC 7243 JFA 1310 waren außerdem Quellen enthalten, die einen signifikanten Beitrag zum Gesamtfluss des Systems leisteten.

Durch die Verfügbarkeit der Gaia EDR3-Daten war insbesondere die Entfernungsbestimmung und Untersuchung der kinematischen Eigenschaften der Sterne mit noch nie gekannter Präzision möglich. Dadurch wurden die Muttersterne J221550.7+495610.6, NGC 7243 JFA 1310, STKGSH J213912.0+570728.1, J221323.7+493534.0 und J221711.5+494200.1 als Vorder- bzw. Hintergrundobjekte bzgl. der jungen, offenen YETI-Sternhaufen klassifiziert. In Kombination mit den intrinsischen Farben und den absoluten Helligkeiten konnten die Spektralklassen dieser

Sterne bestimmt werden. Damit einhergehend wurden auch die Eigenschaften der Transitkandidaten genauer eingegrenzt als in zuvor erschienenen Publikationen. Des Weiteren konnten durch Gaia kinematische und photometrische Besonderheiten der Sternhaufen untersucht sowie eine Liste von Mitgliedssternen erstellt werden. Diese beinhalten auch neue, noch leuchtschwächere Mitglieder der Sternhaufen.

Das Ziel dieser Dissertation war es herauszufinden, ob der Transit eines Exoplaneten die Helligkeitseinbrüche in den Lichtkurven der Muttersterne verursacht. Dieses Szenario kann in allen Fällen verneint werden. Bei IC 348 LRL 47 handelt es sich um einen Doppelstern mit partiellen Transits. STKGSH J213912.0+570728.1 und NGC 7243 JFA 1310 sind Beispiele für überblendete Doppelsternsysteme.

J221550.7+495610.6, J221323.7+493534.0 und J221711.5+494200.1 stellten sich als Hauptreihensterne des Spektraltyps F heraus. Die dazugehörigen Helligkeitseinbrüche in den Lichtkurven von J221550.7+495610.6 und J221323.7+493534.0 werden durch M-Sterne verursacht. Der Auslöser für die zeitweiligen Verdunklungen von J221711.5+494200.1 konnte bisher nicht ermittelt werden.

Ein wesentliches Ergebnis der Nachfolgebeobachtungen im Rahmen dieser Dissertation ist die Publikation Bischoff et al. (2022). Diese liefert einen Beitrag zur Interpretation des Mechanismus, der die transitähnlichen Signale von CVSO 30 verursacht. Infolge des detektierten Farbeffektes der Helligkeitseinbrüche sowie deren Phasenverschiebung um ca. 180° innerhalb eines Jahres, erscheint die Existenz des kontrovers diskutierten Transitkandidaten CVSO 30 b immer unwahrscheinlicher. Sekundärtransits von mitrotierenden Plasmawolken, welche insbesondere im roten Wellenlängenbereich des optischen Spektrums emittieren, sind dabei die erfolgversprechendste Erklärung.

Letztlich konnte keiner der Kandidaten als junger Transitplanet bestätigt werden. Diese Nichtdetektion ist ein Indiz dafür, dass junge Heiße Jupiter eher eine Ausnahme als die Regel sind (aufbauend auf Abbildung 1.1). Infolgedessen könnte der Prozess der Planetenentstehung länger dauern als bisher prognostiziert oder die Heißen Jupiter bilden sich in größerer Entfernung zu ihrem Mutterstern und erreichen ihre finale Umlaufbahn erst durch Migration.

Eine Fortsetzung der Nachfolgebeobachtungen für die untersuchten Systeme ist sinnvoll, um deren Bahneigenschaften noch genauer zu charakterisieren. Insbesondere ermöglichen die angekündigten Radialgeschwindigkeitsmessungen, welche in der kompletten Datenveröffentlichung Gaia DR3 enthalten sein werden, die Bestimmung der Bahnelemente analog zu Kapitel 4.4. Außerdem könnte spektroskopisch die Existenz von J221711.5+494200.1/cc überprüft werden. Weitere photometrische Messungen zu CVSO 30 könnten Aufschluss darüber geben, ob sich eine weitere Phasenverschiebung des Transitsignals ereignet und ob diese dem Auf-

treten von Flares korreliert ist. Durch zusätzliche Infrarotaufnahmen mit AO könnte auch geklärt werden, ob sich STKGSHJ213912.0+570728.1:1 und STKGSHJ213912.0+570728.1:2 seit September 2012 in die gleiche Richtung bewegt haben. In Kombination mit der Eigenbewegung aus Gaia EDR3 ist es möglich herauszufinden, ob es sich bei diesen Sternen ggf. um ein Tripelsystem handelt.

Anhang A

Beobachtungslogbücher

TABELLE A.1: Beobachtungslogbuch für IC 348 LRL47. Für jede Epoche wird das dazugehörige Datum des Beobachtungsbeginns, das Observatorium, der verwendete Filter, die Anzahl der Aufnahmen (N) und die individuelle Detektorintegrationszeit (DIT) jeder Einzelaufnahme angegeben.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2012 Sep 17	GSH	R	262	50
2018 Okt 30	Suhora	V, R, I	104, 106, 104	120, 60, 45
2018 Dez 05	OSN	V	164	120
2020 Okt 01	GOS	I	199	200
2020 Nov 06	GOS	I	392	100
2020 Dez 17	GSH	V	119	180

TABELLE A.2: Beobachtungslogbuch für CVSO 30. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2014 Okt 23	OSN	R	172	90
2014 Okt 28	OSN	R	165	90
2014 Nov 02	GSH	R	66	180
2014 Nov 06	OSN	R	145	100
2014 Nov 19	OSN	R	62	90
2014 Dez 11	OSN	R	125	100
2015 Feb 11	GSH	R	74	180
2015 Nov 14	OGS	R	60	210

Fortsetzung

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2015 Nov 19	OGS	Clear	103	135
2015 Nov 23	OSN	R	76	180
2016 Feb 02	OSN	R	100	180
2016 Okt 26	OSN	R	30	180
2017 Jan 05	OSN	R	69	240
2017 Jan 14	OSN	R	13	240
2017 Jan 23	OSN	R	86	180
2017 Okt 27	OSN	R	70	200
2017 Nov 13	OSN	R	84	200
2017 Nov 22	OSN	R	67	200
2017 Nov 22	GSH	R	106	120
2018 Jan 23	OSN	R	123	200
2018 Feb 14	IAAT	Clear	124	120
2018 Okt 14	GSH	R	47	210
2018 Okt 31	Suhora	V, I	80, 80	120, 60
2018 Nov 08	LOT	R	60	120
2018 Nov 09	GSH	R	32	300
2018 Nov 14	GSH	R	50	210
2018 Dez 01	OSN	R	85	180
2018 Dez 04	LOT	R	136	120
2018 Dez 09	LOT	R	47	120
2018 Dez 13	LOT	R	80	120
2018 Dez 17	LOT	R	137	120
2018 Dez 18	LOT	R	137	120
2018 Dez 26	LOT	R	37	120
2018 Dez 27	LOT	R	137	120
2019 Okt 31	GSH	R	65	180
2019 Nov 09	GSH	R	52	180
2019 Dez 05	GSH	R	78	180
2020 Jan 15	GSH	R	53	180
2020 Jan 23	GSH	R	60	180
2020 Feb 07	GSH	R	38	180
2020 Okt 20	GSH	R	62	180

Fortsetzung

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2020 Nov 23	GSH	R	77	180
2020 Nov 25	GSH	R	63	180
2021 Jan 11	OSN	R	66	200
2021 Jan 15	OSN	R	79	200
2021 Jan 29	OSN	R	139	90
2021 Feb 02	OSN	R	82	200

TABELLE A.3: Beobachtungslogbuch für STKGSHJ213912.0+570728.1. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2017 Okt 17	GSH	R	95	120
2018 Jun 18	GSH	I	50	150
2018 Jun 29	GSH	V	21	300
2018 Jul 10	OSN	R	114	120
2018 Jul 16	GSH	V	35	240
2018 Jul 27	GSH	I	80	150
2018 Jul 27	OSN	I	235	60
2018 Jul 30	GSH	I	100	120
2018 Jul 30	OSN	R	133	120
2018 Aug 08	GSH	V	28	300
2018 Aug 16	GSH	V	40	240
2018 Aug 21	GSH	R	70	180
2018 Sep 07	GSH	B	34	360
2018 Sep 18	OSN	I	191	60
2018 Sep 21	GSH	I	52	200
2018 Sep 24	GSH	R	76	150
2018 Sep 30	GSH	I	48	150
2018 Sep 30	GSH	V	54	240
2018 Okt 05	GSH	B	48	360
2018 Okt 11	GSH	B	42	360
2018 Okt 14	GSH	B	41	360

Fortsetzung

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2018 Okt 17	GSH	V	33	240
2018 Okt 22	GSH	R	47	150
2018 Nov 05	GSH	R	67	150

TABELLE A.4: Beobachtungslogbuch für J221550.7+495610.6. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2018 Jul 20	OSN	V	109	200
2018 Sep 15	GSH	V	126	240
2019 Aug 27	OSN	B	93	200
2019 Aug 27	GSH	B	40	480
2020 Okt 03	GSH	I	98	240

TABELLE A.5: Beobachtungslogbuch für NGC 7243 JFA 1310. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2019 Jul 23	OSN	I	172	120
2019 Jul 30	GSH	B	31	480
2019 Aug 31	GSH	V	62	300
2019 Sep 18	OSN	R	155	120
2019 Okt 06	OSN	R	131	120
2019 Okt 13	GSH	I	110	240

TABELLE A.6: Beobachtungslogbuch für J221323.7+493534.0. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2018 Nov 16	GSH	V	126	240
2019 Jun 28	OSN	V	153	120
2019 Aug 08	GSH	B	24	480
2019 Aug 20	OSN	I	96	200
2019 Sep 02	GSH	V	60	300
2019 Sep 14	GSH	I	78	240
2019 Okt 13	OSN	I	124	140
2019 Okt 13	GSH	I	110	240
2019 Okt 17	OSN	R	119	150

Fortsetzung

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2020 Okt 19	GSH	B	35	480
2020 Nov 12	GSH	R	70	240

TABELLE A.7: Beobachtungslogbuch für J221711.5+494200.1. Analog zu Tabelle A.1.

Datum	Observatorium	Filter	N	DIT [s]
2013 Aug 28	GSH	R	46	90
2019 Jul 25	OSN	R	137	120
2019 Sep 23	OSN	V	99	240
2020 Okt 10	GSH	V	55	360



Anhang B

YETI-Sternhaufen

B.1 Mitglieder der YETI-Sternhaufen

TABELLE B.1: Die 564 identifizierten Mitglieder des Sternhaufens IC 348 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden Stern ist der dazugehörige EDR3-Name aufgeführt.

Name	Name
Gaia EDR3 216696802484884736	Gaia EDR3 216706290068182016
Gaia EDR3 217027244385179776	Gaia EDR3 216702300042430208
Gaia EDR3 217517175597449728	Gaia EDR3 216683406482466688
Gaia EDR3 216493667710500096	Gaia EDR3 216617641943232128
Gaia EDR3 217466185745498624	Gaia EDR3 216705190554952832
Gaia EDR3 217116644127587072	Gaia EDR3 217346377633950464
Gaia EDR3 217545728540118784	Gaia EDR3 216653513510060032
Gaia EDR3 216407974523288704	Gaia EDR3 216678424320382848
Gaia EDR3 216616606855230208	Gaia EDR3 217358644060557696
Gaia EDR3 216652787659368832	Gaia EDR3 217356513756699392
Gaia EDR3 217882217755626752	Gaia EDR3 216681276178672000
Gaia EDR3 216643136869118464	Gaia EDR3 216681615480430976
Gaia EDR3 216439757281339392	Gaia EDR3 216678046361699584
Gaia EDR3 216662756279723904	Gaia EDR3 216678729261562368
Gaia EDR3 216494595423431424	Gaia EDR3 216679626911237120
Gaia EDR3 216704056683558528	Gaia EDR3 217444440327486848
Gaia EDR3 216714467685879552	Gaia EDR3 216678527399594880

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 216706771102889728	Gaia EDR3 216653891467180288
Gaia EDR3 216616160178830208	Gaia EDR3 216678458680118912
Gaia EDR3 217459180654043264	Gaia EDR3 216648973728996736
Gaia EDR3 216524179158240000	Gaia EDR3 217475123573808000
Gaia EDR3 216673403502771328	Gaia EDR3 216702025165001856
Gaia EDR3 217335790539013248	Gaia EDR3 216708038118238976
Gaia EDR3 217349641809094784	Gaia EDR3 216678080723006464
Gaia EDR3 216678213866423424	Gaia EDR3 216629874010075776
Gaia EDR3 216681271882290560	Gaia EDR3 216718792716338048
Gaia EDR3 216436153806075136	Gaia EDR3 216684780870456832
Gaia EDR3 216407051107410816	Gaia EDR3 216662790639458816
Gaia EDR3 216680863860255488	Gaia EDR3 216685949103101824
Gaia EDR3 217491749390934016	Gaia EDR3 216682513129244928
Gaia EDR3 217364004179140608	Gaia EDR3 216665264540611584
Gaia EDR3 216402476965123584	Gaia EDR3 216682100812391168
Gaia EDR3 216662481401744896	Gaia EDR3 216702304338533120
Gaia EDR3 216682852430995584	Gaia EDR3 216678149442795648
Gaia EDR3 216294999703492992	Gaia EDR3 216725187924260480
Gaia EDR3 216694848275314688	Gaia EDR3 216724775605757312
Gaia EDR3 216664646064104064	Gaia EDR3 216680863861815680
Gaia EDR3 216649042448473856	Gaia EDR3 216678115082741248
Gaia EDR3 217328235692110080	Gaia EDR3 216693954922130432
Gaia EDR3 216830088206963968	Gaia EDR3 216678389960645888
Gaia EDR3 216629732274649856	Gaia EDR3 216570775259098752
Gaia EDR3 216675430727449088	Gaia EDR3 217341326752424704
Gaia EDR3 216675950419235840	Gaia EDR3 216690308493482624
Gaia EDR3 216707733175539456	Gaia EDR3 216706255706838016
Gaia EDR3 216590527813030528	Gaia EDR3 216627709346568704
Gaia EDR3 216722744086154880	Gaia EDR3 216628838921440128
Gaia EDR3 216718178537782400	Gaia EDR3 216601213692521472
Gaia EDR3 216682719286079104	Gaia EDR3 216678286881434240
Gaia EDR3 216570706539622272	Gaia EDR3 216708901408427904
Gaia EDR3 216679626909685888	Gaia EDR3 216673678380015232

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 217090565086058624	Gaia EDR3 216615163746417408
Gaia EDR3 216497829534611072	Gaia EDR3 216681207459195392
Gaia EDR3 216403099737497216	Gaia EDR3 216701995100898560
Gaia EDR3 216700586351944704	Gaia EDR3 216588603667681408
Gaia EDR3 216295072719449600	Gaia EDR3 216681344898253440
Gaia EDR3 216518372362454784	Gaia EDR3 216694603461518208
Gaia EDR3 216428624726152960	Gaia EDR3 216575791780899200
Gaia EDR3 216678493039860480	Gaia EDR3 216627601971630720
Gaia EDR3 216706186987365120	Gaia EDR3 216679558191760640
Gaia EDR3 216681791574739072	Gaia EDR3 216700856933382016
Gaia EDR3 216706835528252160	Gaia EDR3 217328300115954560
Gaia EDR3 216721850733091968	Gaia EDR3 216692511813123456
Gaia EDR3 216690037910163584	Gaia EDR3 216659457744832512
Gaia EDR3 216681340602609152	Gaia EDR3 216705151900720768
Gaia EDR3 216661210090272896	Gaia EDR3 216684162396621952
Gaia EDR3 216637982908401792	Gaia EDR3 216676671973739392
Gaia EDR3 216678454384591744	Gaia EDR3 216607368380178944
Gaia EDR3 217520306628256512	Gaia EDR3 217448632215552256
Gaia EDR3 216677805843882496	Gaia EDR3 216720446280376320
Gaia EDR3 217446776789683200	Gaia EDR3 216706358787662208
Gaia EDR3 216734014080566400	Gaia EDR3 216678252521690368
Gaia EDR3 216572832547750784	Gaia EDR3 216683406482466816
Gaia EDR3 216606268869907072	Gaia EDR3 216711409669168000
Gaia EDR3 216514317913282304	Gaia EDR3 216678076426514304
Gaia EDR3 217117331321939968	Gaia EDR3 216629869714526464
Gaia EDR3 216576547695143424	Gaia EDR3 216668803593749888
Gaia EDR3 217455469803469056	Gaia EDR3 216705053117726464
Gaia EDR3 216694397302628992	Gaia EDR3 216707011622682624
Gaia EDR3 217474672600630912	Gaia EDR3 216641075284831744
Gaia EDR3 216718620918659072	Gaia EDR3 216708248573262208
Gaia EDR3 216687456635947648	Gaia EDR3 217463643124614656
Gaia EDR3 217115613335416064	Gaia EDR3 216688766601562368
Gaia EDR3 217419765738642176	Gaia EDR3 217440896978922112

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 216706221348706688	Gaia EDR3 216689621299551488
Gaia EDR3 217446188378685824	Gaia EDR3 216714467686233344
Gaia EDR3 216681443680872704	Gaia EDR3 216705843391582976
Gaia EDR3 216681100084326656	Gaia EDR3 217349057693547008
Gaia EDR3 216718728291847424	Gaia EDR3 216629530412699008
Gaia EDR3 216681757213399936	Gaia EDR3 216724603808667136
Gaia EDR3 217363553207422592	Gaia EDR3 216587405372444032
Gaia EDR3 216313382163543680	Gaia EDR3 216710443299909376
Gaia EDR3 217481269670674048	Gaia EDR3 216678389960647552
Gaia EDR3 216694401597125888	Gaia EDR3 216590390373910912
Gaia EDR3 216677359168494080	Gaia EDR3 216573524038168704
Gaia EDR3 216428869541304448	Gaia EDR3 216678321241170304
Gaia EDR3 216706049550020224	Gaia EDR3 216710168422013440
Gaia EDR3 216668013318136320	Gaia EDR3 216677805845105408
Gaia EDR3 216681615480515200	Gaia EDR3 216592039641875712
Gaia EDR3 217328300116022528	Gaia EDR3 216721099115395584
Gaia EDR3 216678523104067200	Gaia EDR3 216558749350653568
Gaia EDR3 216680309809831552	Gaia EDR3 216677153010066048
Gaia EDR3 216628220446922752	Gaia EDR3 216718247257134848
Gaia EDR3 216701926381419264	Gaia EDR3 217336825626699008
Gaia EDR3 216678248226162944	Gaia EDR3 217440725180229376
Gaia EDR3 216725424145894400	Gaia EDR3 216678424320382336
Gaia EDR3 216700822573390336	Gaia EDR3 216705426778650624
Gaia EDR3 216636505439656960	Gaia EDR3 216573043001833344
Gaia EDR3 216681585416316032	Gaia EDR3 216686773735019264
Gaia EDR3 216719793443732224	Gaia EDR3 216679210297911680
Gaia EDR3 216694401598720768	Gaia EDR3 216702819734605696
Gaia EDR3 216448248433721600	Gaia EDR3 217457565747541120
Gaia EDR3 216693370806896000	Gaia EDR3 216703743151499136
Gaia EDR3 216705186260474112	Gaia EDR3 217090088346651136
Gaia EDR3 216701926379820032	Gaia EDR3 216710447596506880
Gaia EDR3 216653371774925440	Gaia EDR3 217347232331662976
Gaia EDR3 216662687560253696	Gaia EDR3 216618157339307904

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 216705048821756544	Gaia EDR3 217497350029143296
Gaia EDR3 216424677653262336	Gaia EDR3 216678527399593728
Gaia EDR3 216588436163846144	Gaia EDR3 216523530618074624
Gaia EDR3 217114724278866816	Gaia EDR3 216677840204841728
Gaia EDR3 216704670864439424	Gaia EDR3 216670384140089088
Gaia EDR3 216674159417196416	Gaia EDR3 217465876507610112
Gaia EDR3 216705705952959360	Gaia EDR3 216705190556558592
Gaia EDR3 216608948929500032	Gaia EDR3 216704434640663424
Gaia EDR3 216678115082741632	Gaia EDR3 216706633663947648
Gaia EDR3 217112108641646080	Gaia EDR3 216677908924315776
Gaia EDR3 216679966212425088	Gaia EDR3 216587405372443904
Gaia EDR3 216694672181012864	Gaia EDR3 217344041171754368
Gaia EDR3 217512330874313088	Gaia EDR3 216583454002562816
Gaia EDR3 216678389960645504	Gaia EDR3 216630114528244480
Gaia EDR3 216678458680119168	Gaia EDR3 216709038847230464
Gaia EDR3 216676328376452224	Gaia EDR3 217482850218656512
Gaia EDR3 217468182906663808	Gaia EDR3 216669211614679296
Gaia EDR3 216690175350832000	Gaia EDR3 216669658291208448
Gaia EDR3 216680515970990976	Gaia EDR3 217465464191127808
Gaia EDR3 216678458680119296	Gaia EDR3 216718693932112000
Gaia EDR3 216706942903208320	Gaia EDR3 216701995100897024
Gaia EDR3 217341975291902208	Gaia EDR3 216677114353881088
Gaia EDR3 216681688495523712	Gaia EDR3 216508790291102464
Gaia EDR3 216681447977358464	Gaia EDR3 217344281689920000
Gaia EDR3 216679210297924096	Gaia EDR3 216395781111219968
Gaia EDR3 217519825591924480	Gaia EDR3 216681516696832512
Gaia EDR3 216681344898144896	Gaia EDR3 216706732448557568
Gaia EDR3 216708248573262592	Gaia EDR3 216729139294155520
Gaia EDR3 216698760989269120	Gaia EDR3 216719033234629888
Gaia EDR3 216706732448736384	Gaia EDR3 216676912491904512
Gaia EDR3 216661519329152000	Gaia EDR3 216680348465744128
Gaia EDR3 216678454384591616	Gaia EDR3 216534422655935104
Gaia EDR3 216624582610447360	Gaia EDR3 216709515586972800

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 216695947786940288	Gaia EDR3 216682547488981248
Gaia EDR3 216678493039858688	Gaia EDR3 216649390341542400
Gaia EDR3 216681310538409216	Gaia EDR3 216676190937404160
Gaia EDR3 216524454036147072	Gaia EDR3 216678355600912128
Gaia EDR3 216678523104066944	Gaia EDR3 216681340602609792
Gaia EDR3 216675160145252992	Gaia EDR3 216673476518076288
Gaia EDR3 216681585416313216	Gaia EDR3 216679382096866944
Gaia EDR3 217466361840541952	Gaia EDR3 217088198561053440
Gaia EDR3 216704125403045120	Gaia EDR3 216681104379984768
Gaia EDR3 216714467686229760	Gaia EDR3 216674674813091072
Gaia EDR3 216724668231549056	Gaia EDR3 216586542083359232
Gaia EDR3 217526109129512704	Gaia EDR3 216725802102929408
Gaia EDR3 216678110787115776	Gaia EDR3 216576199802130432
Gaia EDR3 216572252727848320	Gaia EDR3 216483776401579008
Gaia EDR3 217358747139771264	Gaia EDR3 216723568719908992
Gaia EDR3 216681551056567424	Gaia EDR3 216590016712558080
Gaia EDR3 216704945742764928	Gaia EDR3 217867786664956544
Gaia EDR3 216720648142231936	Gaia EDR3 216573420958954112
Gaia EDR3 216589015984542080	Gaia EDR3 216679626911236352
Gaia EDR3 216695256295900672	Gaia EDR3 217416608939058816
Gaia EDR3 217479487260579456	Gaia EDR3 216677256089287296
Gaia EDR3 216682444409767936	Gaia EDR3 216674915331373440
Gaia EDR3 216701166170801664	Gaia EDR3 216648080375798144
Gaia EDR3 216710172718592640	Gaia EDR3 217441794627628544
Gaia EDR3 216678493039858560	Gaia EDR3 216590016712558208
Gaia EDR3 216727146429340416	Gaia EDR3 216688212549374208
Gaia EDR3 216626468100255872	Gaia EDR3 216678355600911488
Gaia EDR3 216648703146774016	Gaia EDR3 216712887137910272
Gaia EDR3 216681654135789696	Gaia EDR3 216716082593576960
Gaia EDR3 216585721745264896	Gaia EDR3 216626334955751552
Gaia EDR3 216731437100020096	Gaia EDR3 216678007707900416
Gaia EDR3 216694126720813696	Gaia EDR3 216701788942464768
Gaia EDR3 216714158448241792	Gaia EDR3 216704469002037888

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 216678145146947712	Gaia EDR3 216678389960646912
Gaia EDR3 216702029460632832	Gaia EDR3 216627812425858432
Gaia EDR3 216718522135040256	Gaia EDR3 216701960739556096
Gaia EDR3 216704881318894720	Gaia EDR3 216685154533294336
Gaia EDR3 216695844707719424	Gaia EDR3 216692099496268288
Gaia EDR3 216701956445523456	Gaia EDR3 217479414244568320
Gaia EDR3 216680623343650176	Gaia EDR3 216704984398132096
Gaia EDR3 216714467685880320	Gaia EDR3 216681207459196160
Gaia EDR3 216680928285636096	Gaia EDR3 216701926381421568
Gaia EDR3 216701376625602304	Gaia EDR3 216678316945547008
Gaia EDR3 216704503361774080	Gaia EDR3 216678660542082560
Gaia EDR3 217407469248673152	Gaia EDR3 216675125785515136
Gaia EDR3 216712337382175488	Gaia EDR3 217112108642285184
Gaia EDR3 217415715585859328	Gaia EDR3 216676736397001472
Gaia EDR3 217353657602966400	Gaia EDR3 216674743532567296
Gaia EDR3 216678493039859328	Gaia EDR3 216677698470254976
Gaia EDR3 217509032339351040	Gaia EDR3 216629113800122368
Gaia EDR3 216681929013704192	Gaia EDR3 216729963927870848
Gaia EDR3 216680756486417024	Gaia EDR3 216682513129243264
Gaia EDR3 216691927697575680	Gaia EDR3 216571836115337472
Gaia EDR3 216694710836359296	Gaia EDR3 216681237523246208
Gaia EDR3 216687387916289280	Gaia EDR3 216708798329066368
Gaia EDR3 216724775607405568	Gaia EDR3 216570324286846336
Gaia EDR3 217346167179746176	Gaia EDR3 216671822954988032
Gaia EDR3 216681791574735744	Gaia EDR3 216575890564466304
Gaia EDR3 217454748248970752	Gaia EDR3 216826755309673856
Gaia EDR3 216678935420000128	Gaia EDR3 216686773736734336
Gaia EDR3 216673162984386944	Gaia EDR3 216719243689547648
Gaia EDR3 216678012003529984	Gaia EDR3 216684467338526720
Gaia EDR3 216681482337093120	Gaia EDR3 216680790845911040
Gaia EDR3 216677530967199232	Gaia EDR3 216574172577545088
Gaia EDR3 216716902930786432	Gaia EDR3 216678286879869056
Gaia EDR3 216629874010076544	Gaia EDR3 217416608939059200

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 216587401076838144	Gaia EDR3 217481647627805568
Gaia EDR3 216702647935913344	Gaia EDR3 216680515968018304
Gaia EDR3 216707114701896576	Gaia EDR3 217046412821745920
Gaia EDR3 216643480466527744	Gaia EDR3 216680795141120256
Gaia EDR3 216677977643791232	Gaia EDR3 216700964308745600
Gaia EDR3 216681585416314368	Gaia EDR3 216692335718274816
Gaia EDR3 216705121837081600	Gaia EDR3 216588981624788480
Gaia EDR3 217483915370541184	Gaia EDR3 216676328376452352
Gaia EDR3 217114724278866944	Gaia EDR3 217450418921969792
Gaia EDR3 216676878132165632	Gaia EDR3 216697528334839936
Gaia EDR3 216651104032185600	Gaia EDR3 216656124850240128
Gaia EDR3 216704950038394240	Gaia EDR3 216576199802112896
Gaia EDR3 216682130875987968	Gaia EDR3 216696218369318784
Gaia EDR3 216588638027403904	Gaia EDR3 216702338698600064
Gaia EDR3 216647603635097856	Gaia EDR3 217092008195335424
Gaia EDR3 216695569829819520	Gaia EDR3 217505978618007296
Gaia EDR3 216678424320384128	Gaia EDR3 216677977642227456
Gaia EDR3 216701445345078144	Gaia EDR3 216395055261638144
Gaia EDR3 216680795142439936	Gaia EDR3 216627533252039552
Gaia EDR3 216681516696833408	Gaia EDR3 217058507450166528
Gaia EDR3 216712371741832576	Gaia EDR3 216719381127294336
Gaia EDR3 217458493460476928	Gaia EDR3 217104519434291200
Gaia EDR3 216705053117608960	Gaia EDR3 216677599686672512
Gaia EDR3 216701922085898112	Gaia EDR3 216712814121987712
Gaia EDR3 216418321101566464	Gaia EDR3 216678733556498432
Gaia EDR3 216681581120776576	Gaia EDR3 216681551054968576
Gaia EDR3 216682444409767552	Gaia EDR3 217876445317102976
Gaia EDR3 217348645376882816	Gaia EDR3 216681447977356544
Gaia EDR3 216680554624176000	Gaia EDR3 216667356188999296
Gaia EDR3 216721545790356864	Gaia EDR3 216675946123009536
Gaia EDR3 216677530967198208	Gaia EDR3 216587371012706048
Gaia EDR3 216706221348706432	Gaia EDR3 217447635783143168
Gaia EDR3 216679352033331840	Gaia EDR3 216681581120776704

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 216707247844807808	Gaia EDR3 216677492311821568
Gaia EDR3 216680692063125504	Gaia EDR3 216621004901747584
Gaia EDR3 216678149442478080	Gaia EDR3 216680859565397888
Gaia EDR3 216701033028221312	Gaia EDR3 216701131811299840
Gaia EDR3 216662992501225984	Gaia EDR3 216681443681826688
Gaia EDR3 216705156196822016	Gaia EDR3 217352592451052800
Gaia EDR3 217480037016442496	Gaia EDR3 216677492310994816
Gaia EDR3 216702613576176896	Gaia EDR3 217445230601469568
Gaia EDR3 216617641943232000	Gaia EDR3 216678389960646400
Gaia EDR3 216678252521690624	Gaia EDR3 216683578281158400
Gaia EDR3 216701406688870400	Gaia EDR3 216614034170704256
Gaia EDR3 216694225503544320	Gaia EDR3 216729890911901184
Gaia EDR3 216630144591496832	Gaia EDR3 216667150030373376
Gaia EDR3 216682444409768320	Gaia EDR3 216716250095746816
Gaia EDR3 216711237870475904	Gaia EDR3 216702403121654912
Gaia EDR3 216721442712788480	Gaia EDR3 216694298519511168
Gaia EDR3 217524803459791872	Gaia EDR3 216685051453693440
Gaia EDR3 216701033028221440	Gaia EDR3 216303864516006272
Gaia EDR3 217882595712752384	Gaia EDR3 216714119791948416
Gaia EDR3 216706186988968832	Gaia EDR3 216679420752810368
Gaia EDR3 216707011622683392	Gaia EDR3 216601488570564224
Gaia EDR3 216682547488981504	Gaia EDR3 216676775052953600
Gaia EDR3 216678385665110912	Gaia EDR3 217882453976093824
Gaia EDR3 216677565326935808	Gaia EDR3 216522564250535808
Gaia EDR3 216678321241170432	Gaia EDR3 216811705744390272
Gaia EDR3 216676775052953216	Gaia EDR3 216703777511635968
Gaia EDR3 216727627465671552	Gaia EDR3 216667802865507712
Gaia EDR3 217363557503130240	Gaia EDR3 216677767189697024
Gaia EDR3 216705839095932288	Gaia EDR3 216675980482752768
Gaia EDR3 216654235064559232	Gaia EDR3 216676981209823232
Gaia EDR3 216681688495526016	Gaia EDR3 216675744260806784
Gaia EDR3 216706324427926912	Gaia EDR3 216677943284055808
Gaia EDR3 216694195440291328	Gaia EDR3 216834177015978368

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 216613999810965760	Gaia EDR3 216680722127208320

TABELLE B.2: Die 357 identifizierten Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden Stern ist der dazugehörige EDR3-Name aufgeführt.

Name	Name
Gaia EDR3 3222246609065470464	Gaia EDR3 3222097492096375040
Gaia EDR3 3222060589737379840	Gaia EDR3 3222057497360932864
Gaia EDR3 3235861109933499264	Gaia EDR3 3222274650907612160
Gaia EDR3 3234373161463484160	Gaia EDR3 3221989014107086976
Gaia EDR3 3235840047413966080	Gaia EDR3 3222205377379681152
Gaia EDR3 3222227539411496960	Gaia EDR3 3234328528163438720
Gaia EDR3 3222264136827631616	Gaia EDR3 3222104260964662528
Gaia EDR3 3222028493446893824	Gaia EDR3 3222154941578772352
Gaia EDR3 3222001628426854912	Gaia EDR3 3222215586517327872
Gaia EDR3 3222253760186712960	Gaia EDR3 3222310419395153664
Gaia EDR3 3222098587312676224	Gaia EDR3 3222218331001104256
Gaia EDR3 3222001628426857600	Gaia EDR3 3222276330238275968
Gaia EDR3 3222165417003026944	Gaia EDR3 3222215341703860736
Gaia EDR3 3222090787651218688	Gaia EDR3 3234310759882935168
Gaia EDR3 3234269360693715712	Gaia EDR3 3221898652290681344
Gaia EDR3 3222318489638285696	Gaia EDR3 3222182051412540800
Gaia EDR3 3223756586423390336	Gaia EDR3 3222161091971876352
Gaia EDR3 3234191673325456384	Gaia EDR3 3222188682842347520
Gaia EDR3 3221901950825492992	Gaia EDR3 3222288287427252864
Gaia EDR3 3222244375682864000	Gaia EDR3 3222279426911243776
Gaia EDR3 3221979569473454464	Gaia EDR3 3222279113377080192
Gaia EDR3 3222220534319772800	Gaia EDR3 3222176996235039232
Gaia EDR3 3222059043549156096	Gaia EDR3 3222263861949739136
Gaia EDR3 3222258501830719616	Gaia EDR3 3222127007111508736
Gaia EDR3 3222267297923540864	Gaia EDR3 3223825718216820096
Gaia EDR3 3222174595349093632	Gaia EDR3 3222275990937384960

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 3222216033194504192	Gaia EDR3 3221996611904868736
Gaia EDR3 3222135012930721792	Gaia EDR3 3222261903444669568
Gaia EDR3 3222149753258286592	Gaia EDR3 3222217235784753664
Gaia EDR3 3222164905902845952	Gaia EDR3 3223809633563030144
Gaia EDR3 3222250526076158080	Gaia EDR3 3234193283936882432
Gaia EDR3 3222211046735708416	Gaia EDR3 3222268844111791616
Gaia EDR3 3222059627664703360	Gaia EDR3 3222317497501220736
Gaia EDR3 3222109174407199616	Gaia EDR3 3234343332914813952
Gaia EDR3 3222255439517359872	Gaia EDR3 3222104016151525504
Gaia EDR3 3222225550841584256	Gaia EDR3 3222263518352361088
Gaia EDR3 3222001143095911424	Gaia EDR3 3222276300175040640
Gaia EDR3 3234378933899538560	Gaia EDR3 3222251870401142912
Gaia EDR3 3222176313336004224	Gaia EDR3 3222225546546615680
Gaia EDR3 3222177069250229632	Gaia EDR3 3222311587626520832
Gaia EDR3 3222258811068221184	Gaia EDR3 3222210363837122048
Gaia EDR3 3234327291212953472	Gaia EDR3 3222275887858172288
Gaia EDR3 3234366220796337664	Gaia EDR3 3234289048824132480
Gaia EDR3 3222069003577682176	Gaia EDR3 3222227784224558976
Gaia EDR3 3221897724577734144	Gaia EDR3 3234295916475624448
Gaia EDR3 3222174698428319232	Gaia EDR3 3222272761122028416
Gaia EDR3 3234214041515130880	Gaia EDR3 3222084847712658944
Gaia EDR3 3221876868216610944	Gaia EDR3 3222158996027851904
Gaia EDR3 3222098003196689664	Gaia EDR3 3221988193769157632
Gaia EDR3 3222268122555927936	Gaia EDR3 3222257123144852352
Gaia EDR3 3222159958100534784	Gaia EDR3 3221889340801526272
Gaia EDR3 3221885629949828992	Gaia EDR3 3223826607274242688
Gaia EDR3 3222114225288734464	Gaia EDR3 3222200983628652544
Gaia EDR3 3222068320679029376	Gaia EDR3 3222208130454146048
Gaia EDR3 3234343818246999040	Gaia EDR3 3222303650526671360
Gaia EDR3 3222100481393452032	Gaia EDR3 3222160885813451776
Gaia EDR3 3222124773728535936	Gaia EDR3 3222274444749189632
Gaia EDR3 3222264308626333184	Gaia EDR3 3222200502592325504
Gaia EDR3 3234185518635945216	Gaia EDR3 3234256166552973696

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 3222238431448061568	Gaia EDR3 3223829218615069312
Gaia EDR3 3222263312193940096	Gaia EDR3 3221893601409082112
Gaia EDR3 3234338282032950400	Gaia EDR3 3221900645155440768
Gaia EDR3 3221979569474891264	Gaia EDR3 3222106082030944000
Gaia EDR3 3221899094671357056	Gaia EDR3 3234341546207980160
Gaia EDR3 3234361101195331712	Gaia EDR3 3222177481567112064
Gaia EDR3 3222127350708887040	Gaia EDR3 3223808126030775168
Gaia EDR3 3222267705944477440	Gaia EDR3 3222268259996196992
Gaia EDR3 3222274410389453824	Gaia EDR3 3234329795177446784
Gaia EDR3 3222256062289164800	Gaia EDR3 3234338282033125760
Gaia EDR3 3234309763450545408	Gaia EDR3 3223825855655767424
Gaia EDR3 3222292140014347264	Gaia EDR3 3221894529122122240
Gaia EDR3 3234343440289881984	Gaia EDR3 3234344368002824064
Gaia EDR3 3222164149988616448	Gaia EDR3 3222281282337103872
Gaia EDR3 3234183800648985984	Gaia EDR3 3222099686824367104
Gaia EDR3 3222324227715710208	Gaia EDR3 3223828565779377664
Gaia EDR3 3234295817692567680	Gaia EDR3 3222277468406179328
Gaia EDR3 3222001147390504320	Gaia EDR3 3223808950664495488
Gaia EDR3 3222263582775801088	Gaia EDR3 3222059627664703104
Gaia EDR3 3222239294736922240	Gaia EDR3 3234260049204669184
Gaia EDR3 3222088421125524096	Gaia EDR3 3222237885987655424
Gaia EDR3 3222202422441906688	Gaia EDR3 3222100481393451904
Gaia EDR3 3222282691086558464	Gaia EDR3 3223808499691838080
Gaia EDR3 3222113087121507456	Gaia EDR3 3222098488528635392
Gaia EDR3 3222202044485561856	Gaia EDR3 3222287329651238528
Gaia EDR3 3222261010091505280	Gaia EDR3 3222293136446741888
Gaia EDR3 3234343367274551936	Gaia EDR3 3222311587626257664
Gaia EDR3 3234312104208572800	Gaia EDR3 3222112679100511616
Gaia EDR3 3234192360520220928	Gaia EDR3 3234328661306052096
Gaia EDR3 3222064261933698560	Gaia EDR3 3223823136941554304
Gaia EDR3 3222209161246268800	Gaia EDR3 3222100756271349120
Gaia EDR3 3234213143866043520	Gaia EDR3 3234345776752112640
Gaia EDR3 3221899197750567296	Gaia EDR3 3222268363075460224

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 3222107903097070976	Gaia EDR3 3222267435362486912
Gaia EDR3 3234178238667788544	Gaia EDR3 3234305266620589440
Gaia EDR3 3222259150369098496	Gaia EDR3 3222202422443121792
Gaia EDR3 3222269703105454976	Gaia EDR3 3222275196367385472
Gaia EDR3 3234295130497815424	Gaia EDR3 3223809672218996992
Gaia EDR3 3234356428270950528	Gaia EDR3 3234192596742088192
Gaia EDR3 3234289766082573312	Gaia EDR3 3222293273885688192
Gaia EDR3 3234343371570404736	Gaia EDR3 3222265648656113152
Gaia EDR3 3222052480839172224	Gaia EDR3 3234295401079557632
Gaia EDR3 3222177030594592256	Gaia EDR3 3222306502384919936
Gaia EDR3 3222121921870275456	Gaia EDR3 3222001417972691328
Gaia EDR3 3222237611109748992	Gaia EDR3 3222258845427956352
Gaia EDR3 3234316708413476608	Gaia EDR3 3222186445164181888
Gaia EDR3 3234347043766624256	Gaia EDR3 3235842448299156608
Gaia EDR3 3222286500721462784	Gaia EDR3 3234290247118920320
Gaia EDR3 3223803723688113664	Gaia EDR3 3222178615438444928
Gaia EDR3 3222064884704575232	Gaia EDR3 3223821354530049536
Gaia EDR3 3222286505017306240	Gaia EDR3 3222193420190411776
Gaia EDR3 3234342787454865152	Gaia EDR3 3234373019729169536
Gaia EDR3 3234352820498417024	Gaia EDR3 3221896655129937408
Gaia EDR3 3234348869128542080	Gaia EDR3 3222214864963030912
Gaia EDR3 3222166894471985408	Gaia EDR3 3222161332490027392
Gaia EDR3 3234297943699785984	Gaia EDR3 3222266954326138368
Gaia EDR3 3221893597113203712	Gaia EDR3 3222264342986065152
Gaia EDR3 3222110411357812736	Gaia EDR3 3223828428340495360
Gaia EDR3 3222161023252401280	Gaia EDR3 3222064330653186048
Gaia EDR3 3222289459954786560	Gaia EDR3 3222072168969090176
Gaia EDR3 3235838844823124736	Gaia EDR3 3222282278769474304
Gaia EDR3 3222084843416897664	Gaia EDR3 3234374192255611520
Gaia EDR3 3222268122557250304	Gaia EDR3 3222163531513310464
Gaia EDR3 3234302311683109120	Gaia EDR3 3234361272994021632
Gaia EDR3 3222157003163047296	Gaia EDR3 3222209882800772096
Gaia EDR3 3222296533765111680	Gaia EDR3 3222279289472295680

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 3222083228508741248	Gaia EDR3 3222191328542214144
Gaia EDR3 3222274303014156928	Gaia EDR3 3222156998869049472
Gaia EDR3 3235843414668244608	Gaia EDR3 3222261594207038464
Gaia EDR3 3222180402144875648	Gaia EDR3 3221891913486004736
Gaia EDR3 3234408689433510784	Gaia EDR3 3222225855783787392
Gaia EDR3 3222166417731327360	Gaia EDR3 3222096117706808960
Gaia EDR3 3222289288156323328	Gaia EDR3 3222109689803454848
Gaia EDR3 3222180402144875520	Gaia EDR3 3222257471038421504
Gaia EDR3 3222167070566339712	Gaia EDR3 3223809358685334528
Gaia EDR3 3222275406821845248	Gaia EDR3 3223805102373785856
Gaia EDR3 3222165215140482688	Gaia EDR3 3223757028803665792
Gaia EDR3 3234398450230884352	Gaia EDR3 3222088588627933056
Gaia EDR3 3222109135751905408	Gaia EDR3 3223737615553348224
Gaia EDR3 3222256131008632960	Gaia EDR3 3222264583502932352
Gaia EDR3 3222264824022390656	Gaia EDR3 3222286127060186368
Gaia EDR3 3222239153002250368	Gaia EDR3 3222257574117634560
Gaia EDR3 3222283550078511872	Gaia EDR3 3222248052174919040
Gaia EDR3 3222264755302908672	Gaia EDR3 3222191221167193216
Gaia EDR3 3223755173377744512	Gaia EDR3 3222056191690867840
Gaia EDR3 3222255959210123904	Gaia EDR3 3234334197520236544
Gaia EDR3 3222281625934472704	Gaia EDR3 3222256474606032896
Gaia EDR3 3234330241854055936	Gaia EDR3 3221892085284081536
Gaia EDR3 3222211119751347584	Gaia EDR3 3222191088024043264
Gaia EDR3 3221898751074876416	Gaia EDR3 3222229742728439168
Gaia EDR3 3223803453106356480	Gaia EDR3 3222248159549384064
Gaia EDR3 3222158446272050688	Gaia EDR3 3221898751074875264
Gaia EDR3 3234194039851131008	Gaia EDR3 3222207404603347584
Gaia EDR3 3222167173645551872	Gaia EDR3 3222090925090177152
Gaia EDR3 3234302174244150912	Gaia EDR3 3222214757588287488
Gaia EDR3 3222261555551168384	Gaia EDR3 3222200704455738624
Gaia EDR3 3222293991145154432	Gaia EDR3 3235856814966199552
Gaia EDR3 3222293132151679744	Gaia EDR3 3223823343099984256
Gaia EDR3 3222099274507005056	Gaia EDR3 3222227264533579776

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 3222207713841002624	Gaia EDR3 3222200983628652928
Gaia EDR3 3222111064192824192	Gaia EDR3 3222240050651159296
Gaia EDR3 3222296675499816704	Gaia EDR3 3234349277153800576
Gaia EDR3 3222255095922312064	Gaia EDR3 3221899232110308608
Gaia EDR3 3234343367275929856	Gaia EDR3 3223836060498019584
Gaia EDR3 3222098419809165568	Gaia EDR3 3234338178953736576
Gaia EDR3 3222094601582580608	Gaia EDR3 3222260975731762560
Gaia EDR3 3222178787237127296	Gaia EDR3 3222184353514745344
Gaia EDR3 3222309216804323712	Gaia EDR3 3235850939450931456
Gaia EDR3 3234292587877160064	Gaia EDR3 3222284095539769984
Gaia EDR3 3222223901574117248	Gaia EDR3 3223756238529656448
Gaia EDR3 3222193802443389696	Gaia EDR3 3222147584300011648
Gaia EDR3 3222143740304082944	Gaia EDR3 3222218159201614336
Gaia EDR3 3234212083010030208	Gaia EDR3 3222078246347500288
Gaia EDR3 3221894563481860352	Gaia EDR3 3222181256842634240
Gaia EDR3 3222203320090905344	Gaia EDR3 3222182532448577280
Gaia EDR3 3234356733213504896	Gaia EDR3 3222122329891843712
Gaia EDR3 3222165898039362304	Gaia EDR3 3222306291931030912
Gaia EDR3 3222302791533192448	Gaia EDR3 3222239294735775488
Gaia EDR3 3222317218327945216	Gaia EDR3 3223821281515446272
Gaia EDR3 3221891329371974912	

TABELLE B.3: Die 88 identifizierten Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-2 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden Stern ist der dazugehörige EDR3-Name aufgeführt.

Name	Name
Gaia EDR3 3234311932409738624	Gaia EDR3 3222304131563647616
Gaia EDR3 3222162191483506432	Gaia EDR3 3223807438835978752
Gaia EDR3 3222162191483504512	Gaia EDR3 3221889783182228480
Gaia EDR3 3222180814461726976	Gaia EDR3 3222083572106136704
Gaia EDR3 3221894838359764480	Gaia EDR3 3221884942755086208
Gaia EDR3 3221891402385833728	Gaia EDR3 3221894116805874944
Gaia EDR3 3222235510870849664	Gaia EDR3 3222263896309479040
Gaia EDR3 3221991492304271872	Gaia EDR3 3222082236372524928

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 3222205549177488384	Gaia EDR3 3222006331415401472
Gaia EDR3 3222230391269791616	Gaia EDR3 3222234617517636864
Gaia EDR3 3222187029279724544	Gaia EDR3 3234399446663905792
Gaia EDR3 3222092539997867520	Gaia EDR3 3222232525868410880
Gaia EDR3 3222310793055879552	Gaia EDR3 3222090306614870016
Gaia EDR3 3222000631994438912	Gaia EDR3 3222111884531838720
Gaia EDR3 3222254928417822976	Gaia EDR3 3223757509839999872
Gaia EDR3 3222244105100108160	Gaia EDR3 3222284958829062144
Gaia EDR3 3222237370591517696	Gaia EDR3 3221992381360651136
Gaia EDR3 3221885561230362368	Gaia EDR3 3222263071674525568
Gaia EDR3 3235857222986689920	Gaia EDR3 3222040008254502400
Gaia EDR3 3222187716474889728	Gaia EDR3 3222299248185151616
Gaia EDR3 3223750569174020608	Gaia EDR3 3222159064747329280
Gaia EDR3 3221894490466423552	Gaia EDR3 3222041588802451072
Gaia EDR3 3222198750245675008	Gaia EDR3 3222218434080326528
Gaia EDR3 3222224348250710784	Gaia EDR3 3222075158266337152
Gaia EDR3 3222242829494252672	Gaia EDR3 3222268328715675904
Gaia EDR3 3222234175135865856	Gaia EDR3 3222260971435233536
Gaia EDR3 3222239530959708800	Gaia EDR3 3222192393692983296
Gaia EDR3 3222088249326732928	Gaia EDR3 3222240046355774976
Gaia EDR3 3222235201632978304	Gaia EDR3 3223804960638725888
Gaia EDR3 3223822179163771136	Gaia EDR3 3222252312782532608
Gaia EDR3 3222005850379249408	Gaia EDR3 3222245165956891008
Gaia EDR3 3222032620910665856	Gaia EDR3 3222081888480898048
Gaia EDR3 3222214761883816192	Gaia EDR3 3222102508618645632
Gaia EDR3 3222243344890328576	Gaia EDR3 3222208955087851648
Gaia EDR3 3222316393693350656	Gaia EDR3 3222254172503590272
Gaia EDR3 3222002384341073152	Gaia EDR3 3221992179498864256
Gaia EDR3 3222302104338407680	Gaia EDR3 3222069248391346560
Gaia EDR3 3222232079191819136	Gaia EDR3 3222158270177514496
Gaia EDR3 3222196443848108544	Gaia EDR3 3222276643772420096
Gaia EDR3 3222324365153595008	Gaia EDR3 3222249460924229120
Gaia EDR3 3222034407617167488	Gaia EDR3 3222253377934140800

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 3222216995266598016	Gaia EDR3 3221982210878750976
Gaia EDR3 3222306193147280000	Gaia EDR3 3222197925611938304
Gaia EDR3 3222256573389003136	Gaia EDR3 3222223725480503552

TABELLE B.4: Die 1939 identifizierten Mitglieder des Sternhaufens Trumpler 37 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden Stern ist der dazugehörige EDR3-Name aufgeführt.

Name	Name
Gaia EDR3 2178459295738733696	Gaia EDR3 2178381539664446080
Gaia EDR3 2178451637829170176	Gaia EDR3 2178441055029170688
Gaia EDR3 2178374603296302336	Gaia EDR3 2178397310774950656
Gaia EDR3 2178380959844995584	Gaia EDR3 2178365459291565824
Gaia EDR3 2178482419841587328	Gaia EDR3 2178388106669878272
Gaia EDR3 2178461258555548416	Gaia EDR3 2178348004547844992
Gaia EDR3 2178381917621614208	Gaia EDR3 2178400063859655168
Gaia EDR3 2178550658283247232	Gaia EDR3 2178450160360276480
Gaia EDR3 2178475758358797440	Gaia EDR3 2178482110603992320
Gaia EDR3 2178377626950114176	Gaia EDR3 2178399101787009280
Gaia EDR3 2178481805672983296	Gaia EDR3 2178401575688130560
Gaia EDR3 2178440402194073728	Gaia EDR3 2178379929052634240
Gaia EDR3 2178367731344551680	Gaia EDR3 2178398410286174848
Gaia EDR3 2178441536065494656	Gaia EDR3 2178397074550730368
Gaia EDR3 2178382467377143552	Gaia EDR3 2178398036634850432
Gaia EDR3 2178397452507809152	Gaia EDR3 2178441914022611456
Gaia EDR3 2178270488980539264	Gaia EDR3 2178433903891607552
Gaia EDR3 2178363054109363840	Gaia EDR3 2178402400321563904
Gaia EDR3 2178368517308384512	Gaia EDR3 2178485752740451840
Gaia EDR3 2178417209370305920	Gaia EDR3 2178443219693138688
Gaia EDR3 2178403087516615552	Gaia EDR3 2178499466578436608
Gaia EDR3 2178383124508754432	Gaia EDR3 2178479567983254784
Gaia EDR3 2178452187584983424	Gaia EDR3 2178402911411230976
Gaia EDR3 2178494931093089920	Gaia EDR3 2178547772065139712
Gaia EDR3 2178383944836698496	Gaia EDR3 2178385357891450624

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178470192087810688	Gaia EDR3 2178401708821060608
Gaia EDR3 2178414185713153536	Gaia EDR3 2178398655110430080
Gaia EDR3 2178417862205322624	Gaia EDR3 2178391680083024640
Gaia EDR3 2178289184979163904	Gaia EDR3 2178388136719024768
Gaia EDR3 2178546367615241984	Gaia EDR3 2178193252595614592
Gaia EDR3 2178284237176692736	Gaia EDR3 2178442876095465472
Gaia EDR3 2178186140129665536	Gaia EDR3 2178495236024264064
Gaia EDR3 2178467546387830144	Gaia EDR3 2178396937123251840
Gaia EDR3 2178460154732315136	Gaia EDR3 2178444899007898368
Gaia EDR3 2178374289743608704	Gaia EDR3 2178465209925445376
Gaia EDR3 2178495236024256896	Gaia EDR3 2178382574752714240
Gaia EDR3 2178440677072045568	Gaia EDR3 2178417170698566016
Gaia EDR3 2178366696242049408	Gaia EDR3 2178397143281700992
Gaia EDR3 2178372885306035328	Gaia EDR3 2178396211258680448
Gaia EDR3 2178546638193565056	Gaia EDR3 2178397246361356928
Gaia EDR3 2178548802860399488	Gaia EDR3 2178396353007615360
Gaia EDR3 2178286672417029120	Gaia EDR3 2178494243898242816
Gaia EDR3 2178422706920345856	Gaia EDR3 2178394768154306432
Gaia EDR3 2178497778644868352	Gaia EDR3 2178395425294441344
Gaia EDR3 2178445178197739008	Gaia EDR3 2178389962095900160
Gaia EDR3 2178382471673483520	Gaia EDR3 2178483351861207296
Gaia EDR3 2178295335372344576	Gaia EDR3 2178551551636632064
Gaia EDR3 2178190332017712768	Gaia EDR3 2178401811899531392
Gaia EDR3 2178452050146031360	Gaia EDR3 2178442669938739712
Gaia EDR3 2178403907843648128	Gaia EDR3 2178499943308939648
Gaia EDR3 2178285749005181312	Gaia EDR3 2178395592783171712
Gaia EDR3 2178158858496606592	Gaia EDR3 2178441707864184704
Gaia EDR3 2178366696242011776	Gaia EDR3 2178399372359292544
Gaia EDR3 2178370995520421120	Gaia EDR3 2178551448560031744
Gaia EDR3 2178402434681301120	Gaia EDR3 2178383601237749632
Gaia EDR3 2178482767745675264	Gaia EDR3 2178287089034809088
Gaia EDR3 2178351650987060096	Gaia EDR3 2178421843628128000
Gaia EDR3 2178382128064759296	Gaia EDR3 2178403156236097792

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178402606480442880	Gaia EDR3 2178401914979488896
Gaia EDR3 2178369655490054144	Gaia EDR3 2178397310774613120
Gaia EDR3 2178433942562826112	Gaia EDR3 2178395627142933504
Gaia EDR3 2178550520847042944	Gaia EDR3 2178183047752913792
Gaia EDR3 2178482149270357504	Gaia EDR3 2178378485943554688
Gaia EDR3 2178395867672132864	Gaia EDR3 2178479396184557824
Gaia EDR3 2178366593162083456	Gaia EDR3 2178397997968403840
Gaia EDR3 2178456619991196160	Gaia EDR3 2178506471659488128
Gaia EDR3 2178390954221057152	Gaia EDR3 2178385976367027200
Gaia EDR3 2178488986858449920	Gaia EDR3 2178398719524261120
Gaia EDR3 2178284718213059712	Gaia EDR3 2178385460970715904
Gaia EDR3 2178496236763198080	Gaia EDR3 2178396421726960128
Gaia EDR3 2178484829330132608	Gaia EDR3 2178495515208575616
Gaia EDR3 2178549528718979968	Gaia EDR3 2178479606649759360
Gaia EDR3 2178476509966375040	Gaia EDR3 2178286401840376960
Gaia EDR3 2178178684066205184	Gaia EDR3 2178290799886849792
Gaia EDR3 2178471188520067712	Gaia EDR3 2178393947825443584
Gaia EDR3 2178480465643033600	Gaia EDR3 2178347630897720960
Gaia EDR3 2178184215984035840	Gaia EDR3 2178397207695003520
Gaia EDR3 2178290417638388608	Gaia EDR3 2178347832747653888
Gaia EDR3 2178456585631463296	Gaia EDR3 2178392470356728576
Gaia EDR3 2178499329126796288	Gaia EDR3 2178493694142261888
Gaia EDR3 2178180058455902080	Gaia EDR3 2178284164151439744
Gaia EDR3 2178372468677398016	Gaia EDR3 2178382574752711680
Gaia EDR3 2178422260251808000	Gaia EDR3 2178496679133337856
Gaia EDR3 2178460537000878592	Gaia EDR3 2178381062924270464
Gaia EDR3 2178498745023772672	Gaia EDR3 2178382467366415104
Gaia EDR3 2178433873834903296	Gaia EDR3 2178493689835833216
Gaia EDR3 2178420812832420480	Gaia EDR3 2178391954960918400
Gaia EDR3 2178415761954415744	Gaia EDR3 2178376115121361664
Gaia EDR3 2178186376339776128	Gaia EDR3 2178401743180015872
Gaia EDR3 2178380891125536640	Gaia EDR3 2178386491766048256
Gaia EDR3 2178463079621500672	Gaia EDR3 2178563543185420416

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178379722894206080	Gaia EDR3 2178397757451142784
Gaia EDR3 2178443077941887232	Gaia EDR3 2178457474676535296
Gaia EDR3 2178455039442915456	Gaia EDR3 2178449232647211136
Gaia EDR3 2178494342670858752	Gaia EDR3 2178547394107917312
Gaia EDR3 2178479671062518144	Gaia EDR3 2178397693040671744
Gaia EDR3 2178396112489455744	Gaia EDR3 2178498332707088384
Gaia EDR3 2178372576068375552	Gaia EDR3 2178384425871508480
Gaia EDR3 2178368109287383296	Gaia EDR3 2178398517671194752
Gaia EDR3 2178494724934401920	Gaia EDR3 2178287089027751680
Gaia EDR3 2178484279574269824	Gaia EDR3 2178490017650586880
Gaia EDR3 2178447514660235136	Gaia EDR3 2178478610220814976
Gaia EDR3 2178503211777738752	Gaia EDR3 2178441982742086784
Gaia EDR3 2178402602173539584	Gaia EDR3 2178371270398099328
Gaia EDR3 2178402155496902656	Gaia EDR3 2178384705056184448
Gaia EDR3 2178289700375240448	Gaia EDR3 2178450160360276352
Gaia EDR3 2178192324882702464	Gaia EDR3 2178450022921322240
Gaia EDR3 2178500840955721216	Gaia EDR3 2178489124297392128
Gaia EDR3 2178462976542283776	Gaia EDR3 2178455073802811776
Gaia EDR3 2178441085076769664	Gaia EDR3 2178445075118532864
Gaia EDR3 2178446312069094784	Gaia EDR3 2178482080550883328
Gaia EDR3 2178449503215746176	Gaia EDR3 2178396937111732992
Gaia EDR3 2178187892476319744	Gaia EDR3 2178496301176239616
Gaia EDR3 2178180092815481600	Gaia EDR3 2178442876095464192
Gaia EDR3 2178400922852859136	Gaia EDR3 2178404629398827392
Gaia EDR3 2178187136562071168	Gaia EDR3 2178395322215236864
Gaia EDR3 2178376935443457024	Gaia EDR3 2178376012042127232
Gaia EDR3 2178498435773638784	Gaia EDR3 2178417278089777664
Gaia EDR3 2178365356212200192	Gaia EDR3 2178396142543875840
Gaia EDR3 2178478129180868352	Gaia EDR3 2178371579635944704
Gaia EDR3 2178479091241191168	Gaia EDR3 2178469573612542336
Gaia EDR3 2178191495940975488	Gaia EDR3 2178391881932722560
Gaia EDR3 2178180573851823360	Gaia EDR3 2178444250484986752
Gaia EDR3 2178378619070696064	Gaia EDR3 2178287604430869760

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178181737772635264	Gaia EDR3 2178449984252834560
Gaia EDR3 2178446690026347136	Gaia EDR3 2178295743384177408
Gaia EDR3 2178466854884884864	Gaia EDR3 2178446002831454848
Gaia EDR3 2178351268723032832	Gaia EDR3 2178416006779258368
Gaia EDR3 2178367864473075072	Gaia EDR3 2178500669172852352
Gaia EDR3 2178366112126180224	Gaia EDR3 2178468267942310144
Gaia EDR3 2178445453075794432	Gaia EDR3 2178464758937300224
Gaia EDR3 2178419438441348736	Gaia EDR3 2178399887754624768
Gaia EDR3 2178467782598129792	Gaia EDR3 2178394905589709312
Gaia EDR3 2178494724921494144	Gaia EDR3 2178386663564738304
Gaia EDR3 2178393565558364160	Gaia EDR3 2178495549568315776
Gaia EDR3 2178399273585715840	Gaia EDR3 2178480843600160128
Gaia EDR3 2178182253167942912	Gaia EDR3 2178442837424751232
Gaia EDR3 2178467271509917568	Gaia EDR3 2178401025932067200
Gaia EDR3 2178387690042086144	Gaia EDR3 2178462048829526016
Gaia EDR3 2178351410468899968	Gaia EDR3 2178483832897548672
Gaia EDR3 2178367868783528576	Gaia EDR3 2178397899195900032
Gaia EDR3 2178484176494920064	Gaia EDR3 2178454485379657216
Gaia EDR3 2178183352679627008	Gaia EDR3 2178495888859365248
Gaia EDR3 2178493316185151104	Gaia EDR3 2178394669380222592
Gaia EDR3 2178346595798294912	Gaia EDR3 2178419305314121856
Gaia EDR3 2178456482552251648	Gaia EDR3 2178401953633393152
Gaia EDR3 2178490017650584832	Gaia EDR3 2178414872907912704
Gaia EDR3 2178193179568225024	Gaia EDR3 2178548497919287680
Gaia EDR3 2178479602342997120	Gaia EDR3 2178449438799259520
Gaia EDR3 2178467782598133376	Gaia EDR3 2178399067416157696
Gaia EDR3 2178493487983834624	Gaia EDR3 2178479263039860480
Gaia EDR3 2178392534776866816	Gaia EDR3 2178368659057665920
Gaia EDR3 2178445006399056512	Gaia EDR3 2178442837423732096
Gaia EDR3 2178455035134868480	Gaia EDR3 2178188815881309824
Gaia EDR3 2178550834388925952	Gaia EDR3 2178484794958206592
Gaia EDR3 2178448236214578048	Gaia EDR3 2178482011831232000
Gaia EDR3 2178282450470160256	Gaia EDR3 2178465171256141824

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178497576792678784	Gaia EDR3 2178398105354353664
Gaia EDR3 2178485512218060288	Gaia EDR3 2178499500938172416
Gaia EDR3 2178467271509916288	Gaia EDR3 2178402327296352768
Gaia EDR3 2178475788411822848	Gaia EDR3 2178500286908983808
Gaia EDR3 2178396559169235584	Gaia EDR3 2178190916133246976
Gaia EDR3 2178468302302053888	Gaia EDR3 2178393054472271872
Gaia EDR3 2178183936795207168	Gaia EDR3 2178476136316068992
Gaia EDR3 2178548596698997888	Gaia EDR3 2178380341357735808
Gaia EDR3 2178390305681646464	Gaia EDR3 2178547707652750720
Gaia EDR3 2178485688323581184	Gaia EDR3 2178381677093572736
Gaia EDR3 2178479636703182720	Gaia EDR3 2178443769448645376
Gaia EDR3 2178401575688130048	Gaia EDR3 2178189369945226112
Gaia EDR3 2178187858110983552	Gaia EDR3 2178383120212481664
Gaia EDR3 2178435591822189312	Gaia EDR3 2178549528718980608
Gaia EDR3 2178449507525109248	Gaia EDR3 2178443185333123584
Gaia EDR3 2178441226827861248	Gaia EDR3 2178284477688093184
Gaia EDR3 2178400819776845440	Gaia EDR3 2178383773046871936
Gaia EDR3 2178384395818554752	Gaia EDR3 2178488952498713984
Gaia EDR3 2178420714063592320	Gaia EDR3 2178484657531442560
Gaia EDR3 2178284374615681792	Gaia EDR3 2178392161119102848
Gaia EDR3 2178453042270059776	Gaia EDR3 2178480461336365824
Gaia EDR3 2178494450056501376	Gaia EDR3 2178461086750311040
Gaia EDR3 2178347733976931072	Gaia EDR3 2178270184043589376
Gaia EDR3 2178442322028512512	Gaia EDR3 2178549288200817664
Gaia EDR3 2178377382120085760	Gaia EDR3 2178496236763199616
Gaia EDR3 2178449228338929152	Gaia EDR3 2178461872719263744
Gaia EDR3 2178420675393462528	Gaia EDR3 2178447961336836096
Gaia EDR3 2178347493458766720	Gaia EDR3 2178499634074774912
Gaia EDR3 2178389790297156736	Gaia EDR3 2178391370845371008
Gaia EDR3 2178385151733030528	Gaia EDR3 2178375702792259968
Gaia EDR3 2178270836871618304	Gaia EDR3 2178443116606940800
Gaia EDR3 2178378417224088832	Gaia EDR3 2178503074351123200
Gaia EDR3 2178399853394355712	Gaia EDR3 2178485619604106112

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178346630160788992	Gaia EDR3 2178450637088253696
Gaia EDR3 2178421366898744320	Gaia EDR3 2178174182940729216
Gaia EDR3 2178375874603024384	Gaia EDR3 2178494583189075328
Gaia EDR3 2178189954060589696	Gaia EDR3 2178455486119679104
Gaia EDR3 2178383365014654976	Gaia EDR3 2178434457959074176
Gaia EDR3 2178401266450228224	Gaia EDR3 2178369896008217600
Gaia EDR3 2178270080964261504	Gaia EDR3 2178459093891750528
Gaia EDR3 2178391920601183104	Gaia EDR3 2178481320330360576
Gaia EDR3 2178401575688131584	Gaia EDR3 2178386629202024320
Gaia EDR3 2178183146525386240	Gaia EDR3 2178464660169630592
Gaia EDR3 2178399101787002496	Gaia EDR3 2178397555587384320
Gaia EDR3 2178380307009731712	Gaia EDR3 2178498882466387072
Gaia EDR3 2178456551271724544	Gaia EDR3 2178290112691905024
Gaia EDR3 2178415834982840704	Gaia EDR3 2178371476556480512
Gaia EDR3 2178296602377768576	Gaia EDR3 2178435965476353664
Gaia EDR3 2178404217081287296	Gaia EDR3 2178479774141710592
Gaia EDR3 2178440470906711680	Gaia EDR3 2178444181765486592
Gaia EDR3 2178397516933377792	Gaia EDR3 2178500974104359680
Gaia EDR3 2178383669957235712	Gaia EDR3 2178443902576645760
Gaia EDR3 2178389167513158784	Gaia EDR3 2178499290473504128
Gaia EDR3 2178442115873805952	Gaia EDR3 2178484623171705984
Gaia EDR3 2178441566114234880	Gaia EDR3 2178498740717035008
Gaia EDR3 2178433869533026688	Gaia EDR3 2178296739816720256
Gaia EDR3 2178384185353357696	Gaia EDR3 2178447102343233920
Gaia EDR3 2178385559744090752	Gaia EDR3 2178444452331633792
Gaia EDR3 2178347557873723776	Gaia EDR3 2178488815047529728
Gaia EDR3 2178285779064267904	Gaia EDR3 2178481840032553088
Gaia EDR3 2178374397134734976	Gaia EDR3 2178450091640798336
Gaia EDR3 2178182154393098368	Gaia EDR3 2178384838188435072
Gaia EDR3 2178378932620239744	Gaia EDR3 2178548223048840704
Gaia EDR3 2178370720642522880	Gaia EDR3 2178441364266809088
Gaia EDR3 2178377175961634688	Gaia EDR3 2178363573802057728
Gaia EDR3 2178451289923989504	Gaia EDR3 2178458234898297472

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178417930916427136	Gaia EDR3 2178499466578436736
Gaia EDR3 2178184250343772416	Gaia EDR3 2178399441078328064
Gaia EDR3 2178180535184126976	Gaia EDR3 2178369994777650816
Gaia EDR3 2178380440141754112	Gaia EDR3 2178498985541938688
Gaia EDR3 2178377901827761536	Gaia EDR3 2178469367454096000
Gaia EDR3 2178384327099084288	Gaia EDR3 2178446896184769920
Gaia EDR3 2178385491024191872	Gaia EDR3 2178405149103998720
Gaia EDR3 2178192354934595200	Gaia EDR3 2178482389788546944
Gaia EDR3 2178483931684144384	Gaia EDR3 2178548424900138624
Gaia EDR3 2178440986309701888	Gaia EDR3 2178451019353727104
Gaia EDR3 2178362955340807424	Gaia EDR3 2178458608543891712
Gaia EDR3 2178480122032875904	Gaia EDR3 2178449816762756864
Gaia EDR3 2178283309463611904	Gaia EDR3 2178479984593617024
Gaia EDR3 2178397933544096640	Gaia EDR3 2178499260407325696
Gaia EDR3 2178434561038259840	Gaia EDR3 2178479056893944064
Gaia EDR3 2178190808746092160	Gaia EDR3 2178449026488704768
Gaia EDR3 2178373052799606784	Gaia EDR3 2178485718376558976
Gaia EDR3 2178383811703273344	Gaia EDR3 2178446243349615360
Gaia EDR3 2178398070997795584	Gaia EDR3 2178442974872913152
Gaia EDR3 2178445178197742720	Gaia EDR3 2178283172024659200
Gaia EDR3 2178476857870542080	Gaia EDR3 2178468675951364992
Gaia EDR3 2178447372909426688	Gaia EDR3 2178433908203260032
Gaia EDR3 2178493556690426880	Gaia EDR3 2178396868403779584
Gaia EDR3 2178396627885621504	Gaia EDR3 2178383399389460992
Gaia EDR3 2178369616820286720	Gaia EDR3 2178450538317241216
Gaia EDR3 2178433903891655424	Gaia EDR3 2178551585996314368
Gaia EDR3 2178378726465030144	Gaia EDR3 2178386491763084416
Gaia EDR3 2178194072922211328	Gaia EDR3 2178445556155008512
Gaia EDR3 2178397482572332032	Gaia EDR3 2178384357153556736
Gaia EDR3 2178420370465999232	Gaia EDR3 2178396868404203264
Gaia EDR3 2178393398069567488	Gaia EDR3 2178485580937541248
Gaia EDR3 2178441909720014336	Gaia EDR3 2178499226060273664
Gaia EDR3 2178381131646820992	Gaia EDR3 2178501837403955328

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178382467366433280	Gaia EDR3 2178479331771844352
Gaia EDR3 2178393810374093696	Gaia EDR3 2178180058449596032
Gaia EDR3 2178371236038359680	Gaia EDR3 2178400270018102912
Gaia EDR3 2178391229096069376	Gaia EDR3 2178399170506506368
Gaia EDR3 2178377592593673984	Gaia EDR3 2178497778644893952
Gaia EDR3 2178455005083339904	Gaia EDR3 2178289459857084160
Gaia EDR3 2178385323531716480	Gaia EDR3 2178547909504086656
Gaia EDR3 2178448231904937088	Gaia EDR3 2178387282037056000
Gaia EDR3 2178440505273363328	Gaia EDR3 2178420988941491840
Gaia EDR3 2178448648525110400	Gaia EDR3 2178180264607992448
Gaia EDR3 2178364119261453696	Gaia EDR3 2178498087882631808
Gaia EDR3 2178386938439659392	Gaia EDR3 2178483588072777472
Gaia EDR3 2178394016544915328	Gaia EDR3 2178443116606937088
Gaia EDR3 2178548360487890176	Gaia EDR3 2178484760610652800
Gaia EDR3 2178370548831136512	Gaia EDR3 2178495205970904704
Gaia EDR3 2178421401250370688	Gaia EDR3 2178498573225252736
Gaia EDR3 2178373125824188544	Gaia EDR3 2178503417948497024
Gaia EDR3 2178379890385916928	Gaia EDR3 2178399097480091904
Gaia EDR3 2178463045261758464	Gaia EDR3 2178289356777872768
Gaia EDR3 2178441604784967168	Gaia EDR3 2178479469210807040
Gaia EDR3 2178449473166968192	Gaia EDR3 2178478021803405312
Gaia EDR3 2178440569681984768	Gaia EDR3 2178489051271253632
Gaia EDR3 2178417552959307136	Gaia EDR3 2178380646300187136
Gaia EDR3 2178417656046880384	Gaia EDR3 2178401777539787136
Gaia EDR3 2178451466031840640	Gaia EDR3 2178382128076125952
Gaia EDR3 2178288940155382400	Gaia EDR3 2178457444624910336
Gaia EDR3 2178503448005525376	Gaia EDR3 2178481943111760256
Gaia EDR3 2178475582257881472	Gaia EDR3 2178548424900096640
Gaia EDR3 2178442807375996160	Gaia EDR3 2178289425497346816
Gaia EDR3 2178368865216075136	Gaia EDR3 2178442837424749184
Gaia EDR3 2178282652322383488	Gaia EDR3 2178188957628188544
Gaia EDR3 2178384803838607232	Gaia EDR3 2178369655490052736
Gaia EDR3 2178390958528283776	Gaia EDR3 2178477510705561984

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178380371423511808	Gaia EDR3 2178296808538739200
Gaia EDR3 2178184284703505664	Gaia EDR3 2178375805871051904
Gaia EDR3 2178417656046700288	Gaia EDR3 2178387140291051008
Gaia EDR3 2178377386431959552	Gaia EDR3 2178484863689868800
Gaia EDR3 2178381956277671296	Gaia EDR3 2178287466992082560
Gaia EDR3 2178449507525105152	Gaia EDR3 2178369822978826112
Gaia EDR3 2178441776583658112	Gaia EDR3 2178404324467180160
Gaia EDR3 2178193802346504704	Gaia EDR3 2178443425844596224
Gaia EDR3 2178399411024821632	Gaia EDR3 2178550662590236544
Gaia EDR3 2178490155077249920	Gaia EDR3 2178188957623098240
Gaia EDR3 2178364703377069312	Gaia EDR3 2178282617962633088
Gaia EDR3 2178389304955878912	Gaia EDR3 2178495618287787648
Gaia EDR3 2178440642705389824	Gaia EDR3 2178388209749361920
Gaia EDR3 2178396520500211840	Gaia EDR3 2178365596730664448
Gaia EDR3 2178395287855504256	Gaia EDR3 2178477304547132800
Gaia EDR3 2178380444448684160	Gaia EDR3 2178398277156214016
Gaia EDR3 2178388312816164096	Gaia EDR3 2178401232090488832
Gaia EDR3 2178366146485949568	Gaia EDR3 2178384872548157952
Gaia EDR3 2178393771716897536	Gaia EDR3 2178476789150935936
Gaia EDR3 2178380753686334720	Gaia EDR3 2178443219692854528
Gaia EDR3 2178396834044047616	Gaia EDR3 2178550692642988928
Gaia EDR3 2178548562342012416	Gaia EDR3 2178372881000915072
Gaia EDR3 2178398070994610432	Gaia EDR3 2178393428119318144
Gaia EDR3 2178385632758614912	Gaia EDR3 2178546401982705408
Gaia EDR3 2178350551475451392	Gaia EDR3 2178404015229748352
Gaia EDR3 2178441158101474560	Gaia EDR3 2178402675199739008
Gaia EDR3 2178296533658256512	Gaia EDR3 2178489016911580160
Gaia EDR3 2178442699985787776	Gaia EDR3 2178383639904328064
Gaia EDR3 2178389481059532928	Gaia EDR3 2178287123396178176
Gaia EDR3 2178391611363558144	Gaia EDR3 2178376355639520640
Gaia EDR3 2178383395079274368	Gaia EDR3 2178190533874554240
Gaia EDR3 2178417278089773952	Gaia EDR3 2178390271321914880
Gaia EDR3 2178286779797155456	Gaia EDR3 2178460433921834240

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178387453835725824	Gaia EDR3 2178497469407833856
Gaia EDR3 2178440573992845568	Gaia EDR3 2178551555943428864
Gaia EDR3 2178479537933746688	Gaia EDR3 2178452496823987584
Gaia EDR3 2178383193217207680	Gaia EDR3 2178499977671943552
Gaia EDR3 2178440642712309760	Gaia EDR3 2178496236763200640
Gaia EDR3 2178448923411139072	Gaia EDR3 2178484623171705856
Gaia EDR3 2178289562936287104	Gaia EDR3 2178289356777875072
Gaia EDR3 2178270184036597504	Gaia EDR3 2178503349229025408
Gaia EDR3 2178190572535872640	Gaia EDR3 2178547879451442176
Gaia EDR3 2178374294058800640	Gaia EDR3 2178498882466386688
Gaia EDR3 2178389339310069888	Gaia EDR3 2178290834246590720
Gaia EDR3 2178379310577347840	Gaia EDR3 2178443043592577792
Gaia EDR3 2178476754794873984	Gaia EDR3 2178484279577665664
Gaia EDR3 2178377901827761408	Gaia EDR3 2178551865181072000
Gaia EDR3 2178374362774992896	Gaia EDR3 2178501283338969728
Gaia EDR3 2178399750326614784	Gaia EDR3 2178397143284867584
Gaia EDR3 2178286814156890624	Gaia EDR3 2178495167304765568
Gaia EDR3 2178398105354352128	Gaia EDR3 2178420576624611840
Gaia EDR3 2178435072122881664	Gaia EDR3 2178486409878079488
Gaia EDR3 2178499668431143040	Gaia EDR3 2178484069109268352
Gaia EDR3 2178442738656526208	Gaia EDR3 2178373568189067264
Gaia EDR3 2178389618498468352	Gaia EDR3 2178495893165686400
Gaia EDR3 2178365154364343168	Gaia EDR3 2178490292528479744
Gaia EDR3 2178459433177660544	Gaia EDR3 2178483798541295616
Gaia EDR3 2178392539076193664	Gaia EDR3 2178477854290237568
Gaia EDR3 2178284374615682304	Gaia EDR3 2178496919651892224
Gaia EDR3 2178388858285165568	Gaia EDR3 2178385186092761216
Gaia EDR3 2178392917033317248	Gaia EDR3 2178503349216663168
Gaia EDR3 2178421916654420480	Gaia EDR3 2178376802316157568
Gaia EDR3 2178394669380220544	Gaia EDR3 2178489674053208832
Gaia EDR3 2178179985425155712	Gaia EDR3 2178467683826778496
Gaia EDR3 2178421981062225408	Gaia EDR3 2178455447451764736
Gaia EDR3 2178396937123252736	Gaia EDR3 2178449988555572992

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178496820865965568	Gaia EDR3 2178282450470159616
Gaia EDR3 2178483420580688768	Gaia EDR3 2178498568918996480
Gaia EDR3 2178286848516627072	Gaia EDR3 2178547604573541120
Gaia EDR3 2178371128650281216	Gaia EDR3 2178477167108225152
Gaia EDR3 2178380547527913472	Gaia EDR3 2178417140642466432
Gaia EDR3 2178434561038258944	Gaia EDR3 2178270424561756160
Gaia EDR3 2178382471673484672	Gaia EDR3 2178384464538037376
Gaia EDR3 2178485928829523328	Gaia EDR3 2178393604228048384
Gaia EDR3 2178394050904648448	Gaia EDR3 2178393943520580992
Gaia EDR3 2178394497581292800	Gaia EDR3 2178290555063642112
Gaia EDR3 2178371575324396160	Gaia EDR3 2178451088073201536
Gaia EDR3 2178400476165947648	Gaia EDR3 2178479980300614528
Gaia EDR3 2178378589022761472	Gaia EDR3 2178400957212605824
Gaia EDR3 2178398685163754496	Gaia EDR3 2178270424561755520
Gaia EDR3 2178397276414802432	Gaia EDR3 2178469775462892032
Gaia EDR3 2178376115109134208	Gaia EDR3 2178394974312773248
Gaia EDR3 2178270351535754240	Gaia EDR3 2178288875734528256
Gaia EDR3 2178396520499510144	Gaia EDR3 2178453282788260864
Gaia EDR3 2178183249600369536	Gaia EDR3 2178497744285142144
Gaia EDR3 2178390133894580864	Gaia EDR3 2178481530782058240
Gaia EDR3 2178388411597036544	Gaia EDR3 2178453695105013376
Gaia EDR3 2178394050904650752	Gaia EDR3 2178189095067308800
Gaia EDR3 2178441085078071936	Gaia EDR3 2178283030279685760
Gaia EDR3 2178397246360905856	Gaia EDR3 2178287054668408192
Gaia EDR3 2178178611036386560	Gaia EDR3 2178405144794327680
Gaia EDR3 2178380513168184192	Gaia EDR3 2178417759117725184
Gaia EDR3 2178379035687749376	Gaia EDR3 2178270424561754752
Gaia EDR3 2178380577591419264	Gaia EDR3 2178455653610211584
Gaia EDR3 2178399514103865088	Gaia EDR3 2178385701488865280
Gaia EDR3 2178392500406233472	Gaia EDR3 2178404839863463936
Gaia EDR3 2178381647028466048	Gaia EDR3 2178496266816670976
Gaia EDR3 2178397040202477952	Gaia EDR3 2178451225512146944
Gaia EDR3 2178374328415264000	Gaia EDR3 2178503207484184448

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178455069494755840	Gaia EDR3 2178376424358992768
Gaia EDR3 2178192531041136256	Gaia EDR3 2178445968471715328
Gaia EDR3 2178458544136067456	Gaia EDR3 2178386075149847296
Gaia EDR3 2178369101424051328	Gaia EDR3 2178479537917785856
Gaia EDR3 2178390305693267456	Gaia EDR3 2178368624683982336
Gaia EDR3 2178385319226264448	Gaia EDR3 2178396559154666752
Gaia EDR3 2178390546211695616	Gaia EDR3 2178365154349956096
Gaia EDR3 2178399995140186112	Gaia EDR3 2178394566300761600
Gaia EDR3 2178442390748147968	Gaia EDR3 2178443215378624384
Gaia EDR3 2178393707294881920	Gaia EDR3 2178467335921259904
Gaia EDR3 2178380135211054208	Gaia EDR3 2178469466225599360
Gaia EDR3 2178183112161375232	Gaia EDR3 2178551865181071488
Gaia EDR3 2178422088444668672	Gaia EDR3 2178290142747276032
Gaia EDR3 2178372747870503936	Gaia EDR3 2178390236973795712
Gaia EDR3 2178391199046434816	Gaia EDR3 2178394806819193856
Gaia EDR3 2178385838928060672	Gaia EDR3 2178190018473071232
Gaia EDR3 2178380130904056192	Gaia EDR3 2178175759180534016
Gaia EDR3 2178401640101582848	Gaia EDR3 2178400751054609920
Gaia EDR3 2178421813575206400	Gaia EDR3 2178392985756358144
Gaia EDR3 2178383399374396288	Gaia EDR3 2178182360551144832
Gaia EDR3 2178391954960916096	Gaia EDR3 2178548459259912704
Gaia EDR3 2178389687217950336	Gaia EDR3 2178485860122263936
Gaia EDR3 2178398414591976704	Gaia EDR3 2178549425639769472
Gaia EDR3 2178475792718532992	Gaia EDR3 2178468061783896192
Gaia EDR3 2178397035896588032	Gaia EDR3 2178367555235485184
Gaia EDR3 2178455241293315840	Gaia EDR3 2178422363331169920
Gaia EDR3 2178395008671616512	Gaia EDR3 2178398792538290816
Gaia EDR3 2178384361458822912	Gaia EDR3 2178351646680109184
Gaia EDR3 2178398066689194240	Gaia EDR3 2178386972799403136
Gaia EDR3 2178433839483609472	Gaia EDR3 2178549528718978560
Gaia EDR3 2178434354879689472	Gaia EDR3 2178296671097220992
Gaia EDR3 2178191461581233536	Gaia EDR3 2178372782226821248
Gaia EDR3 2178453695105674112	Gaia EDR3 2178383914782487680

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178433908203083264	Gaia EDR3 2178486371211687936
Gaia EDR3 2178387518248269952	Gaia EDR3 2178489021218187904
Gaia EDR3 2178391126028448000	Gaia EDR3 2178452359383674112
Gaia EDR3 2178383536825113984	Gaia EDR3 2178381647028459392
Gaia EDR3 2178397315068859776	Gaia EDR3 2178363333298070528
Gaia EDR3 2178417346809283456	Gaia EDR3 2178385083013560192
Gaia EDR3 2178441432986447744	Gaia EDR3 2178392534767728768
Gaia EDR3 2178399166200861440	Gaia EDR3 2178352063290218368
Gaia EDR3 2178451603463257600	Gaia EDR3 2178495858793341440
Gaia EDR3 2178395975038306048	Gaia EDR3 2178284374608879360
Gaia EDR3 2178191225370888192	Gaia EDR3 2178551723435322752
Gaia EDR3 2178450499649305344	Gaia EDR3 2178399514103868288
Gaia EDR3 2178394531941271936	Gaia EDR3 2178484343987234816
Gaia EDR3 2178383051483536768	Gaia EDR3 2178490326875936256
Gaia EDR3 2178442047149520512	Gaia EDR3 2178501420777899648
Gaia EDR3 2178387277731387520	Gaia EDR3 2178484073403579008
Gaia EDR3 2178390099534840832	Gaia EDR3 2178549253841095040
Gaia EDR3 2178476170675801856	Gaia EDR3 2178499363499227008
Gaia EDR3 2178282484829904000	Gaia EDR3 2178450121692194304
Gaia EDR3 2178419477113007616	Gaia EDR3 2178500561784413312
Gaia EDR3 2178379993465091072	Gaia EDR3 2178399028760597632
Gaia EDR3 2178397280709130112	Gaia EDR3 2178417278081417344
Gaia EDR3 2178441089388920832	Gaia EDR3 2178448717251068800
Gaia EDR3 2178433805123877504	Gaia EDR3 2178503344923148160
Gaia EDR3 2178389824656943616	Gaia EDR3 2178379825976762240
Gaia EDR3 2178480637441733888	Gaia EDR3 2178498706357907072
Gaia EDR3 2178452565541950464	Gaia EDR3 2178346600105577984
Gaia EDR3 2178546161464538368	Gaia EDR3 2178176313244668416
Gaia EDR3 2178469023856729216	Gaia EDR3 2178404702424509952
Gaia EDR3 2178467477662176512	Gaia EDR3 2178500733583117440
Gaia EDR3 2178192737199560064	Gaia EDR3 2178548257410253056
Gaia EDR3 2178382574752710272	Gaia EDR3 2178454073062180736
Gaia EDR3 2178383639892535808	Gaia EDR3 2178182875954230016

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178395597093124992	Gaia EDR3 2178551315417778560
Gaia EDR3 2178398620738963712	Gaia EDR3 2178388175389508608
Gaia EDR3 2178393604228050560	Gaia EDR3 2178394390192257536
Gaia EDR3 2178382742245463936	Gaia EDR3 2178440642712312704
Gaia EDR3 2178384563311596800	Gaia EDR3 2178389996455886464
Gaia EDR3 2178392637850499200	Gaia EDR3 2178347184221116416
Gaia EDR3 2178388823913826432	Gaia EDR3 2178365120004606208
Gaia EDR3 2178391920604542336	Gaia EDR3 2178370102166949504
Gaia EDR3 2178475655279579904	Gaia EDR3 2178496129377531520
Gaia EDR3 2178369857340398208	Gaia EDR3 2178465278645176832
Gaia EDR3 2178383846063002752	Gaia EDR3 2178547016150855168
Gaia EDR3 2178382570447198592	Gaia EDR3 2178377214633022208
Gaia EDR3 2178398070994613888	Gaia EDR3 2178186415001202176
Gaia EDR3 2178379894693141760	Gaia EDR3 2178441432986447232
Gaia EDR3 2178396009413394176	Gaia EDR3 2178389927736158080
Gaia EDR3 2178397521226672512	Gaia EDR3 2178369170143557760
Gaia EDR3 2178450641396443904	Gaia EDR3 2178382368594520832
Gaia EDR3 2178391370845376896	Gaia EDR3 2178501425083655040
Gaia EDR3 2178391439552934912	Gaia EDR3 2178454764565020032
Gaia EDR3 2178404972996255232	Gaia EDR3 2178496133683992064
Gaia EDR3 2178383532519095936	Gaia EDR3 2178369380598172032
Gaia EDR3 2178398139714082176	Gaia EDR3 2178270282816242816
Gaia EDR3 2178385838927821440	Gaia EDR3 2178396868403784960
Gaia EDR3 2178286985955579904	Gaia EDR3 2178388549038058624
Gaia EDR3 2178469676691859584	Gaia EDR3 2178370681970968960
Gaia EDR3 2178381574013146752	Gaia EDR3 2178288562198473984
Gaia EDR3 2178289734736319488	Gaia EDR3 2178369861648471296
Gaia EDR3 2178400987265698176	Gaia EDR3 2178401197730745216
Gaia EDR3 2178442257613054080	Gaia EDR3 2178377008462343296
Gaia EDR3 2178193802351549952	Gaia EDR3 2178371472247782528
Gaia EDR3 2178403877779942400	Gaia EDR3 2178191633379937280
Gaia EDR3 2178475788416312192	Gaia EDR3 2178442459476372480
Gaia EDR3 2178395562733397120	Gaia EDR3 2178182051313513600

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178389446699803008	Gaia EDR3 2178346634465319680
Gaia EDR3 2178288429064734080	Gaia EDR3 2178182704155547136
Gaia EDR3 2178434217440720512	Gaia EDR3 2178368143661427840
Gaia EDR3 2178433942562827136	Gaia EDR3 2178549528718978944
Gaia EDR3 2178193458754037120	Gaia EDR3 2178456585631462272
Gaia EDR3 2178393844746247936	Gaia EDR3 2178395970745184512
Gaia EDR3 2178391989320655488	Gaia EDR3 2178414731156567296
Gaia EDR3 2178441119446970752	Gaia EDR3 2178373602548782848
Gaia EDR3 2178395975050257024	Gaia EDR3 2178394768149374336
Gaia EDR3 2178459265690555776	Gaia EDR3 2178493518037082880
Gaia EDR3 2178446342117152896	Gaia EDR3 2178376974114832384
Gaia EDR3 2178493728502013312	Gaia EDR3 2178373258951424256
Gaia EDR3 2178441192468289152	Gaia EDR3 2178484275267738368
Gaia EDR3 2178394978617873664	Gaia EDR3 2178479469210803712
Gaia EDR3 2178382192499306496	Gaia EDR3 2178188541003445504
Gaia EDR3 2178383876116827648	Gaia EDR3 2178483351861207040
Gaia EDR3 2178440814510995456	Gaia EDR3 2178364020492866432
Gaia EDR3 2178383846063003520	Gaia EDR3 2178285164882844928
Gaia EDR3 2178395184776294016	Gaia EDR3 2178375668444766592
Gaia EDR3 2178441089388915328	Gaia EDR3 2178193424394297344
Gaia EDR3 2178469539246980352	Gaia EDR3 2178389309264365696
Gaia EDR3 2178398032328170240	Gaia EDR3 2178443769441947520
Gaia EDR3 2178379649868655232	Gaia EDR3 2178189984112302336
Gaia EDR3 2178394016544908288	Gaia EDR3 2178460880598436736
Gaia EDR3 2178475827065669504	Gaia EDR3 2178350963778201344
Gaia EDR3 2178443254045917568	Gaia EDR3 2178419335363470208
Gaia EDR3 2178440982007912704	Gaia EDR3 2178447926978730240
Gaia EDR3 2178397658677751168	Gaia EDR3 2178349108366289280
Gaia EDR3 2178193694970501632	Gaia EDR3 2178454077370410496
Gaia EDR3 2178451466030341248	Gaia EDR3 2178396181208675840
Gaia EDR3 2178192080057383168	Gaia EDR3 2178550765669452544
Gaia EDR3 2178284610827838080	Gaia EDR3 2178182631125074560
Gaia EDR3 2178418167132388736	Gaia EDR3 2178370102166951296

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178385667129374080	Gaia EDR3 2178443219692855040
Gaia EDR3 2178385387945740928	Gaia EDR3 2178394978617878528
Gaia EDR3 2178397418162770560	Gaia EDR3 2178378515996451456
Gaia EDR3 2178287741869820544	Gaia EDR3 2178460086012828800
Gaia EDR3 2178182906003701888	Gaia EDR3 2178192427961912320
Gaia EDR3 2178397864836164096	Gaia EDR3 2178352024633286656
Gaia EDR3 2178481904449750656	Gaia EDR3 2178448957769231232
Gaia EDR3 2178397551292322304	Gaia EDR3 2178419270954390144
Gaia EDR3 2178381406521635712	Gaia EDR3 2178496546000704768
Gaia EDR3 2178290009612877824	Gaia EDR3 2178377730029068416
Gaia EDR3 2178418304571527680	Gaia EDR3 2178352402590658304
Gaia EDR3 2178433938251317632	Gaia EDR3 2178497813004928896
Gaia EDR3 2178433903891654656	Gaia EDR3 2178446827465289088
Gaia EDR3 2178468577179966208	Gaia EDR3 2178493762861751936
Gaia EDR3 2178382712191907712	Gaia EDR3 2178372095032019840
Gaia EDR3 2178443112301672704	Gaia EDR3 2178404358826918144
Gaia EDR3 2178385250506786560	Gaia EDR3 2178384327099081216
Gaia EDR3 2178193836712256512	Gaia EDR3 2178185693452860160
Gaia EDR3 2178282862787027840	Gaia EDR3 2178193699267347840
Gaia EDR3 2178378279785130752	Gaia EDR3 2178399788981759744
Gaia EDR3 2178385735848606976	Gaia EDR3 2178482080550882944
Gaia EDR3 2178369930368001536	Gaia EDR3 2178435931123734912
Gaia EDR3 2178382368594520704	Gaia EDR3 2178489674053205632
Gaia EDR3 2178421710498136832	Gaia EDR3 2178391989308753920
Gaia EDR3 2178397521238551168	Gaia EDR3 2178484726250914176
Gaia EDR3 2178287776229552512	Gaia EDR3 2178498294044962048
Gaia EDR3 2178385495330441856	Gaia EDR3 2178475758358947072
Gaia EDR3 2178396795377461760	Gaia EDR3 2178457955723539840
Gaia EDR3 2178391641417704192	Gaia EDR3 2178499775803454848
Gaia EDR3 2178382196795600896	Gaia EDR3 2178390649290896512
Gaia EDR3 2178386182514422528	Gaia EDR3 2178370961148600064
Gaia EDR3 2178441364259874304	Gaia EDR3 2178444078686269568
Gaia EDR3 2178384567617482496	Gaia EDR3 2178376974102609920

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178384395806745088	Gaia EDR3 2178192251855221888
Gaia EDR3 2178378687803552128	Gaia EDR3 2178367559531510144
Gaia EDR3 2178392229838569472	Gaia EDR3 2178374087897104512
Gaia EDR3 2178397074562221952	Gaia EDR3 2178446552587391616
Gaia EDR3 2178482767745674880	Gaia EDR3 2178384494591660288
Gaia EDR3 2178397658677755008	Gaia EDR3 2178444868960106368
Gaia EDR3 2178363810023696384	Gaia EDR3 2178184559581399040
Gaia EDR3 2178385117373294720	Gaia EDR3 2178455417400204928
Gaia EDR3 2178398002263548288	Gaia EDR3 2178443730787036800
Gaia EDR3 2178382707884610688	Gaia EDR3 2178188644082581120
Gaia EDR3 2178385976367025664	Gaia EDR3 2178402743918956544
Gaia EDR3 2178451259871885824	Gaia EDR3 2178493281825410432
Gaia EDR3 2178397899195898368	Gaia EDR3 2178404221391011584
Gaia EDR3 2178287741869818368	Gaia EDR3 2178282686686113664
Gaia EDR3 2178400819773646464	Gaia EDR3 2178478094821139072
Gaia EDR3 2178282794067722880	Gaia EDR3 2178459059532131712
Gaia EDR3 2178391881931330048	Gaia EDR3 2178398856961897088
Gaia EDR3 2178484279574269952	Gaia EDR3 2178500737876513792
Gaia EDR3 2178397074562221056	Gaia EDR3 2178496507334873984
Gaia EDR3 2178395837599325696	Gaia EDR3 2178390748058355840
Gaia EDR3 2178363470737051264	Gaia EDR3 2178179783577859456
Gaia EDR3 2178381406521632000	Gaia EDR3 2178184937538539264
Gaia EDR3 2178480328203977600	Gaia EDR3 2178284202816957440
Gaia EDR3 2178391130327213440	Gaia EDR3 2178351135576846208
Gaia EDR3 2178441089382004352	Gaia EDR3 2178414524998049664
Gaia EDR3 2178395253495768320	Gaia EDR3 2178183627558246272
Gaia EDR3 2178391199046443648	Gaia EDR3 2178379654174738176
Gaia EDR3 2178441226827857920	Gaia EDR3 2178433908203081984
Gaia EDR3 2178386216885189376	Gaia EDR3 2178184383471813376
Gaia EDR3 2178189881033110272	Gaia EDR3 2178372193799509376
Gaia EDR3 2178398070997784960	Gaia EDR3 2178369689835836416
Gaia EDR3 2178388033639701248	Gaia EDR3 2178395390923248896
Gaia EDR3 2178385117373292032	Gaia EDR3 2178447617739457920

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178441226827857792	Gaia EDR3 2178372610416033536
Gaia EDR3 2178386251244921984	Gaia EDR3 2178398998707792256
Gaia EDR3 2178385632769636352	Gaia EDR3 2178478472765952128
Gaia EDR3 2178394394502336768	Gaia EDR3 2178384700750969472
Gaia EDR3 2178401232090492032	Gaia EDR3 2178480942372756096
Gaia EDR3 2178393947825444864	Gaia EDR3 2178388690785562880
Gaia EDR3 2178382329928643968	Gaia EDR3 2178441085076768768
Gaia EDR3 2178385770208339840	Gaia EDR3 2178461426042649216
Gaia EDR3 2178397654370950016	Gaia EDR3 2178418996067817344
Gaia EDR3 2178394394502330496	Gaia EDR3 2178366150796449920
Gaia EDR3 2178441810936445952	Gaia EDR3 2178546981791064320
Gaia EDR3 2178457272826211456	Gaia EDR3 2178440672759757824
Gaia EDR3 2178480500006384512	Gaia EDR3 2178379688534723584
Gaia EDR3 2178384258379850240	Gaia EDR3 2178469023856726144
Gaia EDR3 2178374255383869312	Gaia EDR3 2178373430750092800
Gaia EDR3 2178386079446236800	Gaia EDR3 2178398552030924928
Gaia EDR3 2178434389239575040	Gaia EDR3 2178467267201783808
Gaia EDR3 2178392706563231744	Gaia EDR3 2178419369723400832
Gaia EDR3 2178476200729485440	Gaia EDR3 2178444899007886336
Gaia EDR3 2178395214830181248	Gaia EDR3 2178548360480369152
Gaia EDR3 2178394291422867840	Gaia EDR3 2178374053537368832
Gaia EDR3 2178383017123373312	Gaia EDR3 2178175793540305664
Gaia EDR3 2178379173138394624	Gaia EDR3 2178498126548662784
Gaia EDR3 2178290181411387520	Gaia EDR3 2178348008840707456
Gaia EDR3 2178396451781073920	Gaia EDR3 2178287840643562496
Gaia EDR3 2178379443709259008	Gaia EDR3 2178501730015696256
Gaia EDR3 2178455997207179008	Gaia EDR3 2178502284064833280
Gaia EDR3 2178393982185180288	Gaia EDR3 2178282892840662144
Gaia EDR3 2178433835172083072	Gaia EDR3 2178477712557276416
Gaia EDR3 2178421534385710208	Gaia EDR3 2178285366742174592
Gaia EDR3 2178394390193623168	Gaia EDR3 2178395150416548736
Gaia EDR3 2178442841735735168	Gaia EDR3 2178174247352020480
Gaia EDR3 2178434384935946240	Gaia EDR3 2178459334410030976

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178398822602144000	Gaia EDR3 2178397177641432960
Gaia EDR3 2178377901827757056	Gaia EDR3 2178446827465290368
Gaia EDR3 2178396967177151872	Gaia EDR3 2178386766640979968
Gaia EDR3 2178381681399789824	Gaia EDR3 2178404083949222528
Gaia EDR3 2178284404675036416	Gaia EDR3 2178547329687707648
Gaia EDR3 2178390305693509376	Gaia EDR3 2178183283960112384
Gaia EDR3 2178372056360911616	Gaia EDR3 2178453115297903872
Gaia EDR3 2178477064028836864	Gaia EDR3 2178444113046014336
Gaia EDR3 2178389584138737280	Gaia EDR3 2178350100491846656
Gaia EDR3 2178399445384393472	Gaia EDR3 2178489880211632896
Gaia EDR3 2178383880422739072	Gaia EDR3 2178479778448440320
Gaia EDR3 2178441261187598208	Gaia EDR3 2178385117373291648
Gaia EDR3 2178391302125646720	Gaia EDR3 2178399926409556224
Gaia EDR3 2178401399582587136	Gaia EDR3 2178442532498046976
Gaia EDR3 2178449846813853440	Gaia EDR3 2178493694129380096
Gaia EDR3 2178397864836157440	Gaia EDR3 2178386972799402496
Gaia EDR3 2178403602901511040	Gaia EDR3 2178375771523972352
Gaia EDR3 2178397658677754112	Gaia EDR3 2178401537022804864
Gaia EDR3 2178392848313851392	Gaia EDR3 2178347351712604160
Gaia EDR3 2178480220818168064	Gaia EDR3 2178402022352842880
Gaia EDR3 2178175832208169856	Gaia EDR3 2178450194720013696
Gaia EDR3 2178397448212603008	Gaia EDR3 2178496546000705920
Gaia EDR3 2178402739613213696	Gaia EDR3 2178400471869753088
Gaia EDR3 2178400265711280512	Gaia EDR3 2178394153983862144
Gaia EDR3 2178503349232448896	Gaia EDR3 2178389068730014208
Gaia EDR3 2178384086581166720	Gaia EDR3 2178441604784967424
Gaia EDR3 2178421916646002304	Gaia EDR3 2178375359210601344
Gaia EDR3 2178385353585129344	Gaia EDR3 2178468607231884672
Gaia EDR3 2178395592793858944	Gaia EDR3 2178445624874345600
Gaia EDR3 2178434423591196672	Gaia EDR3 2178477235831247616
Gaia EDR3 2178391886241450496	Gaia EDR3 2178350341009933696
Gaia EDR3 2178442115878750464	Gaia EDR3 2178363951773375104
Gaia EDR3 2178443769448645760	Gaia EDR3 2178405046021884160

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178398105354351232	Gaia EDR3 2178384082275258624
Gaia EDR3 2178396730964827648	Gaia EDR3 2178377626950118016
Gaia EDR3 2178395489703989504	Gaia EDR3 2178451191152408192
Gaia EDR3 2178287123394701184	Gaia EDR3 2178371644043866112
Gaia EDR3 2178455726637837440	Gaia EDR3 2178386904079917440
Gaia EDR3 2178390030803062656	Gaia EDR3 2178455657912196992
Gaia EDR3 2178484485736113024	Gaia EDR3 2178497744285146880
Gaia EDR3 2178394699429915904	Gaia EDR3 2178393363709897600
Gaia EDR3 2178386938439659136	Gaia EDR3 2178494724934401280
Gaia EDR3 2178397315080376064	Gaia EDR3 2178451706542458880
Gaia EDR3 2178383674264304512	Gaia EDR3 2178500115111113600
Gaia EDR3 2178468611539849600	Gaia EDR3 2178374843811063808
Gaia EDR3 2178434797245067520	Gaia EDR3 2178403358087774976
Gaia EDR3 2178397899195898624	Gaia EDR3 2178446827465286272
Gaia EDR3 2178193836711163392	Gaia EDR3 2178370995508345984
Gaia EDR3 2178417449880101248	Gaia EDR3 2178383399386175872
Gaia EDR3 2178384395818553344	Gaia EDR3 2178380680659928960
Gaia EDR3 2178396765324317056	Gaia EDR3 2178501425083657344
Gaia EDR3 2178175626050894592	Gaia EDR3 2178444009966804352
Gaia EDR3 2178391267765907712	Gaia EDR3 2178188266125479936
Gaia EDR3 2178434114361509376	Gaia EDR3 2178350757633875200
Gaia EDR3 2178494789347124992	Gaia EDR3 2178482870824886784
Gaia EDR3 2178387041518869632	Gaia EDR3 2178480843600156288
Gaia EDR3 2178382810963865472	Gaia EDR3 2178397864835915776
Gaia EDR3 2178453252736858752	Gaia EDR3 2178451053713463680
Gaia EDR3 2178396730964592640	Gaia EDR3 2178386251233874816
Gaia EDR3 2178496541693778688	Gaia EDR3 2178396043769986944
Gaia EDR3 2178397796116441728	Gaia EDR3 2178185036306867200
Gaia EDR3 2178395459654186240	Gaia EDR3 2178399170506505344
Gaia EDR3 2178347356005707904	Gaia EDR3 2178380891125530880
Gaia EDR3 2178442704296780288	Gaia EDR3 2178295266646227584
Gaia EDR3 2178187063534548096	Gaia EDR3 2178393879105977344
Gaia EDR3 2178397688731739776	Gaia EDR3 2178285542839949824

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178389236242209280	Gaia EDR3 2178422019733631744
Gaia EDR3 2178396868403780096	Gaia EDR3 2178369857338581504
Gaia EDR3 2178497782954762112	Gaia EDR3 2178458269258032640
Gaia EDR3 2178402434681305856	Gaia EDR3 2178374152304638592
Gaia EDR3 2178475964517221120	Gaia EDR3 2178183631862212480
Gaia EDR3 2178397693037954048	Gaia EDR3 2178469023850907520
Gaia EDR3 2178385731541664896	Gaia EDR3 2178398380232242944
Gaia EDR3 2178392569127457792	Gaia EDR3 2178387488195478144
Gaia EDR3 2178454657177898624	Gaia EDR3 2178453660745935488
Gaia EDR3 2178433835176851328	Gaia EDR3 2178481771313079040
Gaia EDR3 2178385735848603776	Gaia EDR3 2178447613427640576
Gaia EDR3 2178385083013556608	Gaia EDR3 2178370686282779008
Gaia EDR3 2178397452519326976	Gaia EDR3 2178445556155005568
Gaia EDR3 2178478296672853760	Gaia EDR3 2178192359242438656
Gaia EDR3 2178390095227642240	Gaia EDR3 2178416212937716224
Gaia EDR3 2178494862373364096	Gaia EDR3 2178476445553699200
Gaia EDR3 2178476033236835968	Gaia EDR3 2178385800271687168
Gaia EDR3 2178290731167379584	Gaia EDR3 2178384047914379648
Gaia EDR3 2178283854915526016	Gaia EDR3 2178500630503850880
Gaia EDR3 2178385942007271168	Gaia EDR3 2178452668621309568
Gaia EDR3 2178434870267690112	Gaia EDR3 2178452320715144576
Gaia EDR3 2178395661507500800	Gaia EDR3 2178373847378665472
Gaia EDR3 2178398822602715008	Gaia EDR3 2178189369945228288
Gaia EDR3 2178402159791804160	Gaia EDR3 2178478300979707776
Gaia EDR3 2178458131812113792	Gaia EDR3 2178372472977122816
Gaia EDR3 2178397143281703808	Gaia EDR3 2178351513548116736
Gaia EDR3 2178383124508757120	Gaia EDR3 2178451191152406528
Gaia EDR3 2178384425872641792	Gaia EDR3 2178488883779231616
Gaia EDR3 2178382643475358720	Gaia EDR3 2178192943358093824
Gaia EDR3 2178392779594384000	Gaia EDR3 2178502142332160768
Gaia EDR3 2178442596905355008	Gaia EDR3 2178184692709478016
Gaia EDR3 2178400304377844224	Gaia EDR3 2178483489300161280
Gaia EDR3 2178290284490777344	Gaia EDR3 2178550800029189504

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178379825973676288	Gaia EDR3 2178367177278291712
Gaia EDR3 2178500497370733824	Gaia EDR3 2178482080550883712
Gaia EDR3 2178499496635820800	Gaia EDR3 2178451328592875776
Gaia EDR3 2178399754622027904	Gaia EDR3 2178189198146541312
Gaia EDR3 2178441742223922560	Gaia EDR3 2178458269259878016
Gaia EDR3 2178386045086501760	Gaia EDR3 2178285847780361728
Gaia EDR3 2178386899783157120	Gaia EDR3 2178450534009051648
Gaia EDR3 2178384528960821888	Gaia EDR3 2178547840784718720
Gaia EDR3 2178386388683874432	Gaia EDR3 2178455413092146048
Gaia EDR3 2178498122242574336	Gaia EDR3 2178351135590998912
Gaia EDR3 2178493208799377664	Gaia EDR3 2178549253841079808
Gaia EDR3 2178440951949966848	Gaia EDR3 2178459403129393280
Gaia EDR3 2178477510705559936	Gaia EDR3 2178395837611289984
Gaia EDR3 2178444113039290496	Gaia EDR3 2178488776393268608
Gaia EDR3 2178394050904653440	Gaia EDR3 2178372404269702656
Gaia EDR3 2178440913279379584	Gaia EDR3 2178402400321568256
Gaia EDR3 2178397830476432896	Gaia EDR3 2178482630306711424
Gaia EDR3 2178386835360448128	Gaia EDR3 2178404972995603840
Gaia EDR3 2178398070994615552	Gaia EDR3 2178286775491489536
Gaia EDR3 2178400888493120640	Gaia EDR3 2178396456086694016
Gaia EDR3 2178398105354351616	Gaia EDR3 2178289459857081472
Gaia EDR3 2178397624318173568	Gaia EDR3 2178440402194152064
Gaia EDR3 2178476960949623680	Gaia EDR3 2178499329139485696
Gaia EDR3 2178444044319804928	Gaia EDR3 2178181398485286656
Gaia EDR3 2178549283895437568	Gaia EDR3 2178493311878378496
Gaia EDR3 2178403877779939968	Gaia EDR3 2178190847408652544
Gaia EDR3 2178548429199831552	Gaia EDR3 2178502009199255552
Gaia EDR3 2178386934134002176	Gaia EDR3 2178405041715099520
Gaia EDR3 2178401884925765376	Gaia EDR3 2178448442366200320
Gaia EDR3 2178387385105184000	Gaia EDR3 2178421053349261056
Gaia EDR3 2178445620571709184	Gaia EDR3 2178440745791516928
Gaia EDR3 2178384189660376192	Gaia EDR3 2178286745430350720
Gaia EDR3 2178396318647881216	Gaia EDR3 2178368139351090432

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178397177641430784	Gaia EDR3 2178382712191908736
Gaia EDR3 2178384911214872576	Gaia EDR3 2178191087932071936
Gaia EDR3 2178283481262297344	Gaia EDR3 2178499462276083584
Gaia EDR3 2178386904079914368	Gaia EDR3 2178461288603672832
Gaia EDR3 2178385770211481728	Gaia EDR3 2178458612855540992
Gaia EDR3 2178481118478053248	Gaia EDR3 2178398895617469440
Gaia EDR3 2178183013393183104	Gaia EDR3 2178379173126677504
Gaia EDR3 2178379306270302464	Gaia EDR3 2178548321820945792
Gaia EDR3 2178441432979346176	Gaia EDR3 2178296503603680512
Gaia EDR3 2178397757459759360	Gaia EDR3 2178421809263521536
Gaia EDR3 2178400712388220032	Gaia EDR3 2178498985528986368
Gaia EDR3 2178369067066400384	Gaia EDR3 2178388789553986560
Gaia EDR3 2178404633705020544	Gaia EDR3 2178467267201797120
Gaia EDR3 2178374053537369600	Gaia EDR3 2178499981961876480
Gaia EDR3 2178385392251187328	Gaia EDR3 2178194072926097152
Gaia EDR3 2178383571173044352	Gaia EDR3 2178363981822350336
Gaia EDR3 2178484447066073856	Gaia EDR3 2178387312101327232
Gaia EDR3 2178289150619257088	Gaia EDR3 2178385735848604160
Gaia EDR3 2178393054472274048	Gaia EDR3 2178388690789078272
Gaia EDR3 2178380959845003648	Gaia EDR3 2178460227763245312
Gaia EDR3 2178403564246227072	Gaia EDR3 2178453561968750976
Gaia EDR3 2178393015804074368	Gaia EDR3 2178352402590649472
Gaia EDR3 2178489158657130752	Gaia EDR3 2178187819448818432
Gaia EDR3 2178399548463600384	Gaia EDR3 2178442562545814272
Gaia EDR3 2178389790297157248	Gaia EDR3 2178369616820328576
Gaia EDR3 2178397074550721280	Gaia EDR3 2178379516736048128
Gaia EDR3 2178421195099930240	Gaia EDR3 2178364192291683584
Gaia EDR3 2178497950443641984	Gaia EDR3 2178377622643089408
Gaia EDR3 2178189782255419136	Gaia EDR3 2178455108162551040
Gaia EDR3 2178382746551639296	Gaia EDR3 2178484313934000000
Gaia EDR3 2178500733583125632	Gaia EDR3 2178480495696122112
Gaia EDR3 2178398066688787584	Gaia EDR3 2178440436546996096
Gaia EDR3 2178399548463607296	Gaia EDR3 2178502485929678464

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178390473181744256	Gaia EDR3 2178375973371317760
Gaia EDR3 2178442188900684032	Gaia EDR3 2178449163927656320
Gaia EDR3 2178366288235672320	Gaia EDR3 2178468989496991872
Gaia EDR3 2178398277153034240	Gaia EDR3 2178478193593610880
Gaia EDR3 2178386216885190912	Gaia EDR3 2178372228159198976
Gaia EDR3 2178495373463094272	Gaia EDR3 2178422775648008064
Gaia EDR3 2178386659254674048	Gaia EDR3 2178403980859155200
Gaia EDR3 2178497572486351872	Gaia EDR3 2178547776372327936
Gaia EDR3 2178386972799400960	Gaia EDR3 2178416212929131904
Gaia EDR3 2178417003211880448	Gaia EDR3 2178381406521632384
Gaia EDR3 2178477201467911040	Gaia EDR3 2178382604805432960
Gaia EDR3 2178444864649304704	Gaia EDR3 2178453493249291520
Gaia EDR3 2178397796104557952	Gaia EDR3 2178500840968107904
Gaia EDR3 2178494170872259072	Gaia EDR3 2178384120940896512
Gaia EDR3 2178364119261410048	Gaia EDR3 2178443150973673600
Gaia EDR3 2178402056712608896	Gaia EDR3 2178396795378127360
Gaia EDR3 2178398139702547584	Gaia EDR3 2178373125824191232
Gaia EDR3 2178481114171398272	Gaia EDR3 2178494411390343680
Gaia EDR3 2178441364259882240	Gaia EDR3 2178495412116792320
Gaia EDR3 2178395356574973056	Gaia EDR3 2178368242432676480
Gaia EDR3 2178385632769396608	Gaia EDR3 2178350963792321792
Gaia EDR3 2178415834980579328	Gaia EDR3 2178403220648833152
Gaia EDR3 2178480873653822592	Gaia EDR3 2178551517276854528
Gaia EDR3 2178548665421445248	Gaia EDR3 2178399612876252544
Gaia EDR3 2178460777519222144	Gaia EDR3 2178483248782130304
Gaia EDR3 2178385392251185280	Gaia EDR3 2178452458154109440
Gaia EDR3 2178398723829901824	Gaia EDR3 2178351822785751552
Gaia EDR3 2178400300071029504	Gaia EDR3 2178443219694540672
Gaia EDR3 2178459639336117120	Gaia EDR3 2178498981235837568
Gaia EDR3 2178385220452497792	Gaia EDR3 2178362130707097728
Gaia EDR3 2178384460241388288	Gaia EDR3 2178388312828456832
Gaia EDR3 2178391611363553408	Gaia EDR3 2178501906119985792
Gaia EDR3 2178393569868318208	Gaia EDR3 2178284546414368896

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178376115121361792	Gaia EDR3 2178382299863453056
Gaia EDR3 2178443421539290880	Gaia EDR3 2178493792915536000
Gaia EDR3 2178403843433894912	Gaia EDR3 2178454558400616832
Gaia EDR3 2178458612855540480	Gaia EDR3 2178497508061134976
Gaia EDR3 2178441089388913920	Gaia EDR3 2178296503603577600
Gaia EDR3 2178284649493579904	Gaia EDR3 2178447514653749888
Gaia EDR3 2178395665812599040	Gaia EDR3 2178494415696764416
Gaia EDR3 2178282961560210304	Gaia EDR3 2178386045086501504
Gaia EDR3 2178387419478980480	Gaia EDR3 2178447274141920896
Gaia EDR3 2178455211241764096	Gaia EDR3 2178443941247333376
Gaia EDR3 2178446582635352576	Gaia EDR3 2178364192291683712
Gaia EDR3 2178183730636750208	Gaia EDR3 2178461602152924928
Gaia EDR3 2178399548463605760	Gaia EDR3 2178416208625369728
Gaia EDR3 2178400025193080064	Gaia EDR3 2178385460970709888
Gaia EDR3 2178484657534766848	Gaia EDR3 2178283481262296576
Gaia EDR3 2178391607051821568	Gaia EDR3 2178458028739873024
Gaia EDR3 2178477270187399680	Gaia EDR3 2178192943358094720
Gaia EDR3 2178390374413009152	Gaia EDR3 2178446793105656704
Gaia EDR3 2178443528930624512	Gaia EDR3 2178282931506499712
Gaia EDR3 2178481840032552960	Gaia EDR3 2178405080381623552
Gaia EDR3 2178454176141387776	Gaia EDR3 2178393088819611392
Gaia EDR3 2178397757451582336	Gaia EDR3 2178547742012495360
Gaia EDR3 2178400128272314752	Gaia EDR3 2178371991952807296
Gaia EDR3 2178386487456046848	Gaia EDR3 2178482110603965056
Gaia EDR3 2178441261187597056	Gaia EDR3 2178364840815981696
Gaia EDR3 2178396799672179584	Gaia EDR3 2178370961148592896
Gaia EDR3 2178400922852856448	Gaia EDR3 2178191358501972096
Gaia EDR3 2178398105354350592	Gaia EDR3 2178373739987759872
Gaia EDR3 2178191775121551232	Gaia EDR3 2178435694901392768
Gaia EDR3 2178393982185185920	Gaia EDR3 2178489154350533760
Gaia EDR3 2178469023850902016	Gaia EDR3 2178501287648141056
Gaia EDR3 2178443013534417408	Gaia EDR3 2178379344937082880
Gaia EDR3 2178374878170801792	Gaia EDR3 2178468577179971456

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178398517671433600	Gaia EDR3 2178381440881380992
Gaia EDR3 2178414937315118848	Gaia EDR3 2178192702839928320
Gaia EDR3 2178373366330246656	Gaia EDR3 2178193355674818304
Gaia EDR3 2178482110603989504	Gaia EDR3 2178550731301883008
Gaia EDR3 2178397693037492608	Gaia EDR3 2178383605532796672
Gaia EDR3 2178399204855165184	Gaia EDR3 2178499226060273280
Gaia EDR3 2178191191011144960	Gaia EDR3 2178374702060650880
Gaia EDR3 2178398891321596672	Gaia EDR3 2178367250293296000
Gaia EDR3 2178490082063903104	Gaia EDR3 2178183009082248704
Gaia EDR3 2178418137074842240	Gaia EDR3 2178455898436694016
Gaia EDR3 2178456207668556032	Gaia EDR3 2178499500938172800
Gaia EDR3 2178440573992840448	Gaia EDR3 2178443219686180608
Gaia EDR3 2178381814532956672	Gaia EDR3 2178418171442960000
Gaia EDR3 2178396589220446848	Gaia EDR3 2178352097663783168
Gaia EDR3 2178493556690430976	Gaia EDR3 2178476582992651136
Gaia EDR3 2178442841729054208	Gaia EDR3 2178192904690330496
Gaia EDR3 2178394738099687680	Gaia EDR3 2178395768891820160
Gaia EDR3 2178458986501139840	Gaia EDR3 2178184834459320192
Gaia EDR3 2178391886241444992	Gaia EDR3 2178477716863983744
Gaia EDR3 2178399342305198720	Gaia EDR3 2178384567617486080
Gaia EDR3 2178387556914944896	Gaia EDR3 2178478026089348480
Gaia EDR3 2178458677263403264	Gaia EDR3 2178452904830708480
Gaia EDR3 2178400888493119360	Gaia EDR3 2178490395607694464
Gaia EDR3 2178398036638040576	Gaia EDR3 2178479159972997504
Gaia EDR3 2178382987069801472	Gaia EDR3 2178485585244364160
Gaia EDR3 2178499019901675904	Gaia EDR3 2178459501897198848
Gaia EDR3 2178373228903661312	Gaia EDR3 2178479366135053696
Gaia EDR3 2178392740924572800	Gaia EDR3 2178351169950738048
Gaia EDR3 2178494793653876992	Gaia EDR3 2178496649079924480
Gaia EDR3 2178496133683990656	Gaia EDR3 2178362955340806656
Gaia EDR3 2178443941247336192	Gaia EDR3 2178546397675313920
Gaia EDR3 2178442635577306624	Gaia EDR3 2178184520910770432
Gaia EDR3 2178399101787006464	Gaia EDR3 2178385460970711680

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 2178183666228254720	Gaia EDR3 2178440436553895040
Gaia EDR3 2178443425852969728	Gaia EDR3 2178498568918992256
Gaia EDR3 2178401575688130688	Gaia EDR3 2178452836111221248
Gaia EDR3 2178347386072383616	Gaia EDR3 2178458784654232704
Gaia EDR3 2178441570418284160	Gaia EDR3 2178377352072226560
Gaia EDR3 2178443150973381504	Gaia EDR3 2178364329730496256
Gaia EDR3 2178383738677531008	Gaia EDR3 2178490288221999488
Gaia EDR3 2178395219136276352	Gaia EDR3 2178287673150337792
Gaia EDR3 2178478438418665344	Gaia EDR3 2178187514513649152
Gaia EDR3 2178496408549555840	Gaia EDR3 2178284786932529536
Gaia EDR3 2178481079811633536	Gaia EDR3 2178495068519330176
Gaia EDR3 2178493895994267776	Gaia EDR3 2178182738515290368
Gaia EDR3 2178417724766361344	Gaia EDR3 2178374087897102720
Gaia EDR3 2178398929988322048	Gaia EDR3 2178181535924349952
Gaia EDR3 2178397727397219328	Gaia EDR3 2178456306445470464
Gaia EDR3 2178480981026313984	Gaia EDR3 2178475930157482624
Gaia EDR3 2178396932817827200	Gaia EDR3 2178270424561755264
Gaia EDR3 2178395081697083264	Gaia EDR3 2178500566077827712
Gaia EDR3 2178397310774950912	Gaia EDR3 2178546024025529728
Gaia EDR3 2178456203365614848	Gaia EDR3 2178481152837874816
Gaia EDR3 2178399033067535104	Gaia EDR3 2178397486879068928
Gaia EDR3 2178398070994612480	Gaia EDR3 2178382604816219136
Gaia EDR3 2178386045086500096	Gaia EDR3 2178456134646688640
Gaia EDR3 2178387316396791040	Gaia EDR3 2178390271333773312
Gaia EDR3 2178477064028837760	Gaia EDR3 2178180157223888512
Gaia EDR3 2178402262882609920	Gaia EDR3 2178548223041090688
Gaia EDR3 2178400162632066944	Gaia EDR3 2178283481262295552
Gaia EDR3 2178501425071261056	Gaia EDR3 2178364845126561152
Gaia EDR3 2178283751836309632	Gaia EDR3 2178296499298478208
Gaia EDR3 2178400098219387904	Gaia EDR3 2178389790297160320
Gaia EDR3 2178445143838002304	Gaia EDR3 2178370269660786688
Gaia EDR3 2178399582823347200	Gaia EDR3 2178188712802075904
Gaia EDR3 2178499638377127424	Gaia EDR3 2178442910448516864

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178441085076757632	Gaia EDR3 2178363195859120128
Gaia EDR3 2178469951569763968	Gaia EDR3 2178402812638425472
Gaia EDR3 2178395356574973952	Gaia EDR3 2178434488015305344
Gaia EDR3 2178399372358042496	Gaia EDR3 2178498813743250176
Gaia EDR3 2178461877030836480	Gaia EDR3 2178190052831817984
Gaia EDR3 2178452870470962560	Gaia EDR3 2178399720262423936
Gaia EDR3 2178460120373168512	Gaia EDR3 2178372816574526976
Gaia EDR3 2178395631452868224	Gaia EDR3 2178372679147595008
Gaia EDR3 2178272554865694976	Gaia EDR3 2178286882876369536
Gaia EDR3 2178449919842118144	Gaia EDR3 2178452733032012032
Gaia EDR3 2178183941106142080	Gaia EDR3 2178403289367641344
Gaia EDR3 2178402675199735424	Gaia EDR3 2178362882313215872
Gaia EDR3 2178494858067043456	Gaia EDR3 2178399754622027264
Gaia EDR3 2178493591063053568	Gaia EDR3 2178174251654648064
Gaia EDR3 2178402606480266112	Gaia EDR3 2178420095588101248
Gaia EDR3 2178502421516251776	Gaia EDR3 2178399204855156992
Gaia EDR3 2178296744121734912	Gaia EDR3 2178498332707089664
Gaia EDR3 2178442154540783104	Gaia EDR3 2178482626000043136
Gaia EDR3 2178382128076125824	Gaia EDR3 2178395906334177280
Gaia EDR3 2178461636512768384	Gaia EDR3 2178188987680025984
Gaia EDR3 2178386040790094976	Gaia EDR3 2178284546414371328
Gaia EDR3 2178477167108169088	Gaia EDR3 2178191087931932288
Gaia EDR3 2178476479900680576	Gaia EDR3 2178398895628581888
Gaia EDR3 2178386697921507712	Gaia EDR3 2178459540568457216
Gaia EDR3 2178289081892933760	Gaia EDR3 2178270458914488064
Gaia EDR3 2178400922841275776	Gaia EDR3 2178190332017710464
Gaia EDR3 2178398895628585984	Gaia EDR3 2178548459259873280
Gaia EDR3 2178386968493741184	Gaia EDR3 2178392779581997568
Gaia EDR3 2178495171611164672	Gaia EDR3 2178457165438926336
Gaia EDR3 2178452531183726336	Gaia EDR3 2178367868769243136
Gaia EDR3 2178186204541008128	Gaia EDR3 2178188682750290176
Gaia EDR3 2178415044706597376	Gaia EDR3 2178397486879067392
Gaia EDR3 2178191667739681024	Gaia EDR3 2178459265683723648

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2178493453624098432	Gaia EDR3 2178494617548834560
Gaia EDR3 2178391920601183232	Gaia EDR3 2178550662590237184
Gaia EDR3 2178480981039269120	Gaia EDR3 2178367387751100800
Gaia EDR3 2178440947639110272	Gaia EDR3 2178193248287716096
Gaia EDR3 2178547226616420864	Gaia EDR3 2178365532321463680
Gaia EDR3 2178403564246503808	Gaia EDR3 2178481767006507392
Gaia EDR3 2178442253309193472	Gaia EDR3 2178290731160702080
Gaia EDR3 2178434281856155136	Gaia EDR3 2178547948170912896
Gaia EDR3 2178386079446237184	Gaia EDR3 2178546436342441600
Gaia EDR3 2178494651912683136	Gaia EDR3 2178547398416755584
Gaia EDR3 2178391336485635200	Gaia EDR3 2178192943358093952
Gaia EDR3 2178368963984955520	Gaia EDR3 2178391572705180544
Gaia EDR3 2178396627885621888	Gaia EDR3 2178476853571872896
Gaia EDR3 2178387002852102400	Gaia EDR3 2178458372337246080
Gaia EDR3 2178401816206294656	Gaia EDR3 2178443318472418560
Gaia EDR3 2178398547733899776	Gaia EDR3 2178369827274765312
Gaia EDR3 2178393054472272000	Gaia EDR3 2178178684066204672
Gaia EDR3 2178489261736491136	Gaia EDR3 2178347557871090560
Gaia EDR3 2178385323531719296	Gaia EDR3 2178347390365452544
Gaia EDR3 2178369170143554048	Gaia EDR3 2178450705807741952
Gaia EDR3 2178395356574976256	

TABELLE B.5: Die 373 identifizierten Mitglieder des Sternhaufens NGC 7243 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden Stern ist der dazugehörige EDR3-Name aufgeführt.

Name	Name
Gaia EDR3 1999980250435476992	Gaia EDR3 2000727815260482688
Gaia EDR3 1999977158058808704	Gaia EDR3 2000003237100891648
Gaia EDR3 1999953896515501568	Gaia EDR3 1999971866658781056
Gaia EDR3 2000017496392698752	Gaia EDR3 1999985060798791168
Gaia EDR3 1999975165193641216	Gaia EDR3 1999991520430392576
Gaia EDR3 1999940221338652672	Gaia EDR3 2000727402943820416
Gaia EDR3 1976703898512217344	Gaia EDR3 1999971488701659264
Gaia EDR3 2000013265837713408	Gaia EDR3 1999981453026026880

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2000745166928284800	Gaia EDR3 1999914795131670784
Gaia EDR3 1999959600232642176	Gaia EDR3 1999969805074278400
Gaia EDR3 2000744342294576128	Gaia EDR3 1999989561925582848
Gaia EDR3 1999981040709167744	Gaia EDR3 1999982999214196096
Gaia EDR3 2000734000013577088	Gaia EDR3 1999976367784464128
Gaia EDR3 2000744720238759680	Gaia EDR3 2000011174200859648
Gaia EDR3 1975949251267825152	Gaia EDR3 1999977261138005888
Gaia EDR3 1999993513295213312	Gaia EDR3 1976704963664225152
Gaia EDR3 2000732178947214080	Gaia EDR3 1999969942513264896
Gaia EDR3 1999975199553380480	Gaia EDR3 1976706269334276736
Gaia EDR3 1999972622563863424	Gaia EDR3 1999978876045710976
Gaia EDR3 1999983201067779328	Gaia EDR3 1999983617692166656
Gaia EDR3 2000728021418923264	Gaia EDR3 1999976780101400832
Gaia EDR3 1999961112061129984	Gaia EDR3 1999966158632840064
Gaia EDR3 1999964685473519104	Gaia EDR3 1999966678338622720
Gaia EDR3 1999957023251674112	Gaia EDR3 2000731732270814848
Gaia EDR3 1999970144363158784	Gaia EDR3 1999965097790681984
Gaia EDR3 1976705165517059328	Gaia EDR3 2000006604355717632
Gaia EDR3 1999962795688257792	Gaia EDR3 1999964582385879168
Gaia EDR3 1999993062310744064	Gaia EDR3 1999977329857476224
Gaia EDR3 1999986984937990528	Gaia EDR3 1999980662752428416
Gaia EDR3 1975949083778868608	Gaia EDR3 1999981349946791552
Gaia EDR3 2000740081687425920	Gaia EDR3 1999986916225241728
Gaia EDR3 1999967601746941440	Gaia EDR3 1999975062114433024
Gaia EDR3 1999908159401558144	Gaia EDR3 1999956507855675520
Gaia EDR3 1999980555363200640	Gaia EDR3 1999979528873358976
Gaia EDR3 1976727980383650432	Gaia EDR3 2000744823331087872
Gaia EDR3 1999969835125817856	Gaia EDR3 1999965029071198080
Gaia EDR3 1999964410595629568	Gaia EDR3 2000727471663111168
Gaia EDR3 1999958118454558208	Gaia EDR3 2000726062913662848
Gaia EDR3 1999971827993661184	Gaia EDR3 1999983789488514176
Gaia EDR3 2000763961706104064	Gaia EDR3 1999965235229612672
Gaia EDR3 1999984511042984192	Gaia EDR3 1999980181716009600

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 1999983445890825728	Gaia EDR3 1999961696176667136
Gaia EDR3 1999975886748126080	Gaia EDR3 2000003546338794112
Gaia EDR3 1999994887685045376	Gaia EDR3 2000005229959360640
Gaia EDR3 1999965407028293632	Gaia EDR3 1975953275666920192
Gaia EDR3 1999958363281681024	Gaia EDR3 1999977742166167808
Gaia EDR3 2000724585444931712	Gaia EDR3 1999952590845485696
Gaia EDR3 1999968705562675328	Gaia EDR3 1999977192418540160
Gaia EDR3 1999980521003463424	Gaia EDR3 1999976161626036736
Gaia EDR3 1999967743492805504	Gaia EDR3 1999913283303046656
Gaia EDR3 1999983239732707328	Gaia EDR3 1975948430943858304
Gaia EDR3 1999958569440105088	Gaia EDR3 1999987191103131136
Gaia EDR3 2000754164873155200	Gaia EDR3 1999975027754696320
Gaia EDR3 2000739360132884736	Gaia EDR3 1999977982692477056
Gaia EDR3 1999994612807153536	Gaia EDR3 1999969667635327872
Gaia EDR3 1999983269785119360	Gaia EDR3 1999981040709171584
Gaia EDR3 1999959497153129088	Gaia EDR3 1999970492269288192
Gaia EDR3 1999978017052205952	Gaia EDR3 2000729601966859392
Gaia EDR3 1999951388245345152	Gaia EDR3 1999967674770399872
Gaia EDR3 2000003237100892288	Gaia EDR3 2000009456213708288
Gaia EDR3 1999992173265442944	Gaia EDR3 1999981143788120448
Gaia EDR3 1999965819345194240	Gaia EDR3 2000748362383934976
Gaia EDR3 1975948602742543360	Gaia EDR3 1999978257570394240
Gaia EDR3 1999934448902449408	Gaia EDR3 1999979597600471680
Gaia EDR3 2000003889936138752	Gaia EDR3 1999977226778269952
Gaia EDR3 1976704516987521536	Gaia EDR3 2000763480670368640
Gaia EDR3 2000730491012542336	Gaia EDR3 2000755612276254464
Gaia EDR3 1999965780677212672	Gaia EDR3 1999935204816898048
Gaia EDR3 1999970560988770816	Gaia EDR3 2000728983491411200
Gaia EDR3 1999972790063362176	Gaia EDR3 1999975852388387584
Gaia EDR3 1999979799451160704	Gaia EDR3 1999977295500259200
Gaia EDR3 1999969220958736256	Gaia EDR3 2000734201862918144
Gaia EDR3 1999979563240731776	Gaia EDR3 2000731560471947776
Gaia EDR3 1999974886007943168	Gaia EDR3 2000004852008785920

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 1999980868910224256	Gaia EDR3 2000731182514826496
Gaia EDR3 2000739531931620736	Gaia EDR3 1999983819541126144
Gaia EDR3 2000727020677504384	Gaia EDR3 1999988840370853248
Gaia EDR3 2000729464527746304	Gaia EDR3 1999938297193092352
Gaia EDR3 1976705341621231872	Gaia EDR3 1999972725652023936
Gaia EDR3 1999940801147882624	Gaia EDR3 1999965338308823296
Gaia EDR3 1999981246867574912	Gaia EDR3 1999908610378406528
Gaia EDR3 1999983342811613952	Gaia EDR3 1999962383363394944
Gaia EDR3 1999983411531082112	Gaia EDR3 2000731590524250368
Gaia EDR3 2000003988704767232	Gaia EDR3 1999981036401568640
Gaia EDR3 1999981556105238016	Gaia EDR3 1975949560505518976
Gaia EDR3 2000729494580103168	Gaia EDR3 1999976707072522368
Gaia EDR3 1999984373604037632	Gaia EDR3 2000727987059187200
Gaia EDR3 1999965475747830656	Gaia EDR3 2000759494940185216
Gaia EDR3 2000728227577525888	Gaia EDR3 1999976642662733568
Gaia EDR3 1999977467296427776	Gaia EDR3 1999978498088534912
Gaia EDR3 1999981453026029312	Gaia EDR3 1999959084836270080
Gaia EDR3 1999989939882183680	Gaia EDR3 2000728365016289920
Gaia EDR3 1999972244615846656	Gaia EDR3 1999991417351174784
Gaia EDR3 2000003305820369280	Gaia EDR3 1999957195050364160
Gaia EDR3 1999977982692474880	Gaia EDR3 1999991142472999680
Gaia EDR3 1999938125394418304	Gaia EDR3 1975953859777849856
Gaia EDR3 1999973859523374336	Gaia EDR3 1999936922803599104
Gaia EDR3 2000737539066599168	Gaia EDR3 1999956164258293248
Gaia EDR3 1999972897450711808	Gaia EDR3 2000744514093457792
Gaia EDR3 1999976402146936064	Gaia EDR3 1999940702374969344
Gaia EDR3 2000759357501234304	Gaia EDR3 1999979975557295744
Gaia EDR3 2000725925474717056	Gaia EDR3 1999991932747285888
Gaia EDR3 1999981418666294272	Gaia EDR3 1999978047104225280
Gaia EDR3 2000016328161634176	Gaia EDR3 1999982243299719296
Gaia EDR3 1999985301310885632	Gaia EDR3 1999979116566388480
Gaia EDR3 2000729258369492224	Gaia EDR3 1999938056674932608
Gaia EDR3 1999980009917319808	Gaia EDR3 2000748014479505664

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung	
Name	Name
Gaia EDR3 1999993822533103232	Gaia EDR3 1999975062114435456
Gaia EDR3 1999966953216515200	Gaia EDR3 1999973550288604288
Gaia EDR3 1999979975557290112	Gaia EDR3 1999984030006672640
Gaia EDR3 1999992173265436032	Gaia EDR3 1976704242112978560
Gaia EDR3 1999967502972587008	Gaia EDR3 2000007635147383040
Gaia EDR3 1999980250435477760	Gaia EDR3 1999976711382202880
Gaia EDR3 1999966678338625920	Gaia EDR3 2000724581135983488
Gaia EDR3 1999983067933729664	Gaia EDR3 2000725891114977408
Gaia EDR3 2000726509595422592	Gaia EDR3 1999968087087395456
Gaia EDR3 1999975680589697920	Gaia EDR3 1999979116564139776
Gaia EDR3 1999975508791016576	Gaia EDR3 1999972175896219264
Gaia EDR3 2000752794777824256	Gaia EDR3 1999989939882185728
Gaia EDR3 1999965029071193728	Gaia EDR3 1999977432939211392
Gaia EDR3 1999990283479571968	Gaia EDR3 1999938640790477184
Gaia EDR3 2000738329340760576	Gaia EDR3 1999982449458385664
Gaia EDR3 2000003958655393280	Gaia EDR3 1999981242562879744
Gaia EDR3 2000752004516384000	Gaia EDR3 1999982689976570496
Gaia EDR3 1999956988891942016	Gaia EDR3 2000004027374865280
Gaia EDR3 2000738638583103872	Gaia EDR3 2000735546206710656
Gaia EDR3 1999964479315097600	Gaia EDR3 1999913283303049472
Gaia EDR3 1976705371675462656	Gaia EDR3 1999983205372969856
Gaia EDR3 1999977707814321152	Gaia EDR3 2000008283681517696
Gaia EDR3 2000727093706005248	Gaia EDR3 1999973447206503552
Gaia EDR3 1999986499597954176	Gaia EDR3 1999983235425363200
Gaia EDR3 1999963104926104320	Gaia EDR3 1999978291930127360
Gaia EDR3 1999983136653199872	Gaia EDR3 1999976088599233792
Gaia EDR3 1999974237480683392	Gaia EDR3 2000724929042316928
Gaia EDR3 2000737710865282944	Gaia EDR3 1999957122021668352
Gaia EDR3 2000753752559867520	Gaia EDR3 2000729327088962816
Gaia EDR3 2000732969221447808	Gaia EDR3 2000738982175595136
Gaia EDR3 1999966884497044608	Gaia EDR3 1975935614761461632
Gaia EDR3 1999969216654448000	Gaia EDR3 1999974649797570944
Gaia EDR3 1999958363281680512	Gaia EDR3 1976722521490507008

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 2000729258369488640	Gaia EDR3 1999971591781050752
Gaia EDR3 1999962074133963648	Gaia EDR3 2000733553336994688
Gaia EDR3 1999981487385757824	Gaia EDR3 1999938365916915968
Gaia EDR3 1999978257570397184	Gaia EDR3 1999979082204130432
Gaia EDR3 1999965784985453824	Gaia EDR3 2000733622056473472
Gaia EDR3 1999984820280631680	Gaia EDR3 2000797290653916032
Gaia EDR3 1999932902714256512	Gaia EDR3 1999978257570389376
Gaia EDR3 1999977604735106560	Gaia EDR3 1999992070186235520
Gaia EDR3 1999985747994144000	Gaia EDR3 1999978910405713792
Gaia EDR3 1999970526629027712	Gaia EDR3 2000726337791768192
Gaia EDR3 1999965815044179072	Gaia EDR3 1999964131409486848
Gaia EDR3 1999967777849613312	Gaia EDR3 2000738329340762496
Gaia EDR3 2000726337791768832	Gaia EDR3 2000755681008557568
Gaia EDR3 1999991657862733056	Gaia EDR3 1999970526629163776
Gaia EDR3 1999978498088534272	Gaia EDR3 1999976745741661056
Gaia EDR3 1999960351837683968	Gaia EDR3 1999976883180611200
Gaia EDR3 1999988771651376256	Gaia EDR3 1999965991143872000
Gaia EDR3 2000007566428089216	Gaia EDR3 1999992860460445824
Gaia EDR3 1999963581652475136	Gaia EDR3 2000003237102025600
Gaia EDR3 1999975508791021056	Gaia EDR3 1976708842009149952
Gaia EDR3 1999941114691824512	Gaia EDR3 1999954446271609344
Gaia EDR3 2000007875665742208	Gaia EDR3 1999981929755177216
Gaia EDR3 2000733828214889856	Gaia EDR3 1999995815397966848
Gaia EDR3 1999977020619852416	Gaia EDR3 2000733622056476288
Gaia EDR3 1976704998023962624	Gaia EDR3 2000803475407000064
Gaia EDR3 2000764202224262144	Gaia EDR3 1999980490953658624
Gaia EDR3 1999954171393653632	Gaia EDR3 1999904929577847296
Gaia EDR3 2000752794790573312	Gaia EDR3 2000727128065738112
Gaia EDR3 1999981487385762432	Gaia EDR3 2000751214242617088
Gaia EDR3 2000736954951265920	Gaia EDR3 1999957435568768640
Gaia EDR3 2000733278459076352	Gaia EDR3 1975952897709807360
Gaia EDR3 2000007154111526144	Gaia EDR3 1999966609619158144
Gaia EDR3 1999958569440105856	Gaia EDR3 2000734687208336128

B.1. Mitglieder der YETI-Sternhaufen

Fortsetzung

Name	Name
Gaia EDR3 1999976608302716672	Gaia EDR3 1999990627077212800
Gaia EDR3 2000735683645669120	Gaia EDR3 1999979357082318080
Gaia EDR3 1999977879613000832	Gaia EDR3 1999981139480744960
Gaia EDR3 1999976883180613376	Gaia EDR3 1976708915033983232
Gaia EDR3 1999973344118295168	Gaia EDR3 2000742349429762176
Gaia EDR3 1999957950964601216	Gaia EDR3 2000013368918479104
Gaia EDR3 2000725478798116864	Gaia EDR3 1999965200869872384
Gaia EDR3 2000736851872045696	Gaia EDR3 2000754405391402496
Gaia EDR3 2000010796243737344	Gaia EDR3 1999955713271352320
Gaia EDR3 1999953862155768960	Gaia EDR3 2000726848878810240
Gaia EDR3 1999967021935996032	Gaia EDR3 2000742521233478144
Gaia EDR3 1999935170457159168	Gaia EDR3 1999965299640945280
Gaia EDR3 1999962795688264704	Gaia EDR3 1975953172587708160
Gaia EDR3 1999981796623387136	

B.2 Berechnete Helligkeiten und Farben

TABELLE B.6: Wahrscheinlichste Mitglieder des Sternhaufens IC 348 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden der 282 Sterne ist deren absolute Helligkeit im G -Band und die intrinsische Farbe angegeben.

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216681585416313216	$-0,911^{+0,165}_{-0,200}$	$-0,968^{+0,174}_{-0,277}$
Gaia EDR3 216714467685880320	$-0,769^{+0,073}_{-0,071}$	$-0,001^{+0,071}_{-0,110}$
Gaia EDR3 216681344898253440	$-0,487^{+0,148}_{-0,172}$	$-1,166^{+0,186}_{-0,294}$
Gaia EDR3 216681207459195392	$-0,350^{+0,153}_{-0,176}$	$-1,251^{+0,186}_{-0,294}$
Gaia EDR3 216648703146774016	$-0,186^{+0,075}_{-0,101}$	$-0,427^{+0,089}_{-0,141}$
Gaia EDR3 216679558191760640	$-0,087^{+0,129}_{-0,077}$	$-0,589^{+0,097}_{-0,148}$
Gaia EDR3 217336825626699008	$0,023^{+0,472}_{-0,258}$	$-0,045^{+0,419}_{-0,643}$
Gaia EDR3 216678076426514304	$0,127^{+0,139}_{-0,180}$	$-0,173^{+0,177}_{-0,280}$
Gaia EDR3 216681688495526016	$0,828^{+0,146}_{-0,169}$	$-0,699^{+0,187}_{-0,295}$
Gaia EDR3 216678385665110912	$0,839^{+0,149}_{-0,177}$	$-0,411^{+0,188}_{-0,296}$
Gaia EDR3 216590390373910912	$1,105^{+0,069}_{-0,162}$	$-0,312^{+0,147}_{-0,238}$
Gaia EDR3 216630144591496832	$1,190^{+0,145}_{-0,146}$	$-0,284^{+0,166}_{-0,261}$
Gaia EDR3 216681757213399936	$1,594^{+0,185}_{-0,249}$	$0,156^{+0,197}_{-0,300}$
Gaia EDR3 217344041171754368	$1,629^{+0,074}_{-0,069}$	$-0,086^{+0,075}_{-0,116}$
Gaia EDR3 216681276178672000	$1,646^{+0,158}_{-0,176}$	$-0,489^{+0,188}_{-0,296}$
Gaia EDR3 216711237870475904	$2,037^{+0,055}_{-0,081}$	$0,840^{+0,059}_{-0,093}$
Gaia EDR3 216628838921440128	$2,064^{+0,287}_{-0,728}$	$0,051^{+0,685}_{-1,117}$
Gaia EDR3 216668803593749888	$2,081^{+0,162}_{-0,093}$	$-0,544^{+0,131}_{-0,197}$
Gaia EDR3 216701406688870400	$2,200^{+0,099}_{-0,070}$	$0,320^{+0,085}_{-0,130}$
Gaia EDR3 217358644060557696	$2,324^{+0,067}_{-0,091}$	$0,494^{+0,087}_{-0,137}$
Gaia EDR3 216677530967198208	$2,384^{+0,153}_{-0,087}$	$0,682^{+0,126}_{-0,186}$
Gaia EDR3 216681581120776576	$2,397^{+0,157}_{-0,184}$	$-0,114^{+0,192}_{-0,300}$
Gaia EDR3 216708248573262592	$2,448^{+0,077}_{-0,056}$	$0,494^{+0,062}_{-0,094}$
Gaia EDR3 216677977643791232	$2,471^{+0,127}_{-0,181}$	$-0,054^{+0,185}_{-0,288}$
Gaia EDR3 216678080723006464	$2,520^{+0,157}_{-0,176}$	$0,062^{+0,191}_{-0,299}$
Gaia EDR3 217349057693547008	$2,775^{+0,091}_{-0,066}$	$0,715^{+0,082}_{-0,125}$
Gaia EDR3 216570775259098752	$2,818^{+1,542}_{-0,761}$	$0,244^{+1,351}_{-2,075}$
Gaia EDR3 216678389960645888	$2,846^{+0,159}_{-0,177}$	$0,125^{+0,197}_{-0,305}$

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung		
Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216681791574735744	$2,884^{+0,166}_{-0,183}$	$0,142^{+0,203}_{-0,311}$
Gaia EDR3 216683406482466816	$3,052^{+0,349}_{-0,299}$	$0,609^{+0,397}_{-0,619}$
Gaia EDR3 216678115082741248	$3,127^{+0,179}_{-0,269}$	$0,626^{+0,307}_{-0,462}$
Gaia EDR3 216678012003529984	$3,167^{+0,161}_{-0,197}$	$0,300^{+0,194}_{-0,303}$
Gaia EDR3 216678389960646912	$3,252^{+0,803}_{-0,648}$	$0,833^{+0,836}_{-1,308}$
Gaia EDR3 216682513129244928	$3,344^{+0,176}_{-0,202}$	$0,516^{+0,197}_{-0,306}$
Gaia EDR3 216678424320382848	$3,466^{+0,185}_{-0,285}$	$1,105^{+0,273}_{-0,427}$
Gaia EDR3 216678493039858560	$3,488^{+0,178}_{-0,201}$	$0,215^{+0,193}_{-0,302}$
Gaia EDR3 216677565326935808	$3,513^{+0,158}_{-0,098}$	$0,468^{+0,129}_{-0,189}$
Gaia EDR3 216681516696833408	$3,588^{+0,185}_{-0,215}$	$0,472^{+0,206}_{-0,314}$
Gaia EDR3 216678321241170432	$3,595^{+0,149}_{-0,202}$	$0,657^{+0,197}_{-0,300}$
Gaia EDR3 216676775052953216	$3,647^{+0,178}_{-0,110}$	$0,510^{+0,194}_{-0,254}$
Gaia EDR3 217415715585859328	$3,672^{+0,039}_{-0,088}$	$0,650^{+0,075}_{-0,120}$
Gaia EDR3 216678286881434240	$3,701^{+0,182}_{-0,209}$	$0,712^{+0,208}_{-0,317}$
Gaia EDR3 216678321241170304	$3,718^{+0,170}_{-0,186}$	$0,806^{+0,200}_{-0,309}$
Gaia EDR3 216587405372443904	$3,729^{+0,356}_{-0,723}$	$0,731^{+0,728}_{-1,159}$
Gaia EDR3 216681688495523712	$3,757^{+0,154}_{-0,197}$	$0,650^{+0,187}_{-0,290}$
Gaia EDR3 216575791780899200	$3,763^{+0,220}_{-0,152}$	$1,146^{+0,178}_{-0,257}$
Gaia EDR3 216629874010075776	$3,774^{+0,837}_{-0,640}$	$0,586^{+0,887}_{-1,389}$
Gaia EDR3 216678935420000128	$3,796^{+0,230}_{-0,404}$	$0,602^{+0,340}_{-0,504}$
Gaia EDR3 216679210297911680	$3,824^{+0,753}_{-0,718}$	$0,631^{+0,857}_{-1,327}$
Gaia EDR3 216680692063125504	$3,850^{+0,142}_{-0,072}$	$0,702^{+0,114}_{-0,170}$
Gaia EDR3 216682444409767552	$3,878^{+0,174}_{-0,203}$	$1,144^{+0,205}_{-0,313}$
Gaia EDR3 216682444409767936	$3,882^{+0,183}_{-0,197}$	$0,651^{+0,218}_{-0,326}$
Gaia EDR3 216683406482466688	$3,883^{+0,074}_{-0,145}$	$0,920^{+0,131}_{-0,209}$
Gaia EDR3 216680795142439936	$3,960^{+0,180}_{-0,207}$	$0,716^{+0,206}_{-0,315}$
Gaia EDR3 216681585416314368	$3,985^{+0,186}_{-0,234}$	$0,667^{+0,204}_{-0,312}$
Gaia EDR3 216587405372444032	$3,990^{+0,454}_{-0,864}$	$0,921^{+0,877}_{-1,362}$
Gaia EDR3 216702647935913344	$4,033^{+0,084}_{-0,059}$	$1,100^{+0,065}_{-0,097}$
Gaia EDR3 216585721745264896	$4,094^{+0,120}_{-0,128}$	$0,823^{+0,127}_{-0,189}$
Gaia EDR3 216682444409768320	$4,132^{+0,181}_{-0,216}$	$0,736^{+0,208}_{-0,317}$
Gaia EDR3 216678458680119168	$4,161^{+0,181}_{-0,233}$	$1,059^{+0,223}_{-0,326}$
Gaia EDR3 217475123573808000	$4,222^{+0,070}_{-0,068}$	$1,152^{+0,074}_{-0,112}$

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216572252727848320	4, 268 ^{+0,273} _{-0,200}	1, 014 ^{+0,166} _{-0,240}
Gaia EDR3 216706358787662208	4, 320 ^{+0,177} _{-0,113}	1, 120 ^{+0,127} _{-0,187}
Gaia EDR3 216681654135789696	4, 324 ^{+0,181} _{-0,216}	0, 805 ^{+0,217} _{-0,320}
Gaia EDR3 216681551056567424	4, 348 ^{+0,176} _{-0,224}	1, 137 ^{+0,205} _{-0,308}
Gaia EDR3 216678493039859328	4, 348 ^{+0,203} _{-0,259}	0, 718 ^{+0,247} _{-0,350}
Gaia EDR3 216701445345078144	4, 353 ^{+0,099} _{-0,079}	0, 718 ^{+0,086} _{-0,131}
Gaia EDR3 216680863861815680	4, 405 ^{+0,227} _{-0,246}	0, 807 ^{+0,293} _{-0,401}
Gaia EDR3 216678145146947712	4, 432 ^{+0,193} _{-0,216}	1, 245 ^{+0,208} _{-0,316}
Gaia EDR3 216679210297924096	4, 452 ^{+0,213} _{-0,442}	0, 209 ^{+0,425} _{-0,585}
Gaia EDR3 216684162396621952	4, 558 ^{+0,300} _{-0,102}	1, 027 ^{+0,208} _{-0,310}
Gaia EDR3 216669658291208448	4, 590 ^{+0,207} _{-0,184}	1, 228 ^{+0,250} _{-0,310}
Gaia EDR3 216677840204841728	4, 604 ^{+0,220} _{-0,218}	0, 467 ^{+0,227} _{-0,323}
Gaia EDR3 216678660542082560	4, 607 ^{+1,616} _{-1,529}	0, 960 ^{+1,916} _{-3,017}
Gaia EDR3 216701033028221440	4, 616 ^{+0,119} _{-0,093}	1, 547 ^{+0,119} _{-0,164}
Gaia EDR3 216705053117726464	4, 633 ^{+0,177} _{-0,102}	0, 664 ^{+0,128} _{-0,188}
Gaia EDR3 216694710836359296	4, 735 ^{+0,125} _{-0,074}	1, 302 ^{+0,098} _{-0,148}
Gaia EDR3 216702029460632832	4, 749 ^{+0,207} _{-0,228}	1, 110 ^{+0,220} _{-0,328}
Gaia EDR3 216681615480515200	4, 801 ^{+0,265} _{-0,353}	0, 920 ^{+0,308} _{-0,411}
Gaia EDR3 216678252521690624	4, 809 ^{+0,213} _{-0,219}	0, 603 ^{+0,244} _{-0,352}
Gaia EDR3 216678458680118912	4, 814 ^{+0,200} _{-0,261}	0, 783 ^{+0,342} _{-0,445}
Gaia EDR3 216701995100897024	4, 826 ^{+0,790} _{-0,659}	1, 654 ^{+0,845} _{-1,318}
Gaia EDR3 216653891467180288	4, 859 ^{+0,103} _{-0,081}	1, 747 ^{+0,091} _{-0,136}
Gaia EDR3 216676878132165632	4, 927 ^{+0,225} _{-0,185}	1, 723 ^{+0,136} _{-0,196}
Gaia EDR3 216705053117608960	4, 962 ^{+0,253} _{-0,335}	1, 527 ^{+0,322} _{-0,477}
Gaia EDR3 216613999810965760	4, 984 ^{+0,126} _{-0,162}	1, 144 ^{+0,159} _{-0,244}
Gaia EDR3 216681207459196160	5, 023 ^{+1,063} _{-0,795}	1, 242 ^{+1,098} _{-1,698}
Gaia EDR3 216706221348706432	5, 046 ^{+0,191} _{-0,118}	1, 125 ^{+0,127} _{-0,187}
Gaia EDR3 217356513756699392	5, 056 ^{+0,223} _{-0,084}	1, 467 ^{+0,151} _{-0,223}
Gaia EDR3 216674674813091072	5, 062 ^{+1,190} _{-1,021}	1, 117 ^{+1,273} _{-1,930}
Gaia EDR3 216627709346568704	5, 093 ^{+0,179} _{-0,132}	1, 048 ^{+0,175} _{-0,245}
Gaia EDR3 216677805845105408	5, 104 ^{+0,182} _{-0,118}	1, 176 ^{+0,143} _{-0,202}
Gaia EDR3 216682547488981504	5, 108 ^{+0,194} _{-0,127}	1, 142 ^{+0,146} _{-0,205}
Gaia EDR3 216681585416316032	5, 148 ^{+0,212} _{-0,273}	1, 252 ^{+0,234} _{-0,337}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216718693932112000	5, 153 ^{+0,187} _{-0,121}	1, 792 ^{+0,150} _{-0,210}
Gaia EDR3 216678424320384128	5, 181 ^{+0,230} _{-0,254}	1, 462 ^{+0,312} _{-0,420}
Gaia EDR3 216668013318136320	5, 185 ^{+0,337} _{-0,320}	1, 144 ^{+0,264} _{-0,325}
Gaia EDR3 216706324427926912	5, 226 ^{+0,195} _{-0,156}	1, 229 ^{+0,176} _{-0,235}
Gaia EDR3 216680928285636096	5, 312 ^{+0,209} _{-0,275}	0, 928 ^{+0,232} _{-0,335}
Gaia EDR3 216676190937404160	5, 321 ^{+1,667} _{-1,579}	1, 491 ^{+1,995} _{-3,096}
Gaia EDR3 216677530967199232	5, 328 ^{+0,205} _{-0,161}	1, 358 ^{+0,147} _{-0,207}
Gaia EDR3 216705048821756544	5, 363 ^{+0,264} _{-0,318}	1, 268 ^{+0,232} _{-0,335}
Gaia EDR3 216707011622683392	5, 394 ^{+0,194} _{-0,125}	1, 299 ^{+0,144} _{-0,204}
Gaia EDR3 216676328376452224	5, 395 ^{+0,244} _{-0,154}	1, 878 ^{+0,176} _{-0,236}
Gaia EDR3 216706049550020224	5, 429 ^{+0,255} _{-0,134}	1, 244 ^{+0,214} _{-0,270}
Gaia EDR3 216727627465671552	5, 471 ^{+0,059} _{-0,076}	1, 475 ^{+0,065} _{-0,099}
Gaia EDR3 216676912491904512	5, 534 ^{+0,238} _{-0,187}	1, 496 ^{+0,141} _{-0,201}
Gaia EDR3 216674159417196416	5, 566 ^{+0,337} _{-0,336}	0, 710 ^{+0,277} _{-0,348}
Gaia EDR3 216705121837081600	5, 698 ^{+0,127} _{-0,093}	1, 407 ^{+0,082} _{-0,114}
Gaia EDR3 216701922085898112	5, 772 ^{+0,279} _{-0,379}	1, 447 ^{+0,414} _{-0,569}
Gaia EDR3 216678252521690368	5, 829 ^{+0,835} _{-0,698}	1, 741 ^{+0,898} _{-1,371}
Gaia EDR3 216571836115337472	5, 843 ^{+0,607} _{-0,436}	1, 363 ^{+0,573} _{-0,838}
Gaia EDR3 216701033028221312	5, 868 ^{+0,117} _{-0,099}	2, 085 ^{+0,099} _{-0,144}
Gaia EDR3 216701926381419264	5, 870 ^{+0,267} _{-0,309}	0, 847 ^{+0,319} _{-0,422}
Gaia EDR3 216673678380015232	5, 871 ^{+0,774} _{-0,326}	2, 179 ^{+0,622} _{-0,905}
Gaia EDR3 216588638027403904	5, 872 ^{+0,467} _{-0,162}	1, 935 ^{+0,317} _{-0,431}
Gaia EDR3 216714158448241792	5, 901 ^{+0,090} _{-0,079}	1, 627 ^{+0,076} _{-0,115}
Gaia EDR3 216693954922130432	5, 922 ^{+0,174} _{-0,120}	1, 546 ^{+0,136} _{-0,186}
Gaia EDR3 216653513510060032	5, 943 ^{+0,129} _{-0,099}	1, 785 ^{+0,162} _{-0,207}
Gaia EDR3 216680623343650176	5, 952 ^{+0,160} _{-0,096}	1, 514 ^{+0,113} _{-0,164}
Gaia EDR3 216705156196822016	5, 957 ^{+0,241} _{-0,164}	1, 906 ^{+0,176} _{-0,235}
Gaia EDR3 216678454384591616	6, 010 ^{+0,371} _{-0,480}	1, 041 ^{+0,424} _{-0,578}
Gaia EDR3 216705843391582976	6, 032 ^{+0,200} _{-0,154}	1, 712 ^{+0,174} _{-0,234}
Gaia EDR3 216677153010066048	6, 037 ^{+1,519} _{-1,321}	1, 546 ^{+1,736} _{-2,730}
Gaia EDR3 216705190554952832	6, 093 ^{+0,143} _{-0,122}	2, 274 ^{+0,104} _{-0,136}
Gaia EDR3 216718522135040256	6, 096 ^{+0,105} _{-0,080}	1, 686 ^{+0,066} _{-0,093}
Gaia EDR3 216692511813123456	6, 105 ^{+0,153} _{-0,117}	1, 826 ^{+0,128} _{-0,190}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216676671973739392	6, 105 ^{+0,230} _{-0,173}	1, 287 ^{+0,232} _{-0,292}
Gaia EDR3 216629530412699008	6, 116 ^{+1,470} _{-1,254}	2, 174 ^{+1,662} _{-2,607}
Gaia EDR3 216679382096866944	6, 117 ^{+1,854} _{-1,885}	1, 411 ^{+2,180} _{-3,406}
Gaia EDR3 216695569829819520	6, 193 ^{+0,142} _{-0,102}	1, 722 ^{+0,108} _{-0,157}
Gaia EDR3 216681516696832512	6, 205 ^{+1,128} _{-0,848}	1, 281 ^{+1,176} _{-1,776}
Gaia EDR3 216694672181012864	6, 206 ^{+0,272} _{-0,187}	1, 992 ^{+0,253} _{-0,313}
Gaia EDR3 216678527399593728	6, 226 ^{+0,870} _{-0,733}	1, 876 ^{+1,016} _{-1,489}
Gaia EDR3 216705151900720768	6, 235 ^{+0,213} _{-0,189}	1, 695 ^{+0,189} _{-0,248}
Gaia EDR3 216678149442478080	6, 262 ^{+0,341} _{-0,484}	1, 317 ^{+0,292} _{-0,395}
Gaia EDR3 216682547488981248	6, 285 ^{+0,256} _{-0,172}	1, 479 ^{+0,208} _{-0,267}
Gaia EDR3 216706732448557568	6, 304 ^{+0,217} _{-0,155}	1, 912 ^{+0,205} _{-0,265}
Gaia EDR3 216704984398132096	6, 404 ^{+1,127} _{-0,865}	1, 760 ^{+1,218} _{-1,819}
Gaia EDR3 216695844707719424	6, 420 ^{+0,117} _{-0,091}	1, 775 ^{+0,103} _{-0,146}
Gaia EDR3 216720446280376320	6, 429 ^{+0,129} _{-0,096}	1, 797 ^{+0,098} _{-0,143}
Gaia EDR3 217480037016442496	6, 462 ^{+0,088} _{-0,087}	2, 265 ^{+0,085} _{-0,123}
Gaia EDR3 216678110787115776	6, 462 ^{+0,365} _{-0,408}	0, 990 ^{+0,304} _{-0,413}
Gaia EDR3 216690308493482624	6, 480 ^{+0,079} _{-0,118}	1, 809 ^{+0,092} _{-0,139}
Gaia EDR3 216680756486417024	6, 481 ^{+0,291} _{-0,382}	1, 579 ^{+0,317} _{-0,425}
Gaia EDR3 216678316945547008	6, 498 ^{+1,148} _{-0,855}	1, 556 ^{+1,205} _{-1,805}
Gaia EDR3 216678248226162944	6, 590 ^{+0,354} _{-0,464}	0, 961 ^{+0,371} _{-0,474}
Gaia EDR3 216674743532567296	6, 651 ^{+0,251} _{-0,181}	1, 983 ^{+0,214} _{-0,274}
Gaia EDR3 216701995100898560	6, 692 ^{+0,929} _{-0,806}	1, 078 ^{+0,975} _{-1,448}
Gaia EDR3 216673162984386944	6, 708 ^{+0,792} _{-0,400}	1, 524 ^{+0,647} _{-0,924}
Gaia EDR3 216681104379984768	6, 779 ^{+0,201} _{-0,162}	2, 686 ^{+0,139} _{-0,189}
Gaia EDR3 216678523104066944	6, 798 ^{+0,395} _{-0,495}	0, 403 ^{+0,393} _{-0,496}
Gaia EDR3 216670384140089088	6, 836 ^{+0,958} _{-0,624}	0, 956 ^{+0,757} _{-1,075}
Gaia EDR3 216701926379820032	6, 849 ^{+0,486} _{-0,538}	0, 707 ^{+0,366} _{-0,469}
Gaia EDR3 216688766601562368	6, 871 ^{+0,130} _{-0,105}	2, 140 ^{+0,118} _{-0,163}
Gaia EDR3 216707114701896576	6, 903 ^{+0,164} _{-0,142}	2, 615 ^{+0,085} _{-0,113}
Gaia EDR3 216678007707900416	6, 909 ^{+1,158} _{-0,898}	1, 761 ^{+1,221} _{-1,821}
Gaia EDR3 216418321101566464	6, 913 ^{+0,137} _{-0,097}	2, 167 ^{+0,105} _{-0,154}
Gaia EDR3 216678149442795648	6, 914 ^{+0,976} _{-0,912}	2, 154 ^{+0,673} _{-0,673} †
Gaia EDR3 216694126720813696	6, 948 ^{+0,171} _{-0,117}	2, 798 ^{+0,149} _{-0,199}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung		
Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216695256295900672	$6,957^{+0,167}_{-0,120}$	$2,242^{+0,124}_{-0,173}$
Gaia EDR3 216714467686233344	$6,963^{+0,138}_{-0,129}$	$1,857^{+0,102}_{-0,141}$
Gaia EDR3 216702304338533120	$6,967^{+0,149}_{-0,122}$	$2,204^{+0,098}_{-0,143}$
Gaia EDR3 216679626911236352	$6,985^{+0,208}_{-0,161}$	$2,310^{+0,170}_{-0,238}$
Gaia EDR3 217347232331662976	$6,995^{+0,287}_{-0,127}$	$2,142^{+0,182}_{-0,245}$
Gaia EDR3 216601213692521472	$7,025^{+0,179}_{-0,223}$	$2,371^{+0,191}_{-0,257}$
Gaia EDR3 216630114528244480	$7,032^{+1,532}_{-1,387}$	$2,247^{+1,755}_{-2,744}$
Gaia EDR3 216707011622682624	$7,041^{+0,324}_{-0,243}$	$1,847^{+0,256}_{-0,316}$
Gaia EDR3 216704125403045120	$7,086^{+0,162}_{-0,156}$	$2,512^{+0,136}_{-0,168}$
Gaia EDR3 217479487260579456	$7,098^{+0,122}_{-0,107}$	$2,156^{+0,101}_{-0,144}$
Gaia EDR3 216729139294155520	$7,113^{+0,070}_{-0,093}$	$2,611^{+0,089}_{-0,124}$
Gaia EDR3 217465876507610112	$7,154^{+0,082}_{-0,132}$	$2,445^{+0,094}_{-0,139}$
Gaia EDR3 216624582610447360	$7,159^{+0,192}_{-0,119}$	$2,178^{+0,122}_{-0,161}$
Gaia EDR3 216575890564466304	$7,162^{+0,957}_{-0,884}$	$1,275^{+0,906}_{-1,287}$
Gaia EDR3 216706942903208320	$7,224^{+0,431}_{-0,338}$	$1,292^{+0,288}_{-0,348}$
Gaia EDR3 216678355600912128	$7,255^{+1,204}_{-0,925}$	$1,402^{+1,222}_{-1,822}$
Gaia EDR3 216694401598720768	$7,269^{+0,185}_{-0,159}$	$1,540^{+0,149}_{-0,199}$
Gaia EDR3 216701926381421568	$7,270^{+1,272}_{-0,954}$	$0,678^{+1,296}_{-1,896}$
Gaia EDR3 217458493460476928	$7,283^{+0,096}_{-0,117}$	$2,208^{+0,115}_{-0,165}$
Gaia EDR3 216702025165001856	$7,319^{+0,976}_{-0,808}$	$1,035^{+0,929}_{-1,401}$
Gaia EDR3 216704881318894720	$7,342^{+0,110}_{-0,155}$	$2,410^{+0,119}_{-0,166}$
Gaia EDR3 216629874010076544	$7,344^{+1,600}_{-1,392}$	$2,114^{+1,775}_{-2,766}$
Gaia EDR3 217882595712752384	$7,404^{+0,124}_{-0,128}$	$2,112^{+0,104}_{-0,159}$
Gaia EDR3 217358747139771264	$7,425^{+0,102}_{-0,129}$	$2,406^{+0,109}_{-0,159}$
Gaia EDR3 216627601971630720	$7,428^{+0,323}_{-0,319}$	$1,662^{+0,300}_{-0,370}$
Gaia EDR3 216682513129243264	$7,435^{+0,351}_{-0,293}$	$0,442^{+0,262}_{-0,322}$
Gaia EDR3 216706633663947648	$7,455^{+0,336}_{-0,298}$	$1,830^{+0,292}_{-0,352}$
Gaia EDR3 217466361840541952	$7,465^{+0,125}_{-0,110}$	$2,586^{+0,111}_{-0,149}$
Gaia EDR3 216701960739556096	$7,470^{+1,222}_{-0,956}$	$1,539^{+1,269}_{-1,869}$
Gaia EDR3 216653371774925440	$7,478^{+1,080}_{-0,963}$	$1,513^{+1,058}_{-1,605}$
Gaia EDR3 217454748248970752	$7,481^{+0,175}_{-0,113}$	$2,209^{+0,148}_{-0,202}$
Gaia EDR3 216618157339307904	$7,495^{+0,645}_{-1,913}$	$2,258^{+1,865}_{-2,953}$
Gaia EDR3 216725187924260480	$7,496^{+0,107}_{-0,138}$	$2,484^{+0,115}_{-0,165}$

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216680515970990976	7,497 ^{+0,197} _{-0,163}	2,389 ^{+0,166} _{-0,216}
Gaia EDR3 217441794627628544	7,503 ^{+0,428} _{-0,381}	2,636 ^{+0,349} _{-0,533}
Gaia EDR3 216448248433721600	7,510 ^{+0,167} _{-0,064}	2,615 ^{+0,095} _{-0,136}
Gaia EDR3 216576199802130432	7,517 ^{+1,091} _{-0,964}	-0,184 ^{+0,968} _{-1,349}
Gaia EDR3 216690175350832000	7,559 ^{+0,153} _{-0,186}	2,414 ^{+0,664} _{-0,664} †
Gaia EDR3 216707247844807808	7,575 ^{+0,175} _{-0,213}	2,527 ^{+0,181} _{-0,213}
Gaia EDR3 217341326752424704	7,577 ^{+0,297} _{-0,141}	2,544 ^{+0,237} _{-0,298}
Gaia EDR3 216700822573390336	7,599 ^{+0,184} _{-0,181}	2,631 ^{+0,179} _{-0,236}
Gaia EDR3 216702819734605696	7,633 ^{+0,155} _{-0,162}	2,413 ^{+0,134} _{-0,179}
Gaia EDR3 216686773736734336	7,677 ^{+0,181} _{-0,202}	2,568 ^{+0,134} _{-0,181}
Gaia EDR3 216721442712788480	7,687 ^{+0,131} _{-0,091}	2,243 ^{+0,090} _{-0,118}
Gaia EDR3 216681447977358464	7,705 ^{+0,266} _{-0,211}	2,476 ^{+0,231} _{-0,321}
Gaia EDR3 216626468100255872	7,790 ^{+0,216} _{-0,239}	2,414 ^{+0,198} _{-0,255}
Gaia EDR3 216692099496268288	7,805 ^{+0,224} _{-0,189}	2,318 ^{+0,227} _{-0,313}
Gaia EDR3 216705186260474112	7,832 ^{+0,344} _{-0,386}	1,923 ^{+0,196} _{-0,228}
Gaia EDR3 216626334955751552	7,835 ^{+0,346} _{-0,356}	1,391 ^{+0,264} _{-0,334}
Gaia EDR3 217416608939058816	7,837 ^{+0,445} _{-0,263}	2,713 ^{+0,359} _{-0,544}
Gaia EDR3 216588603667681408	7,855 ^{+0,635} _{-0,382}	1,399 ^{+0,454} _{-0,568}
Gaia EDR3 216688212549374208	7,870 ^{+0,133} _{-0,148}	2,629 ^{+0,126} _{-0,177}
Gaia EDR3 216712337382175488	7,873 ^{+0,110} _{-0,154}	2,527 ^{+0,124} _{-0,187}
Gaia EDR3 216701166170801664	7,885 ^{+0,221} _{-0,186}	2,720 ^{+0,181} _{-0,238}
Gaia EDR3 216687387916289280	7,934 ^{+0,238} _{-0,425}	1,990 ^{+0,348} _{-0,460}
Gaia EDR3 216681237523246208	7,935 ^{+1,365} _{-1,149}	1,533 ^{+1,243} _{-1,847}
Gaia EDR3 216724775605757312	7,965 ^{+0,143} _{-0,164}	2,880 ^{+0,135} _{-0,186}
Gaia EDR3 216701788942464768	8,027 ^{+0,193} _{-0,163}	2,722 ^{+0,191} _{-0,236}
Gaia EDR3 216647603635097856	8,042 ^{+0,108} _{-0,134}	2,716 ^{+0,112} _{-0,162}
Gaia EDR3 216721099115395584	8,061 ^{+0,201} _{-0,181}	2,245 ^{+0,166} _{-0,211}
Gaia EDR3 216674915331373440	8,071 ^{+0,560} _{-0,460}	0,839 ^{+0,342} _{-0,397}
Gaia EDR3 217457565747541120	8,096 ^{+0,147} _{-0,112}	2,524 ^{+0,136} _{-0,180}
Gaia EDR3 216680309809831552	8,114 ^{+0,321} _{-0,277}	3,037 ^{+0,243} _{-0,294}
Gaia EDR3 216704434640663424	8,116 ^{+0,136} _{-0,209}	1,993 ^{+0,208} _{-0,254}
Gaia EDR3 217363557503130240	8,119 ^{+0,160} _{-0,129}	2,681 ^{+0,133} _{-0,181}
Gaia EDR3 216718792716338048	8,122 ^{+0,160} _{-0,145}	2,777 ^{+0,206} _{-0,234}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung		
Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216723568719908992	8, 127 ^{+0,115} _{-0,142}	2, 550 ^{+0,138} _{-0,189}
Gaia EDR3 217341975291902208	8, 136 ^{+0,203} _{-0,273}	2, 643 ^{+0,238} _{-0,302}
Gaia EDR3 216705190556558592	8, 205 ^{+0,329} _{-0,350}	2, 674 ^{+0,514} _{-0,514} †
Gaia EDR3 216702300042430208	8, 267 ^{+0,203} _{-0,201}	2, 667 ^{+0,197} _{-0,242}
Gaia EDR3 216654235064559232	8, 283 ^{+0,176} _{-0,191}	2, 835 ^{+0,152} _{-0,208}
Gaia EDR3 216701956445523456	8, 299 ^{+0,280} _{-0,247}	2, 623 ^{+0,232} _{-0,277}
Gaia EDR3 216704670864439424	8, 312 ^{+0,236} _{-0,216}	3, 255 ^{+0,265} _{-0,322}
Gaia EDR3 216731437100020096	8, 354 ^{+0,188} _{-0,158}	2, 861 ^{+0,147} _{-0,191}
Gaia EDR3 216682100812391168	8, 356 ^{+0,331} _{-0,309}	2, 348 ^{+0,230} _{-0,281}
Gaia EDR3 216724668231549056	8, 368 ^{+0,161} _{-0,154}	2, 937 ^{+0,133} _{-0,172}
Gaia EDR3 216708038118238976	8, 375 ^{+0,244} _{-0,292}	3, 021 ^{+0,229} _{-0,275}
Gaia EDR3 216684780870456832	8, 383 ^{+0,693} _{-0,711}	2, 312 ^{+0,568} _{-0,806}
Gaia EDR3 217440725180229376	8, 418 ^{+0,165} _{-0,148}	3, 023 ^{+0,176} _{-0,215}
Gaia EDR3 216608948929500032	8, 452 ^{+0,261} _{-0,236}	3, 025 ^{+0,250} _{-0,330}
Gaia EDR3 216689621299551488	8, 452 ^{+0,174} _{-0,205}	2, 789 ^{+0,196} _{-0,248}
Gaia EDR3 216703743151499136	8, 461 ^{+0,165} _{-0,190}	2, 704 ^{+0,212} _{-0,264}
Gaia EDR3 216729963927870848	8, 466 ^{+0,463} _{-0,393}	3, 161 ^{+0,503} _{-0,748}
Gaia EDR3 217328300115954560	8, 519 ^{+0,999} _{-0,898}	3, 239 ^{+1,115} _{-1,722}
Gaia EDR3 217363553207422592	8, 541 ^{+0,216} _{-0,196}	2, 877 ^{+0,144} _{-0,193}
Gaia EDR3 216662790639458816	8, 584 ^{+0,150} _{-0,187}	3, 021 ^{+0,152} _{-0,203}
Gaia EDR3 216716902930786432	8, 599 ^{+0,158} _{-0,185}	2, 703 ^{+0,158} _{-0,197}
Gaia EDR3 216725424145894400	8, 608 ^{+0,155} _{-0,175}	3, 128 ^{+0,192} _{-0,243}
Gaia EDR3 216718728291847424	8, 627 ^{+0,211} _{-0,245}	2, 075 ^{+0,196} _{-0,235}
Gaia EDR3 217867786664956544	8, 670 ^{+0,154} _{-0,181}	3, 074 ^{+0,144} _{-0,194}
Gaia EDR3 216704469002037888	8, 689 ^{+0,184} _{-0,258}	2, 636 ^{+0,291} _{-0,338}
Gaia EDR3 217407469248673152	8, 727 ^{+0,181} _{-0,168}	2, 827 ^{+0,165} _{-0,226}
Gaia EDR3 216720648142231936	8, 728 ^{+0,238} _{-0,244}	2, 932 ^{+0,221} _{-0,260}
Gaia EDR3 216712887137910272	8, 729 ^{+0,139} _{-0,150}	2, 482 ^{+0,152} _{-0,185}
Gaia EDR3 216682130875987968	8, 747 ^{+0,690} _{-1,180}	1, 838 ^{+0,319} _{-0,370}
Gaia EDR3 216708798329066368	8, 775 ^{+0,237} _{-0,243}	2, 853 ^{+0,256} _{-0,296}
Gaia EDR3 216662992501225984	8, 819 ^{+0,249} _{-0,277}	2, 855 ^{+0,167} _{-0,223}
Gaia EDR3 217463643124614656	8, 859 ^{+0,239} _{-0,203}	2, 638 ^{+0,266} _{-0,310}
Gaia EDR3 216708901408427904	8, 879 ^{+0,255} _{-0,249}	2, 846 ^{+0,227} _{-0,272}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 216662687560253696	8, 888 ^{+0,198} _{-0,271}	3, 057 ^{+0,226} _{-0,307}
Gaia EDR3 217448632215552256	8, 893 ^{+0,181} _{-0,179}	3, 453 ^{+0,176} _{-0,213}
Gaia EDR3 216694603461518208	8, 926 ^{+0,306} _{-0,374}	2, 528 ^{+0,255} _{-0,329}
Gaia EDR3 217353657602966400	8, 980 ^{+0,658} _{-0,978}	1, 684 ^{+0,585} _{-0,822}
Gaia EDR3 216679966212425088	9, 020 ^{+0,358} _{-0,366}	1, 971 ^{+0,262} _{-0,312}
Gaia EDR3 216523530618074624	9, 026 ^{+1,017} _{-1,030}	3, 050 ^{+1,215} _{-1,864}
Gaia EDR3 217481269670674048	9, 039 ^{+0,214} _{-0,269}	2, 718 ^{+0,210} _{-0,243}
Gaia EDR3 216648973728996736	9, 048 ^{+0,494} _{-0,804}	2, 104 ^{+0,227} _{-0,260}
Gaia EDR3 216719033234629888	9, 051 ^{+0,213} _{-0,247}	2, 648 ^{+0,224} _{-0,276}
Gaia EDR3 217512330874313088	9, 079 ^{+0,187} _{-0,189}	2, 248 ^{+0,141} _{-0,179}
Gaia EDR3 216659457744832512	9, 099 ^{+0,149} _{-0,169}	3, 172 ^{+0,148} _{-0,203}
Gaia EDR3 216710168422013440	9, 108 ^{+0,162} _{-0,189}	3, 172 ^{+0,152} _{-0,186}
Gaia EDR3 216719793443732224	9, 255 ^{+0,294} _{-0,279}	2, 519 ^{+0,317} _{-0,356}
Gaia EDR3 217446188378685824	9, 319 ^{+0,247} _{-0,300}	2, 829 ^{+0,248} _{-0,286}
Gaia EDR3 216694401597125888	9, 365 ^{+0,431} _{-0,424}	2, 535 ^{+0,287} _{-0,349}
Gaia EDR3 217348645376882816	9, 415 ^{+0,275} _{-0,299}	3, 161 ^{+0,270} _{-0,331}
Gaia EDR3 216710443299909376	9, 462 ^{+0,285} _{-0,421}	2, 292 ^{+0,211} _{-0,258}
Gaia EDR3 217346167179746176	9, 498 ^{+0,327} _{-0,306}	2, 636 ^{+0,286} _{-0,353}
Gaia EDR3 217483915370541184	9, 738 ^{+0,377} _{-0,306}	2, 212 ^{+0,357} _{-0,461}
Gaia EDR3 216570324286846336	9, 740 ^{+1,816} _{-1,634}	2, 190 ^{+2,083} _{-3,154}
Gaia EDR3 217519825591924480	9, 742 ^{+0,679} _{-0,439}	2, 874 ^{+0,442} _{-0,570}
Gaia EDR3 216685154533294336	10, 048 ^{+1,667} _{-1,655}	2, 405 ^{+2,015} _{-3,031}
Gaia EDR3 217509032339351040	10, 296 ^{+0,247} _{-0,236}	3, 201 ^{+0,227} _{-0,269}

† Median aus den zehn darüber sowie darunterliegenden Einträgen für $(BP - RP)_0$ in dieser Tabelle, da keine Farbinformation in Gaia EDR3 vorhanden war.

TABELLE B.7: Wahrscheinlichste Mitglieder des Sternhaufens 25 Ori-1 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden der 239 Sterne ist deren absolute Helligkeit im G -Band und die intrinsische Farbe angegeben.

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222282691086558464	-3, 149 ^{+0,154} _{-0,163}	-0, 109 ^{+0,106} _{-0,161}
Gaia EDR3 3234343371570404736	-1, 391 ^{+0,064} _{-0,112}	-0, 217 ^{+0,073} _{-0,116}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3234302311683109120	$-0,007^{+0,145}_{-0,071}$	$-0,241^{+0,075}_{-0,110}$
Gaia EDR3 3222275990937384960	$0,507^{+0,101}_{-0,052}$	$-0,171^{+0,062}_{-0,091}$
Gaia EDR3 3222057497360932864	$0,581^{+0,076}_{-0,054}$	$-0,156^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 3222276330238275968	$1,079^{+0,046}_{-0,075}$	$-0,164^{+0,054}_{-0,085}$
Gaia EDR3 3222275887858172288	$1,154^{+0,101}_{-0,050}$	$-0,069^{+0,062}_{-0,091}$
Gaia EDR3 3222167173645551872	$1,366^{+0,069}_{-0,045}$	$-0,162^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 3223808126030775168	$1,461^{+0,065}_{-0,094}$	$-0,038^{+0,085}_{-0,135}$
Gaia EDR3 3221892085284081536	$1,615^{+0,072}_{-0,075}$	$-0,008^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3234344368002824064	$1,744^{+0,071}_{-0,048}$	$0,063^{+0,049}_{-0,072}$
Gaia EDR3 3234192360520220928	$1,775^{+0,044}_{-0,069}$	$0,003^{+0,054}_{-0,085}$
Gaia EDR3 3234348869128542080	$1,895^{+0,070}_{-0,072}$	$0,168^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222282278769474304	$1,923^{+0,070}_{-0,072}$	$0,450^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222279289472295680	$2,013^{+0,072}_{-0,072}$	$0,040^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222094601582580608	$2,130^{+0,043}_{-0,072}$	$0,114^{+0,054}_{-0,085}$
Gaia EDR3 3234352820498417024	$2,190^{+0,068}_{-0,068}$	$0,149^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222064884704575232	$2,272^{+0,039}_{-0,087}$	$0,603^{+0,072}_{-0,116}$
Gaia EDR3 3222263312193940096	$2,274^{+0,090}_{-0,044}$	$0,277^{+0,062}_{-0,091}$
Gaia EDR3 3222288287427252864	$2,331^{+0,069}_{-0,067}$	$0,238^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222261594207038464	$2,356^{+0,064}_{-0,066}$	$0,346^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222191221167193216	$2,543^{+0,065}_{-0,064}$	$0,286^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222104260964662528	$2,558^{+0,063}_{-0,042}$	$0,533^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 3222143740304082944	$2,957^{+0,065}_{-0,063}$	$0,493^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222165898039362304	$2,972^{+0,064}_{-0,064}$	$0,496^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222286127060186368	$3,148^{+0,089}_{-0,089}$	$0,670^{+0,098}_{-0,153}$
Gaia EDR3 3222258845427956352	$3,185^{+0,063}_{-0,066}$	$0,706^{+0,069}_{-0,105}$
Gaia EDR3 3222160885813451776	$3,240^{+0,063}_{-0,088}$	$0,739^{+0,087}_{-0,136}$
Gaia EDR3 3223825855655767424	$3,335^{+0,093}_{-0,047}$	$0,775^{+0,064}_{-0,093}$
Gaia EDR3 3222177030594592256	$3,529^{+0,074}_{-0,074}$	$0,579^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 3222279113377080192	$4,232^{+0,065}_{-0,064}$	$0,943^{+0,071}_{-0,107}$
Gaia EDR3 3222109135751905408	$4,444^{+0,064}_{-0,063}$	$1,404^{+0,068}_{-0,105}$
Gaia EDR3 3222084843416897664	$4,699^{+0,061}_{-0,036}$	$1,026^{+0,051}_{-0,075}$
Gaia EDR3 3222099274507005056	$4,773^{+0,062}_{-0,064}$	$1,099^{+0,070}_{-0,106}$
Gaia EDR3 3222239153002250368	$4,918^{+0,062}_{-0,062}$	$1,115^{+0,072}_{-0,108}$

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3234260049204669184	5, 084 ^{+0,038} _{-0,085}	1, 258 ^{+0,077} _{-0,120}
Gaia EDR3 3222098488528635392	5, 129 ^{+0,063} _{-0,068}	1, 186 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 3222256474606032896	5, 168 ^{+0,072} _{-0,070}	1, 370 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 3222239294736922240	5, 189 ^{+0,074} _{-0,075}	1, 412 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 3222158446272050688	5, 372 ^{+0,062} _{-0,039}	1, 218 ^{+0,052} _{-0,075}
Gaia EDR3 3222289288156323328	5, 439 ^{+0,071} _{-0,074}	1, 387 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 3222112679100511616	5, 613 ^{+0,156} _{-0,168}	1, 390 ^{+0,099} _{-0,154}
Gaia EDR3 3222277468406179328	5, 692 ^{+0,095} _{-0,051}	1, 352 ^{+0,063} _{-0,093}
Gaia EDR3 3222211119751347584	5, 695 ^{+0,065} _{-0,065}	1, 515 ^{+0,078} _{-0,114}
Gaia EDR3 3222157003163047296	5, 789 ^{+0,063} _{-0,039}	1, 396 ^{+0,055} _{-0,079}
Gaia EDR3 3222268844111791616	5, 835 ^{+0,063} _{-0,065}	1, 422 ^{+0,069} _{-0,105}
Gaia EDR3 3222164149988616448	5, 856 ^{+0,069} _{-0,046}	1, 679 ^{+0,052} _{-0,076}
Gaia EDR3 3222210363837122048	5, 867 ^{+0,070} _{-0,067}	1, 582 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 3222161023252401280	6, 043 ^{+0,063} _{-0,089}	1, 410 ^{+0,087} _{-0,136}
Gaia EDR3 3222259150369098496	6, 072 ^{+0,063} _{-0,063}	1, 119 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 3222121921870275456	6, 122 ^{+0,087} _{-0,064}	1, 549 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 3223828565779377664	6, 181 ^{+0,066} _{-0,093}	1, 657 ^{+0,095} _{-0,145}
Gaia EDR3 3234347043766624256	6, 233 ^{+0,093} _{-0,071}	1, 576 ^{+0,081} _{-0,123}
Gaia EDR3 3222180402144875648	6, 266 ^{+0,114} _{-0,065}	1, 566 ^{+0,097} _{-0,145}
Gaia EDR3 3222154941578772352	6, 400 ^{+0,041} _{-0,065}	1, 646 ^{+0,058} _{-0,089}
Gaia EDR3 3234289048824132480	6, 401 ^{+0,076} _{-0,075}	1, 658 ^{+0,110} _{-0,147}
Gaia EDR3 3221898751074875264	6, 537 ^{+0,090} _{-0,070}	1, 709 ^{+0,084} _{-0,126}
Gaia EDR3 3222317497501220736	6, 595 ^{+0,065} _{-0,068}	1, 721 ^{+0,074} _{-0,110}
Gaia EDR3 3222274444749189632	6, 632 ^{+0,068} _{-0,046}	1, 753 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 3222227784224558976	6, 680 ^{+0,074} _{-0,074}	1, 916 ^{+0,095} _{-0,132}
Gaia EDR3 3222084847712658944	6, 718 ^{+0,078} _{-0,054}	1, 893 ^{+0,058} _{-0,082}
Gaia EDR3 3222200502592325504	6, 754 ^{+0,088} _{-0,087}	2, 261 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 3222111064192824192	6, 754 ^{+0,093} _{-0,066}	1, 839 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 3222072168969090176	6, 769 ^{+0,077} _{-0,071}	1, 847 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 3223809633563030144	6, 770 ^{+0,121} _{-0,153}	2, 116 ^{+0,096} _{-0,146}
Gaia EDR3 3234343367275929856	6, 785 ^{+0,051} _{-0,105}	1, 551 ^{+0,120} _{-0,164}
Gaia EDR3 3223825718216820096	6, 822 ^{+0,117} _{-0,044}	1, 973 ^{+0,088} _{-0,122}
Gaia EDR3 3222203320090905344	6, 824 ^{+0,081} _{-0,077}	2, 399 ^{+0,072} _{-0,108}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222292140014347264	6,883 ^{+0,074} _{-0,070}	1,837 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 3234295130497815424	6,915 ^{+0,046} _{-0,071}	1,790 ^{+0,057} _{-0,089}
Gaia EDR3 3222202044485561856	6,969 ^{+0,069} _{-0,072}	2,247 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 3222268363075460224	6,975 ^{+0,083} _{-0,075}	1,951 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 3221898652290681344	7,043 ^{+0,103} _{-0,071}	2,097 ^{+0,090} _{-0,132}
Gaia EDR3 3222156998869049472	7,050 ^{+0,071} _{-0,045}	1,987 ^{+0,051} _{-0,074}
Gaia EDR3 3222158996027851904	7,078 ^{+0,070} _{-0,095}	1,960 ^{+0,088} _{-0,137}
Gaia EDR3 3222257123144852352	7,096 ^{+0,070} _{-0,072}	1,969 ^{+0,076} _{-0,112}
Gaia EDR3 3222286505017306240	7,143 ^{+0,105} _{-0,079}	1,945 ^{+0,210} _{-0,234}
Gaia EDR3 3222248052174919040	7,169 ^{+0,072} _{-0,075}	2,044 ^{+0,077} _{-0,113}
Gaia EDR3 3222214864963030912	7,203 ^{+0,094} _{-0,084}	2,251 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 3222267435362486912	7,235 ^{+0,121} _{-0,103}	2,556 ^{+0,083} _{-0,125}
Gaia EDR3 3221893601409082112	7,239 ^{+0,123} _{-0,049}	2,407 ^{+0,077} _{-0,112}
Gaia EDR3 3222225546546615680	7,282 ^{+0,076} _{-0,080}	2,199 ^{+0,083} _{-0,120}
Gaia EDR3 3222293132151679744	7,282 ^{+0,074} _{-0,071}	2,098 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 3222255959210123904	7,286 ^{+0,075} _{-0,078}	2,449 ^{+0,074} _{-0,110}
Gaia EDR3 3222268122557250304	7,306 ^{+0,093} _{-0,073}	2,237 ^{+0,086} _{-0,128}
Gaia EDR3 3222261903444669568	7,328 ^{+0,070} _{-0,073}	2,032 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 3222106082030944000	7,348 ^{+0,057} _{-0,106}	2,374 ^{+0,085} _{-0,129}
Gaia EDR3 3221979569474891264	7,375 ^{+0,075} _{-0,077}	2,221 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 3222293273885688192	7,380 ^{+0,072} _{-0,070}	2,318 ^{+0,070} _{-0,106}
Gaia EDR3 3222279426911243776	7,392 ^{+0,052} _{-0,078}	2,125 ^{+0,069} _{-0,100}
Gaia EDR3 3234192596742088192	7,404 ^{+0,102} _{-0,075}	2,392 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 3222272761122028416	7,407 ^{+0,076} _{-0,053}	2,024 ^{+0,055} _{-0,079}
Gaia EDR3 3222100481393451904	7,431 ^{+0,076} _{-0,074}	2,248 ^{+0,087} _{-0,123}
Gaia EDR3 3222237885987655424	7,437 ^{+0,082} _{-0,086}	1,861 ^{+0,117} _{-0,153}
Gaia EDR3 3222096117706808960	7,460 ^{+0,053} _{-0,107}	2,508 ^{+0,075} _{-0,119}
Gaia EDR3 3222281625934472704	7,464 ^{+0,130} _{-0,073}	2,315 ^{+0,064} _{-0,094}
Gaia EDR3 3234329795177446784	7,509 ^{+0,104} _{-0,052}	2,177 ^{+0,070} _{-0,099}
Gaia EDR3 3222302791533192448	7,519 ^{+0,050} _{-0,075}	2,522 ^{+0,057} _{-0,088}
Gaia EDR3 3222274650907612160	7,530 ^{+0,053} _{-0,077}	2,129 ^{+0,058} _{-0,089}
Gaia EDR3 3234212083010030208	7,533 ^{+0,074} _{-0,072}	2,524 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 3222281282337103872	7,544 ^{+0,055} _{-0,082}	2,163 ^{+0,062} _{-0,093}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222178787237127296	7, 599 ^{+0,074} _{-0,077}	2, 235 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 3222127350708887040	7, 618 ^{+0,074} _{-0,078}	2, 147 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 3222177481567112064	7, 618 ^{+0,140} _{-0,088}	2, 311 ^{+0,101} _{-0,149}
Gaia EDR3 3222200983628652544	7, 618 ^{+0,072} _{-0,074}	2, 264 ^{+0,074} _{-0,110}
Gaia EDR3 3222251870401142912	7, 630 ^{+0,078} _{-0,083}	2, 199 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 3234361101195331712	7, 647 ^{+0,080} _{-0,077}	2, 278 ^{+0,077} _{-0,113}
Gaia EDR3 3234361272994021632	7, 721 ^{+0,078} _{-0,077}	2, 673 ^{+0,073} _{-0,109}
Gaia EDR3 3222180402144875520	7, 730 ^{+0,140} _{-0,087}	2, 616 ^{+0,104} _{-0,151}
Gaia EDR3 3222261555551168384	7, 745 ^{+0,085} _{-0,083}	2, 239 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 3222264824022390656	7, 762 ^{+0,079} _{-0,079}	2, 460 ^{+0,085} _{-0,122}
Gaia EDR3 3222088421125524096	7, 794 ^{+0,080} _{-0,077}	2, 589 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 3222202422441906688	7, 799 ^{+0,074} _{-0,079}	2, 458 ^{+0,087} _{-0,123}
Gaia EDR3 3222256131008632960	7, 933 ^{+0,080} _{-0,081}	2, 515 ^{+0,092} _{-0,128}
Gaia EDR3 3234334197520236544	7, 981 ^{+0,061} _{-0,082}	2, 348 ^{+0,063} _{-0,094}
Gaia EDR3 3221996611904868736	7, 990 ^{+0,083} _{-0,086}	2, 435 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 3223828428340495360	8, 015 ^{+0,056} _{-0,077}	2, 369 ^{+0,069} _{-0,100}
Gaia EDR3 3223808499691838080	8, 025 ^{+0,080} _{-0,079}	2, 659 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 3222166417731327360	8, 051 ^{+0,082} _{-0,077}	2, 440 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 3222166894471985408	8, 075 ^{+0,257} _{-0,292}	2, 677 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 3222266954326138368	8, 082 ^{+0,111} _{-0,087}	2, 649 ^{+0,083} _{-0,125}
Gaia EDR3 3222209882800772096	8, 086 ^{+0,081} _{-0,090}	2, 745 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 3222161091971876352	8, 109 ^{+0,077} _{-0,082}	2, 410 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 3222182051412540800	8, 118 ^{+0,054} _{-0,079}	2, 528 ^{+0,065} _{-0,096}
Gaia EDR3 3234345776752112640	8, 121 ^{+0,064} _{-0,112}	2, 855 ^{+0,079} _{-0,123}
Gaia EDR3 3234309763450545408	8, 186 ^{+0,084} _{-0,058}	2, 443 ^{+0,055} _{-0,079}
Gaia EDR3 3221893597113203712	8, 204 ^{+0,134} _{-0,063}	2, 727 ^{+0,081} _{-0,115}
Gaia EDR3 3234356733213504896	8, 213 ^{+0,064} _{-0,095}	2, 573 ^{+0,061} _{-0,092}
Gaia EDR3 3222276300175040640	8, 223 ^{+0,112} _{-0,062}	2, 545 ^{+0,067} _{-0,096}
Gaia EDR3 3234343367274551936	8, 246 ^{+0,083} _{-0,086}	2, 562 ^{+0,077} _{-0,113}
Gaia EDR3 3222193802443389696	8, 250 ^{+0,083} _{-0,061}	2, 468 ^{+0,054} _{-0,078}
Gaia EDR3 3222264755302908672	8, 257 ^{+0,110} _{-0,059}	2, 618 ^{+0,069} _{-0,099}
Gaia EDR3 3234328528163438720	8, 261 ^{+0,112} _{-0,059}	2, 600 ^{+0,072} _{-0,101}
Gaia EDR3 3222178615438444928	8, 273 ^{+0,090} _{-0,086}	2, 796 ^{+0,073} _{-0,110}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3235843414668244608	$8,284^{+0,095}_{-0,072}$	$2,727^{+0,057}_{-0,081}$
Gaia EDR3 3223809672218996992	$8,289^{+0,110}_{-0,061}$	$2,557^{+0,070}_{-0,099}$
Gaia EDR3 3222167070566339712	$8,319^{+0,077}_{-0,085}$	$2,534^{+0,077}_{-0,114}$
Gaia EDR3 3222107903097070976	$8,332^{+0,056}_{-0,081}$	$2,767^{+0,058}_{-0,089}$
Gaia EDR3 3222265648656113152	$8,364^{+0,093}_{-0,084}$	$2,566^{+0,081}_{-0,117}$
Gaia EDR3 3223826607274242688	$8,365^{+0,109}_{-0,109}$	$2,517^{+0,102}_{-0,157}$
Gaia EDR3 3234302174244150912	$8,385^{+0,132}_{-0,064}$	$2,502^{+0,081}_{-0,116}$
Gaia EDR3 3222052480839172224	$8,390^{+0,096}_{-0,062}$	$3,022^{+0,056}_{-0,080}$
Gaia EDR3 3222309216804323712	$8,416^{+0,071}_{-0,089}$	$2,600^{+0,061}_{-0,092}$
Gaia EDR3 3222104016151525504	$8,455^{+0,107}_{-0,110}$	$2,503^{+0,105}_{-0,160}$
Gaia EDR3 3222215341703860736	$8,460^{+0,094}_{-0,090}$	$2,620^{+0,077}_{-0,113}$
Gaia EDR3 3222263582775801088	$8,460^{+0,091}_{-0,098}$	$2,633^{+0,073}_{-0,109}$
Gaia EDR3 3222275196367385472	$8,465^{+0,116}_{-0,067}$	$2,599^{+0,068}_{-0,097}$
Gaia EDR3 3222256062289164800	$8,477^{+0,102}_{-0,096}$	$2,619^{+0,076}_{-0,112}$
Gaia EDR3 3221889340801526272	$8,485^{+0,117}_{-0,087}$	$2,657^{+0,086}_{-0,128}$
Gaia EDR3 3234356428270950528	$8,487^{+0,075}_{-0,112}$	$3,136^{+0,061}_{-0,092}$
Gaia EDR3 3234289766082573312	$8,487^{+0,108}_{-0,109}$	$2,500^{+0,104}_{-0,158}$
Gaia EDR3 3222263518352361088	$8,489^{+0,091}_{-0,084}$	$2,603^{+0,075}_{-0,112}$
Gaia EDR3 3234343818246999040	$8,492^{+0,084}_{-0,090}$	$3,116^{+0,079}_{-0,115}$
Gaia EDR3 3222237611109748992	$8,494^{+0,089}_{-0,093}$	$2,877^{+0,077}_{-0,114}$
Gaia EDR3 3223808950664495488	$8,500^{+0,098}_{-0,088}$	$2,655^{+0,080}_{-0,117}$
Gaia EDR3 3222205377379681152	$8,501^{+0,088}_{-0,082}$	$2,578^{+0,072}_{-0,108}$
Gaia EDR3 3222274303014156928	$8,523^{+0,098}_{-0,069}$	$2,608^{+0,059}_{-0,082}$
Gaia EDR3 3223805102373785856	$8,552^{+0,086}_{-0,075}$	$2,559^{+0,053}_{-0,077}$
Gaia EDR3 3222217235784753664	$8,559^{+0,109}_{-0,065}$	$2,545^{+0,069}_{-0,098}$
Gaia EDR3 3222255095922312064	$8,582^{+0,122}_{-0,067}$	$2,528^{+0,108}_{-0,137}$
Gaia EDR3 3222303650526671360	$8,598^{+0,065}_{-0,094}$	$2,549^{+0,060}_{-0,091}$
Gaia EDR3 3234374192255611520	$8,604^{+0,076}_{-0,130}$	$2,559^{+0,078}_{-0,122}$
Gaia EDR3 3222275406821845248	$8,614^{+0,120}_{-0,068}$	$2,548^{+0,073}_{-0,102}$
Gaia EDR3 3222310419395153664	$8,630^{+0,071}_{-0,093}$	$2,838^{+0,063}_{-0,094}$
Gaia EDR3 3222001147390504320	$8,650^{+0,089}_{-0,092}$	$2,706^{+0,075}_{-0,112}$
Gaia EDR3 3222109689803454848	$8,680^{+0,111}_{-0,110}$	$2,636^{+0,085}_{-0,121}$
Gaia EDR3 3222124773728535936	$8,683^{+0,086}_{-0,090}$	$2,647^{+0,074}_{-0,111}$

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222176996235039232	8, 686 ^{+0,093} _{-0,088}	2, 645 ^{+0,075} _{-0,111}
Gaia EDR3 3222100756271349120	8, 696 ^{+0,088} _{-0,091}	2, 659 ^{+0,075} _{-0,111}
Gaia EDR3 3222311587626520832	8, 703 ^{+0,076} _{-0,100}	2, 683 ^{+0,061} _{-0,092}
Gaia EDR3 3222264342986065152	8, 704 ^{+0,078} _{-0,092}	2, 661 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 3234343440289881984	8, 740 ^{+0,069} _{-0,115}	2, 812 ^{+0,090} _{-0,134}
Gaia EDR3 3222215586517327872	8, 752 ^{+0,092} _{-0,099}	2, 685 ^{+0,074} _{-0,110}
Gaia EDR3 3234292587877160064	8, 753 ^{+0,140} _{-0,078}	2, 665 ^{+0,081} _{-0,115}
Gaia EDR3 3222191088024043264	8, 766 ^{+0,079} _{-0,115}	2, 665 ^{+0,076} _{-0,113} †
Gaia EDR3 3222202422443121792	8, 766 ^{+0,110} _{-0,102}	2, 674 ^{+0,076} _{-0,113} †
Gaia EDR3 3222311587626257664	8, 792 ^{+0,079} _{-0,094}	2, 664 ^{+0,066} _{-0,097}
Gaia EDR3 3234373019729169536	8, 795 ^{+0,130} _{-0,101}	2, 880 ^{+0,089} _{-0,131}
Gaia EDR3 3234194039851131008	8, 812 ^{+0,090} _{-0,103}	2, 767 ^{+0,089} _{-0,126}
Gaia EDR3 3221900645155440768	8, 849 ^{+0,070} _{-0,099}	2, 919 ^{+0,061} _{-0,092}
Gaia EDR3 3222293136446741888	8, 849 ^{+0,107} _{-0,118}	2, 950 ^{+0,090} _{-0,126}
Gaia EDR3 3222098419809165568	8, 908 ^{+0,111} _{-0,121}	2, 330 ^{+0,119} _{-0,155}
Gaia EDR3 3223803723688113664	8, 916 ^{+0,080} _{-0,074}	2, 773 ^{+0,049} _{-0,068}
Gaia EDR3 3222324227715710208	8, 941 ^{+0,076} _{-0,110}	2, 661 ^{+0,074} _{-0,105}
Gaia EDR3 3222161332490027392	8, 947 ^{+0,102} _{-0,098}	2, 815 ^{+0,082} _{-0,118}
Gaia EDR3 3222248159549384064	8, 963 ^{+0,097} _{-0,095}	2, 814 ^{+0,082} _{-0,119}
Gaia EDR3 3222283550078511872	8, 986 ^{+0,137} _{-0,198}	2, 827 ^{+0,081} _{-0,116} †
Gaia EDR3 3222296533765111680	8, 986 ^{+0,075} _{-0,106}	2, 815 ^{+0,061} _{-0,092}
Gaia EDR3 3222317218327945216	8, 998 ^{+0,110} _{-0,095}	2, 742 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 3222209161246268800	9, 001 ^{+0,101} _{-0,114}	2, 675 ^{+0,078} _{-0,115}
Gaia EDR3 3222001417972691328	9, 023 ^{+0,099} _{-0,146}	3, 272 ^{+0,097} _{-0,141}
Gaia EDR3 3234213143866043520	9, 038 ^{+0,127} _{-0,107}	2, 838 ^{+0,092} _{-0,134}
Gaia EDR3 3222261010091505280	9, 051 ^{+0,106} _{-0,101}	2, 844 ^{+0,085} _{-0,122}
Gaia EDR3 3234305266620589440	9, 062 ^{+0,095} _{-0,077}	3, 019 ^{+0,065} _{-0,089}
Gaia EDR3 3234256166552973696	9, 079 ^{+0,174} _{-0,101}	2, 848 ^{+0,081} _{-0,117} †
Gaia EDR3 322223901574117248	9, 105 ^{+0,122} _{-0,084}	3, 175 ^{+0,074} _{-0,098}
Gaia EDR3 3234398450230884352	9, 109 ^{+0,149} _{-0,127}	2, 965 ^{+0,116} _{-0,158}
Gaia EDR3 3222088588627933056	9, 175 ^{+0,096} _{-0,108}	3, 284 ^{+0,081} _{-0,112}
Gaia EDR3 3234178238667788544	9, 189 ^{+0,103} _{-0,111}	3, 018 ^{+0,079} _{-0,116}
Gaia EDR3 3222110411357812736	9, 202 ^{+0,095} _{-0,082}	2, 760 ^{+0,061} _{-0,084}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222257574117634560	9, 225 ^{+0,099} _{-0,120}	2, 832 ^{+0,090} _{-0,126}
Gaia EDR3 3222268259996196992	9, 250 ^{+0,117} _{-0,115}	2, 975 ^{+0,086} _{-0,122}
Gaia EDR3 3234297943699785984	9, 252 ^{+0,111} _{-0,116}	2, 853 ^{+0,079} _{-0,115}
Gaia EDR3 3222263861949739136	9, 305 ^{+0,103} _{-0,114}	3, 218 ^{+0,089} _{-0,126}
Gaia EDR3 3234341546207980160	9, 333 ^{+0,142} _{-0,119}	3, 013 ^{+0,143} _{-0,180}
Gaia EDR3 3222293991145154432	9, 341 ^{+0,082} _{-0,114}	2, 893 ^{+0,071} _{-0,103}
Gaia EDR3 3222191328542214144	9, 372 ^{+0,129} _{-0,130}	3, 058 ^{+0,090} _{-0,127}
Gaia EDR3 3222097492096375040	9, 439 ^{+0,111} _{-0,083}	3, 251 ^{+0,066} _{-0,090}
Gaia EDR3 3223737615553348224	9, 463 ^{+0,120} _{-0,122}	2, 936 ^{+0,104} _{-0,141}
Gaia EDR3 3222064261933698560	9, 475 ^{+0,118} _{-0,109}	2, 967 ^{+0,086} _{-0,123}
Gaia EDR3 3222099686824367104	9, 478 ^{+0,146} _{-0,138}	3, 321 ^{+0,086} _{-0,123}
Gaia EDR3 3222306502384919936	9, 488 ^{+0,110} _{-0,111}	3, 000 ^{+0,094} _{-0,131}
Gaia EDR3 322225855783787392	9, 514 ^{+0,101} _{-0,106}	2, 913 ^{+0,085} _{-0,122}
Gaia EDR3 3222186445164181888	9, 535 ^{+0,171} _{-0,143}	3, 124 ^{+0,116} _{-0,158}
Gaia EDR3 3222264308626333184	9, 578 ^{+0,155} _{-0,143}	3, 261 ^{+0,105} _{-0,141}
Gaia EDR3 3234193283936882432	9, 659 ^{+0,149} _{-0,127}	3, 058 ^{+0,078} _{-0,102}
Gaia EDR3 3222113087121507456	9, 668 ^{+0,105} _{-0,135}	3, 192 ^{+0,096} _{-0,128}
Gaia EDR3 3221891329371974912	9, 749 ^{+0,126} _{-0,131}	2, 958 ^{+0,107} _{-0,144}
Gaia EDR3 3223757028803665792	9, 759 ^{+0,133} _{-0,142}	2, 968 ^{+0,083} _{-0,102}
Gaia EDR3 3222267705944477440	9, 786 ^{+0,147} _{-0,132}	2, 928 ^{+0,148} _{-0,190}
Gaia EDR3 3222165215140482688	9, 845 ^{+0,128} _{-0,139}	3, 085 ^{+0,094} _{-0,130}
Gaia EDR3 3222207713841002624	9, 899 ^{+0,133} _{-0,141}	2, 961 ^{+0,097} _{-0,128}
Gaia EDR3 3221899197750567296	10, 024 ^{+0,195} _{-0,140}	3, 397 ^{+0,134} _{-0,168}
Gaia EDR3 3234295916475624448	10, 024 ^{+0,144} _{-0,167}	3, 019 ^{+0,107} _{-0,138}
Gaia EDR3 3222064330653186048	10, 053 ^{+0,117} _{-0,168}	3, 192 ^{+0,111} _{-0,155}
Gaia EDR3 3221899094671357056	10, 067 ^{+0,137} _{-0,148}	3, 555 ^{+0,152} _{-0,189}
Gaia EDR3 3223809358685334528	10, 161 ^{+0,133} _{-0,144}	3, 161 ^{+0,165} _{-0,215}
Gaia EDR3 3222193420190411776	10, 254 ^{+0,163} _{-0,164}	2, 910 ^{+0,152} _{-0,189}
Gaia EDR3 3234330241854055936	10, 359 ^{+0,148} _{-0,169}	3, 268 ^{+0,111} _{-0,143}
Gaia EDR3 3221891913486004736	10, 407 ^{+0,210} _{-0,205}	3, 155 ^{+0,134} _{-0,171}
Gaia EDR3 3223823136941554304	10, 447 ^{+0,230} _{-0,191}	2, 964 ^{+0,149} _{-0,191}
Gaia EDR3 3234310759882935168	10, 553 ^{+0,228} _{-0,200}	3, 210 ^{+0,140} _{-0,182}
Gaia EDR3 3223821354530049536	10, 555 ^{+0,187} _{-0,127}	3, 140 ^{+0,150} _{-0,179}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 3222229742728439168	10, 635 ^{+0,157} _{-0,248}	3, 607 ^{+0,173} _{-0,217}
Gaia EDR3 3234328661306052096	10, 650 ^{+0,256} _{-0,184}	2, 851 ^{+0,113} _{-0,143}
Gaia EDR3 3234290247118920320	11, 027 ^{+0,263} _{-0,241}	2, 778 ^{+0,171} _{-0,213}
Gaia EDR3 3223829218615069312	11, 035 ^{+0,216} _{-0,283}	3, 454 ^{+0,209} _{-0,240}
Gaia EDR3 3221989014107086976	11, 242 ^{+0,254} _{-0,338}	3, 207 ^{+0,191} _{-0,235}
Gaia EDR3 3222264583502932352	11, 754 ^{+0,385} _{-0,428}	2, 403 ^{+0,156} _{-0,185}

† Median aus den zehn darüber sowie darunterliegenden Einträgen für $(BP - RP)_0$ in dieser Tabelle, da keine Farbinformation in Gaia EDR3 vorhanden war.

TABELLE B.8: Wahrscheinlichste Mitglieder des Sternhaufens Trumpler 37 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden der 740 Sterne ist deren absolute Helligkeit im G -Band und die intrinsische Farbe angegeben.

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178397693037492608	-3, 418 ^{+0,089} _{-0,112}	-0, 592 ^{+0,087} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178396937123252736	-3, 338 ^{+0,065} _{-0,110}	-0, 531 ^{+0,076} _{-0,121}
Gaia EDR3 2178385392251185280	-2, 861 ^{+0,137} _{-0,093}	-0, 119 ^{+0,094} _{-0,142}
Gaia EDR3 2178445556155008512	-2, 648 ^{+0,081} _{-0,079}	-0, 334 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178443215378624384	-2, 511 ^{+0,133} _{-0,159}	-0, 260 ^{+0,090} _{-0,141}
Gaia EDR3 2178443219692854528	-1, 629 ^{+0,169} _{-0,157}	-0, 240 ^{+0,088} _{-0,125}
Gaia EDR3 2178399411024821632	-0, 983 ^{+0,115} _{-0,092}	-0, 241 ^{+0,080} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178433908203083264	-0, 902 ^{+0,165} _{-0,218}	-0, 135 ^{+0,182} _{-0,290}
Gaia EDR3 2178417656046700288	-0, 878 ^{+0,388} _{-0,097}	-0, 037 ^{+0,253} _{-0,374}
Gaia EDR3 2178415834982840704	-0, 750 ^{+0,155} _{-0,189}	-0, 197 ^{+0,179} _{-0,284}
Gaia EDR3 2178496133683992064	-0, 670 ^{+0,105} _{-0,143}	-0, 156 ^{+0,104} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178386388683874432	-0, 559 ^{+0,100} _{-0,102}	-0, 058 ^{+0,098} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178290799886849792	-0, 294 ^{+0,135} _{-0,140}	0, 076 ^{+0,117} _{-0,185}
Gaia EDR3 2178399548463605760	-0, 278 ^{+0,148} _{-0,135}	0, 050 ^{+0,080} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178396009413394176	-0, 251 ^{+0,062} _{-0,108}	-0, 020 ^{+0,074} _{-0,118}
Gaia EDR3 2178399170506506368	-0, 027 ^{+0,167} _{-0,093}	0, 149 ^{+0,106} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178385392251187328	0, 061 ^{+0,131} _{-0,079}	0, 366 ^{+0,094} _{-0,142}
Gaia EDR3 2178484279577665664	0, 070 ^{+0,118} _{-0,113}	-0, 110 ^{+0,098} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178446243349615360	0, 098 ^{+0,101} _{-0,100}	1, 206 ^{+0,099} _{-0,155}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178287089034809088	0,110 ^{+0,100} _{-0,129}	-0,212 ^{+0,117} _{-0,185}
Gaia EDR3 2178382643475358720	0,120 ^{+0,101} _{-0,102}	-0,128 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 2178396868403779584	0,232 ^{+0,074} _{-0,098}	-0,140 ^{+0,087} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178551865181072000	0,582 ^{+0,077} _{-0,123}	0,658 ^{+0,107} _{-0,170}
Gaia EDR3 2178391989320655488	0,729 ^{+0,075} _{-0,105}	0,389 ^{+0,086} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178373125824188544	0,776 ^{+0,101} _{-0,126}	-0,132 ^{+0,117} _{-0,185}
Gaia EDR3 2178394394502336768	0,786 ^{+0,134} _{-0,110}	0,018 ^{+0,111} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178496541693778688	0,807 ^{+0,072} _{-0,174}	-0,088 ^{+0,142} _{-0,230}
Gaia EDR3 2178441192468289152	1,037 ^{+0,098} _{-0,103}	0,159 ^{+0,099} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178442115878750464	1,098 ^{+0,156} _{-0,151}	1,513 ^{+0,162} _{-0,254}
Gaia EDR3 2178397074562221952	1,125 ^{+0,098} _{-0,072}	0,097 ^{+0,081} _{-0,124}
Gaia EDR3 2178443528930624512	1,175 ^{+0,054} _{-0,097}	0,635 ^{+0,075} _{-0,120}
Gaia EDR3 2178498573225252736	1,234 ^{+0,126} _{-0,124}	0,065 ^{+0,130} _{-0,203}
Gaia EDR3 2178392706563231744	1,308 ^{+0,118} _{-0,101}	-0,077 ^{+0,112} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178284404675036416	1,662 ^{+0,165} _{-0,108}	0,579 ^{+0,094} _{-0,142}
Gaia EDR3 2178384464538037376	1,793 ^{+0,076} _{-0,082}	0,994 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 2178349108366289280	1,809 ^{+0,114} _{-0,108}	0,423 ^{+0,099} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178394016544915328	1,909 ^{+0,076} _{-0,075}	1,048 ^{+0,070} _{-0,108}
Gaia EDR3 2178394531941271936	1,945 ^{+0,102} _{-0,051}	0,924 ^{+0,066} _{-0,096}
Gaia EDR3 2178175832208169856	1,993 ^{+0,095} _{-0,102}	0,124 ^{+0,099} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178549528718980608	2,097 ^{+0,054} _{-0,105}	1,013 ^{+0,093} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178398895628585984	2,124 ^{+0,087} _{-0,102}	0,971 ^{+0,088} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178434354879689472	2,354 ^{+0,099} _{-0,099}	0,622 ^{+0,099} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178399995140186112	2,367 ^{+0,070} _{-0,074}	0,357 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 2178455211241764096	2,429 ^{+0,100} _{-0,130}	0,812 ^{+0,087} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178363470737051264	2,456 ^{+0,075} _{-0,125}	0,766 ^{+0,105} _{-0,168}
Gaia EDR3 2178382368594520832	2,493 ^{+0,080} _{-0,111}	0,382 ^{+0,086} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178455726637837440	2,507 ^{+0,076} _{-0,079}	0,363 ^{+0,068} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178376974114832384	2,549 ^{+0,073} _{-0,123}	0,836 ^{+0,104} _{-0,167}
Gaia EDR3 2178381406521635712	2,568 ^{+0,076} _{-0,075}	0,396 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 2178452565541950464	2,611 ^{+0,146} _{-0,080}	0,497 ^{+0,107} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178404015229748352	2,673 ^{+0,165} _{-0,115}	0,964 ^{+0,107} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178397040202477952	2,780 ^{+0,058} _{-0,109}	0,867 ^{+0,081} _{-0,127}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178382574752711680	2,909 ^{+0,103} _{-0,114}	0,440 ^{+0,086} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178459265690555776	3,023 ^{+0,213} _{-0,197}	0,708 ^{+0,205} _{-0,320}
Gaia EDR3 2178461877030836480	3,042 ^{+0,165} _{-0,144}	1,193 ^{+0,170} _{-0,249}
Gaia EDR3 2178386938439659392	3,111 ^{+0,188} _{-0,127}	1,387 ^{+0,129} _{-0,195}
Gaia EDR3 2178440814510995456	3,193 ^{+0,104} _{-0,106}	1,001 ^{+0,101} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178385942007271168	3,198 ^{+0,079} _{-0,105}	1,127 ^{+0,090} _{-0,140}
Gaia EDR3 2178456585631462272	3,234 ^{+0,076} _{-0,106}	0,791 ^{+0,086} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178270184043589376	3,278 ^{+0,238} _{-0,261}	1,052 ^{+0,074} _{-0,118}
Gaia EDR3 2178398105354352128	3,351 ^{+0,091} _{-0,135}	1,290 ^{+0,114} _{-0,177}
Gaia EDR3 2178397315080376064	3,406 ^{+0,090} _{-0,093}	0,860 ^{+0,074} _{-0,112}
Gaia EDR3 2178500669172852352	3,580 ^{+0,139} _{-0,117}	1,113 ^{+0,084} _{-0,128}
Gaia EDR3 2178289150619257088	3,622 ^{+0,107} _{-0,085}	0,882 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 2178404358826918144	3,697 ^{+0,133} _{-0,115}	0,733 ^{+0,081} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178449473166968192	3,731 ^{+0,102} _{-0,105}	0,725 ^{+0,068} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178421195099930240	3,819 ^{+0,110} _{-0,123}	0,944 ^{+0,088} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178394497581292800	3,857 ^{+0,091} _{-0,090}	1,226 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 2178434561038259840	3,858 ^{+0,163} _{-0,116}	0,953 ^{+0,127} _{-0,194}
Gaia EDR3 2178461636512768384	3,960 ^{+0,100} _{-0,118}	1,010 ^{+0,090} _{-0,141}
Gaia EDR3 2178383124508757120	3,962 ^{+0,113} _{-0,087}	1,289 ^{+0,083} _{-0,126}
Gaia EDR3 2178441261187598208	3,980 ^{+0,099} _{-0,092}	0,961 ^{+0,071} _{-0,109}
Gaia EDR3 2178396868403784960	4,029 ^{+0,138} _{-0,146}	0,638 ^{+0,071} _{-0,109}
Gaia EDR3 2178480637441733888	4,041 ^{+0,106} _{-0,081}	0,751 ^{+0,080} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178417346809283456	4,048 ^{+0,146} _{-0,122}	1,425 ^{+0,114} _{-0,174}
Gaia EDR3 2178400888493119360	4,055 ^{+0,103} _{-0,097}	1,351 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 2178442188900684032	4,065 ^{+0,088} _{-0,154}	1,587 ^{+0,129} _{-0,204}
Gaia EDR3 2178397452519326976	4,074 ^{+0,095} _{-0,118}	1,273 ^{+0,097} _{-0,147}
Gaia EDR3 2178451019353727104	4,100 ^{+0,169} _{-0,095}	1,215 ^{+0,110} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178384086581166720	4,103 ^{+0,097} _{-0,116}	1,285 ^{+0,098} _{-0,148}
Gaia EDR3 2178394050904653440	4,186 ^{+0,109} _{-0,109}	1,257 ^{+0,154} _{-0,192}
Gaia EDR3 2178547707652750720	4,211 ^{+0,160} _{-0,139}	0,763 ^{+0,112} _{-0,173}
Gaia EDR3 2178382574752714240	4,235 ^{+0,116} _{-0,122}	0,774 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 2178385976367027200	4,288 ^{+0,098} _{-0,116}	1,037 ^{+0,088} _{-0,137}
Gaia EDR3 2178396868403780096	4,337 ^{+0,117} _{-0,143}	1,177 ^{+0,100} _{-0,150}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178369930368001536	4, 357 ^{+0,164} _{-0,135}	1, 320 ^{+0,148} _{-0,214}
Gaia EDR3 2178189954060589696	4, 377 ^{+0,082} _{-0,121}	0, 841 ^{+0,073} _{-0,118}
Gaia EDR3 2178445968471715328	4, 385 ^{+0,168} _{-0,178}	0, 885 ^{+0,101} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178397658677755008	4, 392 ^{+0,124} _{-0,150}	1, 145 ^{+0,100} _{-0,151}
Gaia EDR3 2178399101787006464	4, 392 ^{+0,110} _{-0,106}	1, 362 ^{+0,087} _{-0,124}
Gaia EDR3 2178496236763199616	4, 401 ^{+0,113} _{-0,088}	1, 248 ^{+0,086} _{-0,128}
Gaia EDR3 2178440951949966848	4, 404 ^{+0,070} _{-0,125}	1, 351 ^{+0,086} _{-0,131}
Gaia EDR3 2178443769448645760	4, 407 ^{+0,128} _{-0,102}	1, 516 ^{+0,090} _{-0,132}
Gaia EDR3 2178401575688130688	4, 417 ^{+0,119} _{-0,096}	1, 365 ^{+0,094} _{-0,137}
Gaia EDR3 2178394394502330496	4, 437 ^{+0,135} _{-0,095}	1, 530 ^{+0,088} _{-0,130}
Gaia EDR3 2178287466992082560	4, 446 ^{+0,184} _{-0,102}	0, 812 ^{+0,091} _{-0,135}
Gaia EDR3 2178384327099084288	4, 450 ^{+0,101} _{-0,117}	0, 696 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178397757459759360	4, 458 ^{+0,123} _{-0,133}	1, 210 ^{+0,093} _{-0,131}
Gaia EDR3 2178286985955579904	4, 461 ^{+0,124} _{-0,089}	1, 562 ^{+0,090} _{-0,132}
Gaia EDR3 2178398036634850432	4, 474 ^{+0,114} _{-0,158}	0, 974 ^{+0,109} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178402400321563904	4, 494 ^{+0,151} _{-0,108}	1, 430 ^{+0,106} _{-0,154}
Gaia EDR3 2178376115121361792	4, 509 ^{+0,091} _{-0,143}	0, 995 ^{+0,108} _{-0,170}
Gaia EDR3 2178421813575206400	4, 534 ^{+0,195} _{-0,163}	1, 119 ^{+0,129} _{-0,196}
Gaia EDR3 2178400098219387904	4, 545 ^{+0,127} _{-0,137}	1, 417 ^{+0,139} _{-0,194}
Gaia EDR3 2178449919842118144	4, 549 ^{+0,119} _{-0,165}	1, 609 ^{+0,091} _{-0,141}
Gaia EDR3 2178380307009731712	4, 592 ^{+0,101} _{-0,100}	1, 161 ^{+0,072} _{-0,110}
Gaia EDR3 2178387556914944896	4, 632 ^{+0,112} _{-0,120}	1, 407 ^{+0,108} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178450641396443904	4, 658 ^{+0,125} _{-0,144}	0, 957 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178469023850902016	4, 700 ^{+3,261} _{-1,936}	1, 331 ^{+0,791} _{-1,267}
Gaia EDR3 2178442253309193472	4, 715 ^{+2,928} _{-1,063}	2, 562 ^{+0,581} _{-0,921}
Gaia EDR3 2178495618287787648	4, 728 ^{+0,207} _{-0,170}	1, 645 ^{+0,110} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178440642712309760	4, 733 ^{+0,115} _{-0,153}	1, 628 ^{+0,142} _{-0,192}
Gaia EDR3 2178386251244921984	4, 758 ^{+0,121} _{-0,154}	1, 419 ^{+0,097} _{-0,147}
Gaia EDR3 2178450538317241216	4, 840 ^{+0,108} _{-0,129}	1, 646 ^{+0,139} _{-0,189}
Gaia EDR3 2178385186092761216	4, 853 ^{+0,674} _{-0,594}	2, 238 ^{+0,229} _{-0,348}
Gaia EDR3 2178296744121734912	4, 855 ^{+0,113} _{-0,148}	1, 373 ^{+0,110} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178443185333123584	4, 862 ^{+0,131} _{-0,172}	1, 497 ^{+0,118} _{-0,168}
Gaia EDR3 2178441432986447744	4, 878 ^{+0,111} _{-0,210}	1, 554 ^{+0,155} _{-0,244}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178392848313851392	4, 880 ^{+0,160} _{-0,137}	1, 401 ^{+0,118} _{-0,178}
Gaia EDR3 2178415044706597376	4, 899 ^{+0,194} _{-0,112}	0, 946 ^{+0,080} _{-0,116}
Gaia EDR3 2178391199046443648	4, 939 ^{+0,130} _{-0,080}	1, 453 ^{+0,077} _{-0,107}
Gaia EDR3 2178286814156890624	4, 947 ^{+0,112} _{-0,124}	1, 206 ^{+0,101} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178396937111732992	4, 969 ^{+0,156} _{-0,206}	0, 722 ^{+0,244} _{-0,294}
Gaia EDR3 2178402056712608896	4, 979 ^{+0,154} _{-0,129}	1, 598 ^{+0,113} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178441364266809088	4, 979 ^{+0,258} _{-0,340}	2, 113 ^{+0,209} _{-0,334}
Gaia EDR3 2178377901827761536	4, 982 ^{+0,319} _{-0,323}	1, 396 ^{+0,095} _{-0,137}
Gaia EDR3 2178404633705020544	4, 986 ^{+0,114} _{-0,120}	1, 590 ^{+0,090} _{-0,127}
Gaia EDR3 2178434114361509376	4, 990 ^{+0,242} _{-0,153}	1, 804 ^{+0,134} _{-0,193}
Gaia EDR3 2178447961336836096	5, 009 ^{+0,114} _{-0,114}	1, 017 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2178482389788546944	5, 010 ^{+0,150} _{-0,113}	1, 476 ^{+0,104} _{-0,152}
Gaia EDR3 2178442876095465472	5, 034 ^{+0,129} _{-0,236}	1, 464 ^{+0,163} _{-0,264}
Gaia EDR3 2178296533658256512	5, 038 ^{+0,175} _{-0,165}	0, 906 ^{+0,101} _{-0,157}
Gaia EDR3 2178442738656526208	5, 050 ^{+0,117} _{-0,195}	1, 582 ^{+0,148} _{-0,223}
Gaia EDR3 2178391920604542336	5, 054 ^{+0,135} _{-0,156}	1, 187 ^{+0,091} _{-0,141}
Gaia EDR3 2178420370465999232	5, 058 ^{+0,225} _{-0,119}	1, 483 ^{+0,124} _{-0,184}
Gaia EDR3 2178397693040671744	5, 072 ^{+0,248} _{-0,234}	1, 406 ^{+0,139} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178395425294441344	5, 084 ^{+0,147} _{-0,123}	1, 693 ^{+0,086} _{-0,129}
Gaia EDR3 2178394291422867840	5, 096 ^{+0,149} _{-0,106}	1, 524 ^{+0,100} _{-0,143}
Gaia EDR3 2178377901827757056	5, 117 ^{+0,128} _{-0,127}	1, 499 ^{+0,105} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178402675199735424	5, 118 ^{+0,115} _{-0,169}	1, 428 ^{+0,115} _{-0,177}
Gaia EDR3 2178397551292322304	5, 143 ^{+0,130} _{-0,161}	1, 610 ^{+0,098} _{-0,148}
Gaia EDR3 2178289459857084160	5, 147 ^{+0,204} _{-0,144}	1, 311 ^{+0,145} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178380444448684160	5, 168 ^{+0,121} _{-0,111}	1, 756 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 2178189095067308800	5, 183 ^{+0,243} _{-0,157}	1, 038 ^{+0,110} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178385838928060672	5, 187 ^{+0,136} _{-0,122}	1, 714 ^{+0,102} _{-0,139}
Gaia EDR3 2178398070994613888	5, 188 ^{+0,157} _{-0,167}	1, 476 ^{+0,159} _{-0,227}
Gaia EDR3 2178290284490777344	5, 198 ^{+0,155} _{-0,127}	1, 151 ^{+0,128} _{-0,188}
Gaia EDR3 2178374878170801792	5, 203 ^{+0,139} _{-0,140}	1, 246 ^{+0,103} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178398414591976704	5, 203 ^{+0,160} _{-0,200}	1, 397 ^{+0,124} _{-0,192}
Gaia EDR3 2178390305693509376	5, 218 ^{+0,103} _{-0,137}	1, 621 ^{+0,092} _{-0,141}
Gaia EDR3 2178448923411139072	5, 220 ^{+0,181} _{-0,235}	0, 873 ^{+0,102} _{-0,157}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178385667129374080	5, 223 ^{+0,139} _{-0,175}	1, 908 ^{+0,090} _{-0,140}
Gaia EDR3 2178395631452868224	5, 230 ^{+0,113} _{-0,116}	1, 631 ^{+0,092} _{-0,130}
Gaia EDR3 2178486409878079488	5, 233 ^{+0,136} _{-0,155}	1, 257 ^{+0,106} _{-0,162}
Gaia EDR3 2178441909720014336	5, 255 ^{+0,330} _{-0,181}	2, 508 ^{+0,211} _{-0,312}
Gaia EDR3 2178176313244668416	5, 259 ^{+0,154} _{-0,180}	0, 950 ^{+0,119} _{-0,187}
Gaia EDR3 2178441055029170688	5, 267 ^{+0,139} _{-0,144}	1, 605 ^{+0,072} _{-0,110}
Gaia EDR3 2178392740924572800	5, 282 ^{+0,177} _{-0,162}	1, 639 ^{+0,139} _{-0,200}
Gaia EDR3 2178377214633022208	5, 283 ^{+0,167} _{-0,179}	1, 034 ^{+0,101} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178394016544908288	5, 291 ^{+0,140} _{-0,138}	1, 682 ^{+0,109} _{-0,147}
Gaia EDR3 2178382746551639296	5, 291 ^{+0,164} _{-0,133}	1, 574 ^{+0,105} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178477304547132800	5, 299 ^{+0,200} _{-0,208}	1, 031 ^{+0,133} _{-0,206}
Gaia EDR3 2178391886241450496	5, 301 ^{+0,220} _{-0,239}	1, 917 ^{+0,115} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178399582823347200	5, 306 ^{+0,169} _{-0,156}	1, 755 ^{+0,101} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178397727397219328	5, 308 ^{+0,172} _{-0,237}	1, 522 ^{+0,102} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178398105354350592	5, 317 ^{+0,127} _{-0,186}	1, 625 ^{+0,132} _{-0,195}
Gaia EDR3 2178381681399789824	5, 333 ^{+0,121} _{-0,160}	1, 683 ^{+0,174} _{-0,219}
Gaia EDR3 2178454485379657216	5, 353 ^{+2,918} _{-1,912}	2, 625 ^{+0,931} _{-1,475}
Gaia EDR3 2178386079446237184	5, 354 ^{+0,122} _{-0,151}	1, 435 ^{+0,094} _{-0,144}
Gaia EDR3 2178496546000704768	5, 356 ^{+0,301} _{-0,455}	1, 621 ^{+0,106} _{-0,155} †
Gaia EDR3 2178396937123251840	5, 358 ^{+0,176} _{-0,177}	1, 395 ^{+0,148} _{-0,199}
Gaia EDR3 2178482080550882944	5, 364 ^{+0,210} _{-0,173}	1, 023 ^{+0,080} _{-0,116}
Gaia EDR3 2178383601237749632	5, 378 ^{+0,194} _{-0,199}	1, 852 ^{+0,097} _{-0,140}
Gaia EDR3 2178398655110430080	5, 381 ^{+0,194} _{-0,161}	1, 857 ^{+0,139} _{-0,205}
Gaia EDR3 2178398070994612480	5, 383 ^{+0,160} _{-0,184}	1, 753 ^{+0,107} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178395489703989504	5, 396 ^{+0,163} _{-0,107}	1, 886 ^{+0,101} _{-0,149}
Gaia EDR3 2178402606480266112	5, 396 ^{+0,128} _{-0,168}	1, 304 ^{+0,111} _{-0,173}
Gaia EDR3 2178386045086501760	5, 408 ^{+0,129} _{-0,138}	1, 618 ^{+0,074} _{-0,111}
Gaia EDR3 2178395597093124992	5, 423 ^{+0,153} _{-0,129}	1, 327 ^{+0,088} _{-0,131}
Gaia EDR3 2178390305693267456	5, 434 ^{+0,157} _{-0,127}	1, 618 ^{+0,093} _{-0,135}
Gaia EDR3 2178393604228050560	5, 435 ^{+0,156} _{-0,135}	1, 592 ^{+0,105} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178549253841095040	5, 444 ^{+0,140} _{-0,178}	1, 757 ^{+0,093} _{-0,144}
Gaia EDR3 2178386216885189376	5, 464 ^{+0,116} _{-0,116}	1, 581 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 2178550662590236544	5, 470 ^{+0,191} _{-0,183}	2, 062 ^{+0,082} _{-0,119}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178443013534417408	5, 476 ^{+0,112} _{-0,228}	1, 831 ^{+0,161} _{-0,232}
Gaia EDR3 2178386835360448128	5, 478 ^{+0,117} _{-0,136}	1, 578 ^{+0,080} _{-0,125}
Gaia EDR3 2178397899195898368	5, 484 ^{+0,141} _{-0,142}	1, 871 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 2178365596730664448	5, 493 ^{+0,642} _{-0,225}	0, 958 ^{+0,351} _{-0,517}
Gaia EDR3 2178477270187399680	5, 518 ^{+0,101} _{-0,192}	1, 621 ^{+0,129} _{-0,204}
Gaia EDR3 2178443219693138688	5, 525 ^{+0,191} _{-0,202}	1, 001 ^{+0,222} _{-0,272}
Gaia EDR3 2178465209925445376	5, 527 ^{+0,126} _{-0,193}	1, 059 ^{+0,108} _{-0,171}
Gaia EDR3 2178490292528479744	5, 554 ^{+0,148} _{-0,157}	1, 700 ^{+0,120} _{-0,175}
Gaia EDR3 2178549528718978944	5, 560 ^{+0,148} _{-0,165}	1, 761 ^{+0,099} _{-0,150}
Gaia EDR3 2178390546211695616	5, 561 ^{+0,164} _{-0,193}	1, 828 ^{+0,096} _{-0,146}
Gaia EDR3 2178384567617482496	5, 588 ^{+0,108} _{-0,221}	1, 979 ^{+0,135} _{-0,218}
Gaia EDR3 2178369170143557760	5, 588 ^{+0,147} _{-0,220}	0, 976 ^{+0,125} _{-0,201}
Gaia EDR3 2178395665812599040	5, 599 ^{+0,173} _{-0,216}	2, 203 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 2178284164151439744	5, 605 ^{+0,244} _{-0,155}	1, 497 ^{+0,142} _{-0,214}
Gaia EDR3 2178498294044962048	5, 607 ^{+0,976} _{-1,737}	2, 079 ^{+0,524} _{-0,785}
Gaia EDR3 2178441261187597056	5, 608 ^{+0,163} _{-0,270}	2, 401 ^{+0,175} _{-0,276}
Gaia EDR3 2178396627885621888	5, 624 ^{+0,123} _{-0,158}	1, 975 ^{+0,092} _{-0,142}
Gaia EDR3 2178386972799400960	5, 626 ^{+0,260} _{-0,215}	2, 174 ^{+0,137} _{-0,203}
Gaia EDR3 2178394669380222592	5, 634 ^{+0,158} _{-0,160}	1, 984 ^{+0,098} _{-0,140}
Gaia EDR3 2178385323531716480	5, 654 ^{+0,234} _{-0,328}	2, 173 ^{+0,158} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178385735848606976	5, 659 ^{+0,180} _{-0,186}	2, 231 ^{+0,108} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178394699429915904	5, 665 ^{+0,180} _{-0,140}	1, 741 ^{+0,123} _{-0,184}
Gaia EDR3 2178383536825113984	5, 667 ^{+0,162} _{-0,158}	1, 944 ^{+0,093} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178385220452497792	5, 683 ^{+0,169} _{-0,253}	1, 738 ^{+0,150} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178547604573541120	5, 690 ^{+0,251} _{-0,147}	1, 647 ^{+0,155} _{-0,232}
Gaia EDR3 2178441158101474560	5, 714 ^{+0,159} _{-0,224}	1, 679 ^{+0,119} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178385495330441856	5, 722 ^{+0,219} _{-0,213}	2, 198 ^{+0,104} _{-0,160}
Gaia EDR3 2178441089388920832	5, 724 ^{+0,174} _{-0,203}	1, 489 ^{+0,096} _{-0,146}
Gaia EDR3 2178417003211880448	5, 732 ^{+0,198} _{-0,162}	1, 108 ^{+0,113} _{-0,174}
Gaia EDR3 2178398105354351232	5, 739 ^{+0,194} _{-0,207}	1, 689 ^{+0,130} _{-0,198}
Gaia EDR3 2178489674053208832	5, 749 ^{+0,108} _{-0,168}	1, 619 ^{+0,104} _{-0,161}
Gaia EDR3 2178450022921322240	5, 749 ^{+0,124} _{-0,245}	1, 808 ^{+0,118} _{-0,188}
Gaia EDR3 2178441742223922560	5, 751 ^{+0,333} _{-0,285}	2, 076 ^{+0,242} _{-0,363}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178396834044047616	5,751 ^{+0,189} _{-0,192}	1,926 ^{+0,100} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178499466578436736	5,753 ^{+0,263} _{-0,213}	1,917 ^{+0,142} _{-0,209}
Gaia EDR3 2178452496823987584	5,769 ^{+0,288} _{-0,191}	2,297 ^{+0,144} _{-0,216}
Gaia EDR3 2178192737199560064	5,773 ^{+0,161} _{-0,165}	1,696 ^{+0,140} _{-0,196}
Gaia EDR3 2178400888493120640	5,773 ^{+0,135} _{-0,144}	1,883 ^{+0,076} _{-0,113}
Gaia EDR3 2178475792718532992	5,777 ^{+0,144} _{-0,122}	1,860 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 2178480500006384512	5,782 ^{+0,304} _{-0,288}	1,719 ^{+0,150} _{-0,225}
Gaia EDR3 2178450160360276480	5,790 ^{+0,162} _{-0,189}	1,734 ^{+0,128} _{-0,196}
Gaia EDR3 2178451603463257600	5,796 ^{+0,446} _{-0,380}	1,824 ^{+0,120} _{-0,185} †
Gaia EDR3 2178398036638040576	5,841 ^{+0,249} _{-0,265}	1,791 ^{+0,119} _{-0,180}
Gaia EDR3 2178499500938172416	5,847 ^{+0,199} _{-0,197}	1,940 ^{+0,118} _{-0,174}
Gaia EDR3 2178484623171705856	5,854 ^{+0,176} _{-0,209}	1,763 ^{+0,159} _{-0,249}
Gaia EDR3 2178455073802811776	5,859 ^{+0,171} _{-0,210}	1,670 ^{+0,100} _{-0,151}
Gaia EDR3 2178495205970904704	5,879 ^{+0,215} _{-0,158}	1,774 ^{+0,122} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178441226827857920	5,887 ^{+0,187} _{-0,202}	1,918 ^{+0,078} _{-0,116}
Gaia EDR3 2178444113039290496	5,888 ^{+0,318} _{-0,404}	1,537 ^{+0,241} _{-0,281}
Gaia EDR3 2178382196795600896	5,890 ^{+0,186} _{-0,157}	1,823 ^{+0,093} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178421916654420480	5,901 ^{+0,290} _{-0,172}	1,877 ^{+0,168} _{-0,245}
Gaia EDR3 2178399342305198720	5,913 ^{+0,148} _{-0,162}	1,824 ^{+0,093} _{-0,130}
Gaia EDR3 2178396421726960128	5,913 ^{+0,146} _{-0,172}	2,271 ^{+0,092} _{-0,142}
Gaia EDR3 2178468267942310144	5,920 ^{+0,149} _{-0,126}	1,047 ^{+0,086} _{-0,128}
Gaia EDR3 2178390374413009152	5,943 ^{+0,155} _{-0,174}	1,524 ^{+0,122} _{-0,190}
Gaia EDR3 2178494793653876992	5,944 ^{+0,248} _{-0,254}	1,678 ^{+0,151} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178442841735735168	5,945 ^{+0,160} _{-0,233}	2,054 ^{+0,135} _{-0,210}
Gaia EDR3 2178393982185180288	5,952 ^{+0,182} _{-0,182}	1,703 ^{+0,121} _{-0,171}
Gaia EDR3 2178183013393183104	5,955 ^{+0,160} _{-0,213}	1,595 ^{+0,129} _{-0,197}
Gaia EDR3 2178449438799259520	5,955 ^{+0,223} _{-0,164}	1,847 ^{+0,153} _{-0,201}
Gaia EDR3 2178483420580688768	5,956 ^{+0,117} _{-0,213}	1,146 ^{+0,113} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178401025932067200	5,957 ^{+0,142} _{-0,158}	2,089 ^{+0,078} _{-0,115}
Gaia EDR3 2178398929988322048	5,960 ^{+0,160} _{-0,205}	2,180 ^{+0,094} _{-0,144}
Gaia EDR3 2178480461336365824	5,964 ^{+0,172} _{-0,184}	1,649 ^{+0,163} _{-0,205}
Gaia EDR3 2178380547527913472	5,966 ^{+0,153} _{-0,187}	1,885 ^{+0,078} _{-0,115}
Gaia EDR3 2178385460970715904	5,971 ^{+0,211} _{-0,249}	1,967 ^{+0,093} _{-0,142}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178477201467911040	5, 974 ^{+0,135} _{-0,140}	1, 815 ^{+0,089} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178402262882609920	5, 975 ^{+0,220} _{-0,145}	1, 801 ^{+0,084} _{-0,120}
Gaia EDR3 2178397246361356928	5, 984 ^{+0,247} _{-0,251}	2, 424 ^{+0,102} _{-0,140}
Gaia EDR3 2178397864836157440	5, 988 ^{+0,154} _{-0,162}	1, 870 ^{+0,113} _{-0,150}
Gaia EDR3 2178551865181071488	5, 988 ^{+0,192} _{-0,281}	2, 124 ^{+0,141} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178347630897720960	5, 990 ^{+0,235} _{-0,217}	1, 078 ^{+0,109} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178286779797155456	5, 991 ^{+0,155} _{-0,164}	1, 123 ^{+0,083} _{-0,126}
Gaia EDR3 2178389339310069888	5, 994 ^{+0,154} _{-0,121}	1, 725 ^{+0,102} _{-0,145}
Gaia EDR3 2178434797245067520	6, 012 ^{+0,257} _{-0,215}	1, 227 ^{+0,155} _{-0,234}
Gaia EDR3 2178397757451582336	6, 014 ^{+0,257} _{-0,303}	2, 624 ^{+0,136} _{-0,199}
Gaia EDR3 2178397177641430784	6, 022 ^{+0,207} _{-0,175}	1, 655 ^{+0,133} _{-0,181}
Gaia EDR3 2178395356574976256	6, 027 ^{+0,151} _{-0,169}	1, 849 ^{+0,086} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178385632769636352	6, 027 ^{+0,191} _{-0,221}	1, 904 ^{+0,099} _{-0,149}
Gaia EDR3 2178183666228254720	6, 028 ^{+0,221} _{-0,239}	1, 491 ^{+0,096} _{-0,146}
Gaia EDR3 2178442704296780288	6, 031 ^{+0,171} _{-0,253}	1, 571 ^{+0,239} _{-0,315}
Gaia EDR3 2178400922852856448	6, 048 ^{+0,144} _{-0,158}	1, 888 ^{+0,076} _{-0,113}
Gaia EDR3 2178385117373292032	6, 050 ^{+0,304} _{-0,338}	2, 063 ^{+0,100} _{-0,143}
Gaia EDR3 2178397143281700992	6, 076 ^{+0,203} _{-0,196}	1, 749 ^{+0,150} _{-0,198}
Gaia EDR3 2178397448212603008	6, 086 ^{+0,175} _{-0,241}	2, 344 ^{+0,115} _{-0,165}
Gaia EDR3 2178549425639769472	6, 087 ^{+1,328} _{-0,355}	2, 237 ^{+0,848} _{-1,249}
Gaia EDR3 2178480328203977600	6, 087 ^{+0,138} _{-0,169}	2, 013 ^{+0,103} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178479469210803712	6, 105 ^{+0,233} _{-0,198}	1, 150 ^{+0,088} _{-0,131}
Gaia EDR3 2178395356574973056	6, 107 ^{+0,204} _{-0,233}	1, 896 ^{+0,094} _{-0,137}
Gaia EDR3 2178397899195898624	6, 112 ^{+0,187} _{-0,156}	2, 034 ^{+0,110} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178385387945740928	6, 127 ^{+0,280} _{-0,306}	1, 972 ^{+0,183} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178451088073201536	6, 128 ^{+0,251} _{-0,151}	1, 856 ^{+0,122} _{-0,175}
Gaia EDR3 2178399033067535104	6, 131 ^{+0,194} _{-0,202}	1, 866 ^{+0,139} _{-0,195}
Gaia EDR3 2178376115121361664	6, 138 ^{+0,148} _{-0,204}	1, 646 ^{+0,117} _{-0,180}
Gaia EDR3 2178482110603989504	6, 144 ^{+0,216} _{-0,121}	2, 219 ^{+0,087} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178391370845371008	6, 152 ^{+0,204} _{-0,214}	2, 107 ^{+0,091} _{-0,134}
Gaia EDR3 2178383880422739072	6, 155 ^{+0,190} _{-0,194}	1, 886 ^{+0,138} _{-0,193}
Gaia EDR3 2178193802351549952	6, 158 ^{+0,130} _{-0,136}	1, 960 ^{+0,075} _{-0,112}
Gaia EDR3 2178485619604106112	6, 193 ^{+0,220} _{-0,191}	1, 781 ^{+0,125} _{-0,178}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung		
Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178393771716897536	6, 199 ^{+0,260} _{-0,254}	1, 810 ^{+0,159} _{-0,233}
Gaia EDR3 2178384911214872576	6, 202 ^{+0,258} _{-0,309}	2, 128 ^{+0,160} _{-0,241}
Gaia EDR3 2178396765324317056	6, 222 ^{+0,260} _{-0,255}	2, 204 ^{+0,131} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178390099534840832	6, 224 ^{+0,152} _{-0,189}	1, 741 ^{+0,139} _{-0,189}
Gaia EDR3 2178450637088253696	6, 224 ^{+0,156} _{-0,185}	2, 169 ^{+0,097} _{-0,147}
Gaia EDR3 2178452870470962560	6, 236 ^{+0,197} _{-0,211}	2, 327 ^{+0,117} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178374362774992896	6, 248 ^{+0,171} _{-0,187}	2, 055 ^{+0,111} _{-0,173}
Gaia EDR3 2178400265711280512	6, 260 ^{+0,172} _{-0,202}	2, 373 ^{+0,102} _{-0,152}
Gaia EDR3 2178383811703273344	6, 261 ^{+0,215} _{-0,191}	2, 483 ^{+0,096} _{-0,138}
Gaia EDR3 2178395214830181248	6, 268 ^{+1,261} _{-0,940}	3, 002 ^{+0,349} _{-0,514}
Gaia EDR3 2178374053537369600	6, 268 ^{+0,193} _{-0,219}	1, 652 ^{+0,127} _{-0,195}
Gaia EDR3 2178386904079914368	6, 274 ^{+0,222} _{-0,157}	1, 962 ^{+0,113} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178458544136067456	6, 282 ^{+0,160} _{-0,252}	1, 669 ^{+0,106} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178398822602715008	6, 292 ^{+1,216} _{-1,146}	2, 409 ^{+0,430} _{-0,652}
Gaia EDR3 2178379310577347840	6, 295 ^{+0,167} _{-0,179}	1, 943 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 2178417724766361344	6, 299 ^{+0,261} _{-0,297}	1, 910 ^{+0,159} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178468675951364992	6, 307 ^{+0,231} _{-0,190}	1, 979 ^{+0,118} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178392917033317248	6, 308 ^{+0,193} _{-0,195}	1, 688 ^{+0,148} _{-0,208}
Gaia EDR3 2178549528718978560	6, 313 ^{+0,247} _{-0,302}	1, 892 ^{+0,165} _{-0,251}
Gaia EDR3 2178494243898242816	6, 314 ^{+0,178} _{-0,190}	1, 881 ^{+0,108} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178496236763200640	6, 315 ^{+0,166} _{-0,174}	1, 860 ^{+0,114} _{-0,169}
Gaia EDR3 2178440573992840448	6, 325 ^{+0,191} _{-0,198}	2, 111 ^{+0,094} _{-0,131}
Gaia EDR3 2178442669938739712	6, 331 ^{+0,167} _{-0,327}	1, 974 ^{+0,176} _{-0,277}
Gaia EDR3 2178433839483609472	6, 334 ^{+0,279} _{-0,247}	2, 056 ^{+0,158} _{-0,228}
Gaia EDR3 2178396932817827200	6, 340 ^{+0,309} _{-0,362}	2, 027 ^{+0,119} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178385770211481728	6, 348 ^{+0,203} _{-0,317}	2, 059 ^{+0,114} _{-0,176}
Gaia EDR3 2178417170698566016	6, 362 ^{+0,273} _{-0,262}	1, 200 ^{+0,161} _{-0,240}
Gaia EDR3 2178397693037954048	6, 366 ^{+0,218} _{-0,263}	1, 734 ^{+0,143} _{-0,194}
Gaia EDR3 2178547772065139712	6, 375 ^{+0,216} _{-0,218}	2, 581 ^{+0,117} _{-0,167}
Gaia EDR3 2178390958528283776	6, 384 ^{+0,193} _{-0,153}	1, 864 ^{+0,103} _{-0,146}
Gaia EDR3 2178499943308939648	6, 384 ^{+0,295} _{-0,457}	1, 916 ^{+0,215} _{-0,317}
Gaia EDR3 2178395081697083264	6, 388 ^{+0,312} _{-0,223}	2, 170 ^{+0,130} _{-0,189}
Gaia EDR3 2178387041518869632	6, 411 ^{+0,284} _{-0,250}	1, 988 ^{+0,140} _{-0,206}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178395562733397120	6, 411 ^{+0,236} _{-0,335}	2, 218 ^{+0,157} _{-0,240}
Gaia EDR3 2178397654370950016	6, 411 ^{+0,242} _{-0,277}	2, 126 ^{+0,128} _{-0,179}
Gaia EDR3 2178398547733899776	6, 413 ^{+0,182} _{-0,177}	2, 027 ^{+0,094} _{-0,136}
Gaia EDR3 2178397143284867584	6, 418 ^{+0,856} _{-1,898}	1, 193 ^{+0,512} _{-0,824}
Gaia EDR3 2178397418162770560	6, 421 ^{+0,192} _{-0,171}	2, 108 ^{+0,084} _{-0,121}
Gaia EDR3 2178500286908983808	6, 424 ^{+0,450} _{-0,653}	2, 640 ^{+0,252} _{-0,353}
Gaia EDR3 2178387316396791040	6, 432 ^{+0,204} _{-0,241}	1, 979 ^{+0,157} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178385976367025664	6, 434 ^{+0,154} _{-0,174}	2, 238 ^{+0,087} _{-0,124}
Gaia EDR3 2178380513168184192	6, 434 ^{+0,200} _{-0,308}	1, 961 ^{+0,200} _{-0,288}
Gaia EDR3 2178460086012828800	6, 435 ^{+0,465} _{-0,572}	1, 392 ^{+0,233} _{-0,365}
Gaia EDR3 2178397276414802432	6, 440 ^{+1,011} _{-1,517}	2, 499 ^{+0,570} _{-0,881}
Gaia EDR3 2178468577179966208	6, 448 ^{+0,268} _{-0,350}	1, 466 ^{+0,159} _{-0,245}
Gaia EDR3 2178503074351123200	6, 451 ^{+0,189} _{-0,197}	2, 179 ^{+0,137} _{-0,210}
Gaia EDR3 2178442154540783104	6, 461 ^{+0,466} _{-0,495}	2, 138 ^{+0,355} _{-0,527}
Gaia EDR3 2178296739816720256	6, 473 ^{+0,189} _{-0,302}	2, 316 ^{+0,155} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178346630160788992	6, 477 ^{+0,280} _{-0,420}	1, 323 ^{+0,106} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178389618498468352	6, 477 ^{+0,174} _{-0,155}	1, 933 ^{+0,092} _{-0,135}
Gaia EDR3 2178397310774950912	6, 482 ^{+1,153} _{-1,566}	2, 356 ^{+0,226} _{-0,289}
Gaia EDR3 2178287089027751680	6, 491 ^{+0,295} _{-0,271}	1, 947 ^{+0,179} _{-0,257} †
Gaia EDR3 2178390236973795712	6, 498 ^{+0,162} _{-0,188}	1, 747 ^{+0,093} _{-0,135}
Gaia EDR3 2178400063859655168	6, 500 ^{+0,207} _{-0,173}	1, 686 ^{+0,228} _{-0,270}
Gaia EDR3 2178419335363470208	6, 502 ^{+0,561} _{-0,796}	1, 164 ^{+0,484} _{-0,768}
Gaia EDR3 2178382368594520704	6, 510 ^{+0,342} _{-0,441}	1, 431 ^{+0,250} _{-0,324}
Gaia EDR3 2178494858067043456	6, 510 ^{+1,496} _{-1,697}	1, 543 ^{+0,702} _{-1,142}
Gaia EDR3 2178493591063053568	6, 511 ^{+0,197} _{-0,211}	2, 039 ^{+0,109} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178396795377461760	6, 512 ^{+0,210} _{-0,266}	2, 191 ^{+0,133} _{-0,178}
Gaia EDR3 2178397143281703808	6, 514 ^{+0,220} _{-0,198}	2, 009 ^{+0,111} _{-0,159}
Gaia EDR3 2178444864649304704	6, 518 ^{+0,466} _{-0,654}	2, 838 ^{+0,293} _{-0,421}
Gaia EDR3 2178364020492866432	6, 519 ^{+0,207} _{-0,253}	1, 519 ^{+0,112} _{-0,175}
Gaia EDR3 2178477167108169088	6, 519 ^{+0,162} _{-0,204}	1, 954 ^{+0,133} _{-0,195}
Gaia EDR3 2178383399389460992	6, 523 ^{+1,279} _{-1,297}	1, 333 ^{+0,454} _{-0,729}
Gaia EDR3 2178388209749361920	6, 525 ^{+0,210} _{-0,166}	1, 240 ^{+0,097} _{-0,145}
Gaia EDR3 2178400128272314752	6, 526 ^{+0,165} _{-0,196}	2, 072 ^{+0,078} _{-0,115}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178399204855165184	6, 528 ^{+1,736} _{-1,544}	3, 193 ^{+0,763} _{-1,133}
Gaia EDR3 2178396211258680448	6, 530 ^{+0,228} _{-0,280}	2, 160 ^{+0,144} _{-0,219}
Gaia EDR3 2178384361458822912	6, 531 ^{+0,208} _{-0,224}	2, 207 ^{+0,089} _{-0,126}
Gaia EDR3 2178391954960918400	6, 532 ^{+0,255} _{-0,273}	1, 236 ^{+0,124} _{-0,192}
Gaia EDR3 2178460433921834240	6, 535 ^{+0,281} _{-0,286}	2, 094 ^{+0,154} _{-0,222}
Gaia EDR3 2178499226060273664	6, 539 ^{+0,414} _{-0,804}	2, 600 ^{+0,253} _{-0,380}
Gaia EDR3 2178441364259874304	6, 539 ^{+0,213} _{-0,383}	3, 035 ^{+0,239} _{-0,365}
Gaia EDR3 2178392500406233472	6, 542 ^{+0,189} _{-0,181}	2, 493 ^{+0,074} _{-0,099}
Gaia EDR3 2178287604430869760	6, 543 ^{+0,225} _{-0,236}	2, 064 ^{+0,109} _{-0,165}
Gaia EDR3 2178400270018102912	6, 549 ^{+0,242} _{-0,269}	1, 214 ^{+0,094} _{-0,144}
Gaia EDR3 2178497744285142144	6, 552 ^{+0,309} _{-0,398}	2, 182 ^{+0,161} _{-0,242}
Gaia EDR3 2178449816762756864	6, 569 ^{+0,204} _{-0,172}	2, 016 ^{+0,204} _{-0,252}
Gaia EDR3 2178400712388220032	6, 588 ^{+0,263} _{-0,341}	2, 044 ^{+0,294} _{-0,400}
Gaia EDR3 2178484760610652800	6, 590 ^{+1,351} _{-3,142}	2, 555 ^{+1,181} _{-1,903}
Gaia EDR3 2178385353585129344	6, 614 ^{+0,308} _{-0,291}	2, 197 ^{+0,143} _{-0,204}
Gaia EDR3 2178549288200817664	6, 616 ^{+0,265} _{-0,315}	2, 253 ^{+0,103} _{-0,148}
Gaia EDR3 2178399101787009280	6, 618 ^{+0,199} _{-0,234}	2, 094 ^{+0,106} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178495236024264064	6, 620 ^{+0,211} _{-0,291}	2, 173 ^{+0,163} _{-0,257}
Gaia EDR3 2178396627885621504	6, 621 ^{+0,165} _{-0,193}	1, 696 ^{+0,100} _{-0,150}
Gaia EDR3 2178494651912683136	6, 625 ^{+0,281} _{-0,219}	2, 011 ^{+0,140} _{-0,206}
Gaia EDR3 2178376974102609920	6, 629 ^{+0,223} _{-0,212}	0, 867 ^{+0,214} _{-0,269}
Gaia EDR3 2178397280709130112	6, 632 ^{+0,346} _{-0,415}	2, 297 ^{+0,121} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178389824656943616	6, 633 ^{+0,154} _{-0,248}	2, 472 ^{+0,116} _{-0,173}
Gaia EDR3 2178475655279579904	6, 633 ^{+0,266} _{-0,236}	1, 284 ^{+0,119} _{-0,179}
Gaia EDR3 2178398139714082176	6, 636 ^{+0,264} _{-0,290}	2, 147 ^{+0,143} _{-0,211}
Gaia EDR3 2178382128076125824	6, 636 ^{+0,262} _{-0,338}	2, 448 ^{+0,141} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178393982185185920	6, 638 ^{+0,198} _{-0,182}	2, 307 ^{+0,106} _{-0,148}
Gaia EDR3 2178377901827761408	6, 639 ^{+0,269} _{-0,176}	2, 278 ^{+0,088} _{-0,123}
Gaia EDR3 2178396318647881216	6, 642 ^{+0,267} _{-0,168}	2, 713 ^{+0,107} _{-0,143}
Gaia EDR3 2178433805123877504	6, 643 ^{+0,328} _{-0,348}	2, 239 ^{+0,229} _{-0,345}
Gaia EDR3 2178380135211054208	6, 651 ^{+0,212} _{-0,202}	2, 004 ^{+0,104} _{-0,147}
Gaia EDR3 2178393054472271872	6, 655 ^{+0,273} _{-0,285}	1, 997 ^{+0,135} _{-0,196}
Gaia EDR3 2178385250506786560	6, 658 ^{+0,788} _{-1,605}	2, 241 ^{+0,518} _{-0,803}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178469676691859584	6, 665 ^{+0,209} _{-0,247}	1, 763 ^{+0,130} _{-0,193}
Gaia EDR3 2178440573992845568	6, 679 ^{+0,179} _{-0,199}	2, 434 ^{+0,120} _{-0,176}
Gaia EDR3 2178469367454096000	6, 682 ^{+0,249} _{-0,170}	2, 475 ^{+0,114} _{-0,162}
Gaia EDR3 2178397074562221056	6, 683 ^{+0,256} _{-0,307}	1, 839 ^{+0,116} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178397688731739776	6, 685 ^{+0,270} _{-0,263}	1, 615 ^{+0,176} _{-0,226}
Gaia EDR3 2178548223048840704	6, 687 ^{+0,198} _{-0,323}	2, 033 ^{+0,198} _{-0,304}
Gaia EDR3 2178191225370888192	6, 688 ^{+0,152} _{-0,256}	1, 896 ^{+0,132} _{-0,207}
Gaia EDR3 2178396868404203264	6, 691 ^{+0,293} _{-0,342}	2, 115 ^{+0,147} _{-0,197}
Gaia EDR3 2178283481262297344	6, 696 ^{+0,316} _{-0,344}	1, 403 ^{+0,156} _{-0,237}
Gaia EDR3 2178286401840376960	6, 698 ^{+0,461} _{-0,596}	1, 459 ^{+0,190} _{-0,296}
Gaia EDR3 2178419305314121856	6, 699 ^{+0,510} _{-0,755}	1, 489 ^{+0,505} _{-0,796}
Gaia EDR3 2178476033236835968	6, 700 ^{+0,176} _{-0,163}	2, 055 ^{+0,087} _{-0,129}
Gaia EDR3 2178386075149847296	6, 703 ^{+0,187} _{-0,262}	1, 957 ^{+0,118} _{-0,168}
Gaia EDR3 2178392229838569472	6, 705 ^{+0,457} _{-0,629}	2, 188 ^{+0,176} _{-0,269}
Gaia EDR3 2178458986501139840	6, 707 ^{+0,282} _{-0,344}	2, 037 ^{+0,212} _{-0,305}
Gaia EDR3 2178395661507500800	6, 708 ^{+0,265} _{-0,196}	2, 792 ^{+0,131} _{-0,174}
Gaia EDR3 2178398002263548288	6, 715 ^{+0,221} _{-0,226}	2, 298 ^{+0,084} _{-0,121}
Gaia EDR3 2178397864836164096	6, 717 ^{+0,202} _{-0,302}	2, 182 ^{+0,123} _{-0,185}
Gaia EDR3 2178399548463600384	6, 721 ^{+0,207} _{-0,211}	2, 588 ^{+0,118} _{-0,173}
Gaia EDR3 2178456203365614848	6, 736 ^{+0,237} _{-0,289}	2, 230 ^{+0,144} _{-0,214}
Gaia EDR3 2178391302125646720	6, 737 ^{+0,218} _{-0,193}	2, 168 ^{+0,107} _{-0,150}
Gaia EDR3 2178386938439659136	6, 741 ^{+0,241} _{-0,174}	1, 433 ^{+0,143} _{-0,196}
Gaia EDR3 2178379649868655232	6, 743 ^{+0,932} _{-1,093}	2, 408 ^{+0,399} _{-0,602}
Gaia EDR3 2178475964517221120	6, 743 ^{+0,180} _{-0,246}	2, 223 ^{+0,107} _{-0,157}
Gaia EDR3 2178397315068859776	6, 751 ^{+0,675} _{-0,663}	2, 187 ^{+0,134} _{-0,197} †
Gaia EDR3 2178393569868318208	6, 754 ^{+0,198} _{-0,260}	2, 383 ^{+0,134} _{-0,197}
Gaia EDR3 2178398066688787584	6, 764 ^{+0,248} _{-0,336}	2, 252 ^{+0,149} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178442974872913152	6, 769 ^{+0,260} _{-0,411}	2, 193 ^{+0,212} _{-0,325}
Gaia EDR3 2178390133894580864	6, 769 ^{+0,261} _{-0,250}	1, 971 ^{+0,113} _{-0,161}
Gaia EDR3 2178374255383869312	6, 775 ^{+0,204} _{-0,177}	2, 145 ^{+0,106} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178397997968403840	6, 775 ^{+0,253} _{-0,287}	2, 181 ^{+0,154} _{-0,222}
Gaia EDR3 2178441085076757632	6, 776 ^{+0,525} _{-0,846}	2, 840 ^{+0,200} _{-0,276}
Gaia EDR3 2178366288235672320	6, 778 ^{+0,285} _{-0,394}	1, 282 ^{+0,134} _{-0,209}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178395459654186240	6, 779 ^{+0,253} _{-0,259}	1, 778 ^{+0,126} _{-0,169}
Gaia EDR3 2178400304377844224	6, 787 ^{+0,192} _{-0,222}	2, 137 ^{+0,142} _{-0,209}
Gaia EDR3 2178485580937541248	6, 789 ^{+0,201} _{-0,232}	2, 064 ^{+0,151} _{-0,232}
Gaia EDR3 2178398277156214016	6, 790 ^{+0,312} _{-0,310}	2, 490 ^{+0,164} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178369861648471296	6, 791 ^{+0,258} _{-0,236}	1, 284 ^{+0,165} _{-0,249}
Gaia EDR3 2178441089388915328	6, 799 ^{+0,259} _{-0,327}	2, 452 ^{+0,116} _{-0,161}
Gaia EDR3 2178382987069801472	6, 806 ^{+0,199} _{-0,223}	1, 766 ^{+0,143} _{-0,180}
Gaia EDR3 2178479567983254784	6, 809 ^{+0,280} _{-0,414}	1, 973 ^{+0,195} _{-0,288}
Gaia EDR3 2178396181208675840	6, 813 ^{+0,358} _{-0,398}	1, 453 ^{+0,159} _{-0,248}
Gaia EDR3 2178419477113007616	6, 814 ^{+0,360} _{-0,501}	3, 149 ^{+0,417} _{-0,649}
Gaia EDR3 2178384838188435072	6, 821 ^{+1,068} _{-1,644}	1, 030 ^{+0,385} _{-0,601}
Gaia EDR3 2178501425083655040	6, 824 ^{+0,729} _{-0,939}	2, 869 ^{+0,388} _{-0,541}
Gaia EDR3 2178378687803552128	6, 824 ^{+0,216} _{-0,247}	2, 098 ^{+0,135} _{-0,191}
Gaia EDR3 2178386491763084416	6, 825 ^{+0,228} _{-0,188}	2, 367 ^{+0,122} _{-0,177}
Gaia EDR3 2178440642705389824	6, 828 ^{+0,154} _{-0,258}	2, 407 ^{+0,108} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178397310774950656	6, 830 ^{+0,297} _{-0,387}	2, 218 ^{+0,164} _{-0,209}
Gaia EDR3 2178495171611164672	6, 833 ^{+0,956} _{-1,470}	2, 691 ^{+0,490} _{-0,755}
Gaia EDR3 2178461872719263744	6, 840 ^{+0,376} _{-0,443}	1, 874 ^{+0,261} _{-0,367}
Gaia EDR3 2178192531041136256	6, 841 ^{+0,298} _{-0,242}	2, 407 ^{+0,119} _{-0,167}
Gaia EDR3 2178503417948497024	6, 845 ^{+0,221} _{-0,305}	2, 449 ^{+0,145} _{-0,220}
Gaia EDR3 2178495893165686400	6, 852 ^{+0,218} _{-0,231}	2, 295 ^{+0,129} _{-0,184}
Gaia EDR3 2178386045086500096	6, 858 ^{+0,234} _{-0,342}	2, 152 ^{+0,115} _{-0,165}
Gaia EDR3 2178397796116441728	6, 859 ^{+0,192} _{-0,250}	2, 219 ^{+0,129} _{-0,191}
Gaia EDR3 2178398070994610432	6, 863 ^{+0,258} _{-0,333}	2, 155 ^{+0,175} _{-0,249}
Gaia EDR3 2178289356777875072	6, 863 ^{+0,326} _{-0,390}	1, 453 ^{+0,157} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178295743384177408	6, 873 ^{+0,310} _{-0,431}	1, 563 ^{+0,215} _{-0,335}
Gaia EDR3 2178193836712256512	6, 876 ^{+0,227} _{-0,317}	1, 957 ^{+0,118} _{-0,168}
Gaia EDR3 2178499977671943552	6, 878 ^{+0,785} _{-1,306}	2, 167 ^{+0,385} _{-0,551}
Gaia EDR3 2178398070997784960	6, 879 ^{+0,399} _{-0,384}	1, 795 ^{+0,167} _{-0,228}
Gaia EDR3 2178391370845376896	6, 888 ^{+0,232} _{-0,263}	2, 305 ^{+0,148} _{-0,216}
Gaia EDR3 2178391611363558144	6, 891 ^{+0,222} _{-0,300}	2, 079 ^{+0,137} _{-0,213}
Gaia EDR3 2178501837403955328	6, 892 ^{+1,089} _{-2,109}	2, 549 ^{+0,514} _{-0,775}
Gaia EDR3 2178385117373294720	6, 921 ^{+0,277} _{-0,251}	2, 317 ^{+0,128} _{-0,184}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178287776229552512	6, 926 ^{+0,219} _{-1,391}	2, 448 ^{+0,983} _{-1,646}
Gaia EDR3 2178496679133337856	6, 928 ^{+0,242} _{-0,233}	2, 361 ^{+0,121} _{-0,176}
Gaia EDR3 2178498087882631808	6, 928 ^{+0,254} _{-0,257}	2, 275 ^{+0,155} _{-0,215}
Gaia EDR3 2178400957212605824	6, 928 ^{+0,248} _{-0,244}	1, 327 ^{+0,087} _{-0,124}
Gaia EDR3 2178382471673484672	6, 937 ^{+0,164} _{-0,252}	2, 235 ^{+0,099} _{-0,143}
Gaia EDR3 2178469466225599360	6, 942 ^{+0,353} _{-0,544}	2, 836 ^{+0,254} _{-0,368}
Gaia EDR3 2178497469407833856	6, 942 ^{+0,214} _{-0,254}	2, 225 ^{+0,113} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178433835172083072	6, 945 ^{+0,302} _{-0,710}	2, 587 ^{+0,405} _{-0,647}
Gaia EDR3 2178442047149520512	6, 946 ^{+0,453} _{-0,446}	2, 418 ^{+0,329} _{-0,476}
Gaia EDR3 2178386216885190912	6, 948 ^{+0,242} _{-0,289}	2, 616 ^{+0,120} _{-0,169}
Gaia EDR3 2178451259871885824	6, 949 ^{+0,297} _{-0,215}	2, 014 ^{+0,132} _{-0,185}
Gaia EDR3 2178387419478980480	6, 951 ^{+0,444} _{-0,410}	2, 821 ^{+0,135} _{-0,176}
Gaia EDR3 2178479331771844352	6, 957 ^{+0,248} _{-0,189}	1, 475 ^{+0,173} _{-0,208}
Gaia EDR3 2178397658677754112	6, 958 ^{+0,351} _{-0,467}	2, 445 ^{+0,175} _{-0,221}
Gaia EDR3 2178421534385710208	6, 960 ^{+0,577} _{-1,068}	2, 510 ^{+0,449} _{-0,602}
Gaia EDR3 2178386934134002176	6, 961 ^{+0,391} _{-0,400}	2, 357 ^{+0,156} _{-0,210}
Gaia EDR3 2178384803838607232	6, 962 ^{+0,229} _{-0,331}	1, 867 ^{+0,132} _{-0,202}
Gaia EDR3 2178417449880101248	6, 963 ^{+0,805} _{-1,334}	2, 524 ^{+0,331} _{-0,469}
Gaia EDR3 2178397899195900032	6, 963 ^{+0,241} _{-0,291}	2, 306 ^{+0,093} _{-0,130}
Gaia EDR3 2178433903891654656	6, 967 ^{+0,298} _{-0,484}	2, 735 ^{+0,283} _{-0,439}
Gaia EDR3 2178386697921507712	6, 968 ^{+0,256} _{-0,270}	1, 879 ^{+0,150} _{-0,200}
Gaia EDR3 2178495888859365248	6, 970 ^{+0,242} _{-0,210}	2, 338 ^{+0,116} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178282617962633088	6, 971 ^{+1,249} _{-2,060}	1, 665 ^{+1,005} _{-1,643}
Gaia EDR3 2178383395079274368	6, 975 ^{+0,284} _{-0,344}	2, 445 ^{+0,147} _{-0,210}
Gaia EDR3 2178386899783157120	6, 983 ^{+0,322} _{-0,582}	2, 638 ^{+0,142} _{-0,200}
Gaia EDR3 2178394669380220544	6, 983 ^{+0,223} _{-0,255}	1, 979 ^{+0,117} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178442841729054208	6, 987 ^{+0,271} _{-0,348}	2, 102 ^{+0,120} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178489158657130752	6, 989 ^{+0,216} _{-0,301}	2, 738 ^{+0,131} _{-0,194}
Gaia EDR3 2178391267765907712	6, 990 ^{+0,376} _{-0,397}	2, 414 ^{+0,168} _{-0,236}
Gaia EDR3 2178385632769396608	6, 991 ^{+0,241} _{-0,308}	2, 380 ^{+0,108} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178398517671194752	6, 995 ^{+0,224} _{-0,273}	1, 945 ^{+0,103} _{-0,153}
Gaia EDR3 2178382712191907712	7, 005 ^{+0,320} _{-0,390}	2, 170 ^{+0,163} _{-0,236}
Gaia EDR3 2178395592793858944	7, 014 ^{+0,311} _{-0,297}	2, 387 ^{+0,145} _{-0,205} †

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178386079446236800	7,014 ^{+0,229} _{-0,299}	2,224 ^{+0,111} _{-0,161}
Gaia EDR3 2178394050904650752	7,020 ^{+0,228} _{-0,321}	2,472 ^{+0,120} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178448717251068800	7,029 ^{+0,649} _{-0,671}	1,913 ^{+0,270} _{-0,391}
Gaia EDR3 2178391611363553408	7,031 ^{+0,226} _{-0,346}	2,393 ^{+0,159} _{-0,240}
Gaia EDR3 2178402327296352768	7,034 ^{+0,336} _{-0,347}	3,252 ^{+0,177} _{-0,225}
Gaia EDR3 2178386182514422528	7,042 ^{+0,442} _{-0,570}	2,724 ^{+0,183} _{-0,258}
Gaia EDR3 2178440982007912704	7,042 ^{+0,223} _{-0,279}	2,660 ^{+0,122} _{-0,167}
Gaia EDR3 2178435931123734912	7,043 ^{+0,848} _{-1,387}	1,181 ^{+0,373} _{-0,577}
Gaia EDR3 2178394978617873664	7,047 ^{+0,349} _{-0,317}	2,692 ^{+0,135} _{-0,191}
Gaia EDR3 2178403564246503808	7,053 ^{+0,190} _{-0,308}	2,319 ^{+0,160} _{-0,248}
Gaia EDR3 2178443112301672704	7,054 ^{+0,317} _{-0,324}	2,521 ^{+0,139} _{-0,177}
Gaia EDR3 2178387277731387520	7,057 ^{+1,187} _{-2,197}	2,754 ^{+0,837} _{-1,335}
Gaia EDR3 2178185693452860160	7,063 ^{+0,318} _{-0,430}	1,316 ^{+0,162} _{-0,248}
Gaia EDR3 2178479606649759360	7,067 ^{+0,225} _{-0,343}	2,226 ^{+0,165} _{-0,253}
Gaia EDR3 2178394738099687680	7,068 ^{+0,225} _{-0,202}	3,118 ^{+0,114} _{-0,156}
Gaia EDR3 2178402434681305856	7,070 ^{+0,521} _{-0,672}	2,646 ^{+0,292} _{-0,442}
Gaia EDR3 2178398723829901824	7,073 ^{+0,215} _{-0,279}	2,183 ^{+0,116} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178383846063003520	7,075 ^{+0,230} _{-0,275}	1,868 ^{+0,126} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178484794958206592	7,076 ^{+0,880} _{-3,689}	2,547 ^{+1,298} _{-2,097}
Gaia EDR3 2178391881931330048	7,077 ^{+0,565} _{-1,017}	2,943 ^{+0,235} _{-0,324}
Gaia EDR3 2178391886241444992	7,078 ^{+0,207} _{-0,287}	2,302 ^{+0,112} _{-0,162}
Gaia EDR3 2178380753686334720	7,086 ^{+0,312} _{-0,456}	2,229 ^{+0,145} _{-0,207}
Gaia EDR3 2178388858285165568	7,087 ^{+0,381} _{-0,309}	2,141 ^{+0,237} _{-0,349}
Gaia EDR3 2178484447066073856	7,092 ^{+0,227} _{-0,227}	3,307 ^{+0,159} _{-0,227}
Gaia EDR3 2178418167132388736	7,094 ^{+0,233} _{-0,288}	2,498 ^{+0,153} _{-0,216}
Gaia EDR3 2178443254045917568	7,096 ^{+0,368} _{-0,428}	2,796 ^{+0,177} _{-0,234}
Gaia EDR3 2178384185353357696	7,102 ^{+1,252} _{-1,225}	2,741 ^{+0,529} _{-0,809}
Gaia EDR3 2178380577591419264	7,106 ^{+0,226} _{-0,272}	2,052 ^{+0,133} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178383639892535808	7,113 ^{+0,376} _{-0,443}	2,510 ^{+0,179} _{-0,237} †
Gaia EDR3 2178385323531719296	7,113 ^{+0,256} _{-0,466}	2,454 ^{+0,182} _{-0,239}
Gaia EDR3 2178383738677531008	7,113 ^{+0,264} _{-0,346}	2,539 ^{+0,164} _{-0,234}
Gaia EDR3 2178464758937300224	7,117 ^{+0,377} _{-0,684}	2,439 ^{+0,279} _{-0,399}
Gaia EDR3 2178384258379850240	7,127 ^{+0,291} _{-0,291}	2,522 ^{+0,156} _{-0,211}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178383532519095936	7, 128 ^{+0,592} _{-0,918}	3, 092 ^{+0,272} _{-0,385}
Gaia EDR3 2178433942562827136	7, 140 ^{+0,303} _{-0,405}	2, 547 ^{+0,293} _{-0,456}
Gaia EDR3 2178385770208339840	7, 147 ^{+0,207} _{-0,256}	2, 179 ^{+0,127} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178385735848603776	7, 147 ^{+0,394} _{-0,397}	2, 660 ^{+0,190} _{-0,253}
Gaia EDR3 2178368865216075136	7, 151 ^{+0,241} _{-0,204}	2, 314 ^{+0,110} _{-0,158}
Gaia EDR3 2178384395806745088	7, 153 ^{+0,322} _{-0,421}	2, 442 ^{+0,225} _{-0,280}
Gaia EDR3 2178500974104359680	7, 156 ^{+0,709} _{-1,927}	2, 196 ^{+0,687} _{-1,081}
Gaia EDR3 2178449232647211136	7, 157 ^{+0,222} _{-0,343}	2, 568 ^{+0,159} _{-0,229}
Gaia EDR3 2178289734736319488	7, 158 ^{+0,397} _{-0,784}	2, 603 ^{+0,352} _{-0,530}
Gaia EDR3 2178449988555572992	7, 167 ^{+0,491} _{-0,742}	2, 461 ^{+0,173} _{-0,243} †
Gaia EDR3 2178476136316068992	7, 168 ^{+0,198} _{-0,237}	2, 228 ^{+0,102} _{-0,152}
Gaia EDR3 2178377386431959552	7, 171 ^{+0,350} _{-0,534}	2, 404 ^{+0,187} _{-0,275}
Gaia EDR3 2178477064028837760	7, 171 ^{+0,389} _{-0,390}	2, 659 ^{+0,157} _{-0,213}
Gaia EDR3 2178548429199831552	7, 172 ^{+0,868} _{-1,800}	2, 428 ^{+0,159} _{-0,237} †
Gaia EDR3 2178350963778201344	7, 173 ^{+0,543} _{-0,726}	1, 226 ^{+0,225} _{-0,349}
Gaia EDR3 2178183249600369536	7, 173 ^{+0,288} _{-0,382}	2, 293 ^{+0,153} _{-0,229}
Gaia EDR3 2178391126028448000	7, 177 ^{+0,264} _{-0,306}	2, 407 ^{+0,145} _{-0,220}
Gaia EDR3 2178369616820286720	7, 177 ^{+0,332} _{-0,435}	2, 480 ^{+0,159} _{-0,234}
Gaia EDR3 2178404839863463936	7, 183 ^{+0,238} _{-0,191}	2, 577 ^{+0,119} _{-0,166}
Gaia EDR3 2178397658677751168	7, 183 ^{+0,947} _{-1,324}	2, 006 ^{+0,222} _{-0,280}
Gaia EDR3 2178444250484986752	7, 185 ^{+0,438} _{-0,767}	2, 483 ^{+0,194} _{-0,264}
Gaia EDR3 2178381406521632000	7, 191 ^{+0,322} _{-0,371}	2, 463 ^{+0,159} _{-0,239}
Gaia EDR3 2178490017650586880	7, 194 ^{+0,229} _{-0,280}	2, 414 ^{+0,120} _{-0,170}
Gaia EDR3 2178404629398827392	7, 199 ^{+0,590} _{-0,803}	3, 036 ^{+0,368} _{-0,533}
Gaia EDR3 2178481840032552960	7, 206 ^{+0,318} _{-0,346}	2, 408 ^{+0,159} _{-0,214}
Gaia EDR3 2178414937315118848	7, 207 ^{+0,370} _{-0,505}	1, 407 ^{+0,308} _{-0,489}
Gaia EDR3 2178502421516251776	7, 207 ^{+0,295} _{-0,621}	2, 914 ^{+0,286} _{-0,451}
Gaia EDR3 2178503448005525376	7, 214 ^{+1,402} _{-2,602}	1, 671 ^{+0,844} _{-1,367}
Gaia EDR3 2178387002852102400	7, 215 ^{+0,641} _{-0,563}	2, 886 ^{+0,229} _{-0,307}
Gaia EDR3 2178434281856155136	7, 220 ^{+0,795} _{-0,949}	1, 161 ^{+0,257} _{-0,389}
Gaia EDR3 2178394768154306432	7, 237 ^{+0,401} _{-0,486}	2, 646 ^{+0,196} _{-0,251}
Gaia EDR3 2178551315417778560	7, 238 ^{+0,378} _{-0,402}	2, 777 ^{+0,181} _{-0,248}
Gaia EDR3 2178435072122881664	7, 244 ^{+0,375} _{-0,603}	2, 701 ^{+0,220} _{-0,316}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung		
Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178442876095464192	7,244 ^{+0,367} _{-0,673}	2,699 ^{+0,300} _{-0,439}
Gaia EDR3 2178477064028836864	7,249 ^{+0,260} _{-0,237}	2,348 ^{+0,149} _{-0,219}
Gaia EDR3 2178389304955878912	7,249 ^{+0,241} _{-0,296}	3,074 ^{+0,167} _{-0,242}
Gaia EDR3 2178483832897548672	7,259 ^{+0,316} _{-0,368}	2,391 ^{+0,212} _{-0,321}
Gaia EDR3 2178481118478053248	7,262 ^{+0,412} _{-0,244}	2,237 ^{+0,185} _{-0,255}
Gaia EDR3 2178378932620239744	7,262 ^{+0,803} _{-1,861}	2,584 ^{+0,196} _{-0,251} †
Gaia EDR3 2178497782954762112	7,267 ^{+0,838} _{-1,680}	2,735 ^{+0,604} _{-0,922}
Gaia EDR3 2178418304571527680	7,277 ^{+0,426} _{-0,498}	2,603 ^{+0,242} _{-0,356}
Gaia EDR3 2178443425844596224	7,277 ^{+0,400} _{-0,460}	2,517 ^{+0,201} _{-0,251}
Gaia EDR3 2178442635577306624	7,282 ^{+0,304} _{-0,468}	2,394 ^{+0,210} _{-0,299}
Gaia EDR3 2178499019901675904	7,283 ^{+0,201} _{-0,257}	2,886 ^{+0,164} _{-0,245}
Gaia EDR3 2178493689835833216	7,283 ^{+0,287} _{-0,344}	2,565 ^{+0,131} _{-0,180}
Gaia EDR3 2178399166200861440	7,294 ^{+0,453} _{-0,384}	1,915 ^{+0,182} _{-0,248}
Gaia EDR3 2178485718376558976	7,297 ^{+0,277} _{-0,340}	2,349 ^{+0,154} _{-0,222}
Gaia EDR3 2178396353007615360	7,304 ^{+0,504} _{-0,510}	2,649 ^{+0,196} _{-0,244}
Gaia EDR3 2178444452331633792	7,305 ^{+0,269} _{-0,273}	2,524 ^{+0,122} _{-0,164}
Gaia EDR3 2178284477688093184	7,307 ^{+0,736} _{-1,741}	1,511 ^{+0,782} _{-1,275}
Gaia EDR3 2178398066689194240	7,312 ^{+0,546} _{-1,124}	2,443 ^{+0,237} _{-0,282}
Gaia EDR3 2178391881932722560	7,314 ^{+0,290} _{-0,348}	2,477 ^{+0,140} _{-0,202}
Gaia EDR3 2178191667739681024	7,315 ^{+0,377} _{-0,592}	2,346 ^{+0,199} _{-0,294}
Gaia EDR3 2178384425871508480	7,315 ^{+0,567} _{-0,704}	2,599 ^{+0,261} _{-0,357}
Gaia EDR3 2178391954960916096	7,318 ^{+0,271} _{-0,404}	2,306 ^{+0,146} _{-0,209}
Gaia EDR3 2178399548463607296	7,318 ^{+0,251} _{-0,275}	2,937 ^{+0,116} _{-0,159}
Gaia EDR3 2178396520500211840	7,333 ^{+0,414} _{-0,786}	3,072 ^{+0,365} _{-0,512}
Gaia EDR3 2178453695105674112	7,333 ^{+0,654} _{-0,699}	1,418 ^{+0,140} _{-0,182}
Gaia EDR3 2178498706357907072	7,335 ^{+0,312} _{-0,347}	1,531 ^{+0,127} _{-0,189}
Gaia EDR3 2178397035896588032	7,345 ^{+0,486} _{-0,682}	1,813 ^{+0,320} _{-0,419}
Gaia EDR3 2178441707864184704	7,346 ^{+0,224} _{-0,462}	2,618 ^{+0,281} _{-0,428}
Gaia EDR3 2178479774141710592	7,346 ^{+0,348} _{-0,458}	2,516 ^{+0,237} _{-0,349}
Gaia EDR3 2178384528960821888	7,347 ^{+0,341} _{-0,428}	2,318 ^{+0,209} _{-0,285}
Gaia EDR3 2178397796104557952	7,349 ^{+0,322} _{-0,461}	2,858 ^{+0,165} _{-0,228}
Gaia EDR3 2178493728502013312	7,349 ^{+0,247} _{-0,235}	2,508 ^{+0,113} _{-0,163}
Gaia EDR3 2178484069109268352	7,357 ^{+0,295} _{-0,480}	2,578 ^{+0,173} _{-0,261}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178503349216663168	7, 361 ^{+0,807} _{-1,765}	1, 393 ^{+0,732} _{-1,114}
Gaia EDR3 2178387385105184000	7, 361 ^{+0,654} _{-0,776}	2, 690 ^{+0,302} _{-0,419}
Gaia EDR3 2178385319226264448	7, 362 ^{+0,462} _{-0,710}	1, 583 ^{+0,251} _{-0,358}
Gaia EDR3 2178270424561755520	7, 363 ^{+0,552} _{-0,565}	1, 701 ^{+0,251} _{-0,367}
Gaia EDR3 2178456207668556032	7, 364 ^{+0,320} _{-0,584}	2, 516 ^{+0,536} _{-0,662}
Gaia EDR3 2178396799672179584	7, 364 ^{+0,371} _{-0,515}	2, 702 ^{+0,174} _{-0,219}
Gaia EDR3 2178446582635352576	7, 370 ^{+0,385} _{-0,471}	2, 446 ^{+0,202} _{-0,301}
Gaia EDR3 2178395627142933504	7, 373 ^{+0,307} _{-0,365}	2, 746 ^{+0,135} _{-0,172}
Gaia EDR3 2178388136719024768	7, 373 ^{+0,208} _{-0,283}	2, 380 ^{+0,139} _{-0,215}
Gaia EDR3 2178391439552934912	7, 377 ^{+0,299} _{-0,402}	2, 650 ^{+0,187} _{-0,256}
Gaia EDR3 2178396589220446848	7, 382 ^{+0,452} _{-0,471}	2, 555 ^{+0,213} _{-0,294}
Gaia EDR3 2178417278089773952	7, 403 ^{+0,311} _{-0,437}	2, 597 ^{+0,229} _{-0,348}
Gaia EDR3 2178388549038058624	7, 413 ^{+1,289} _{-2,453}	2, 374 ^{+0,716} _{-1,117}
Gaia EDR3 2178479056893944064	7, 417 ^{+0,465} _{-0,986}	1, 282 ^{+0,398} _{-0,640}
Gaia EDR3 2178443902576645760	7, 418 ^{+0,590} _{-0,540}	2, 881 ^{+0,258} _{-0,326}
Gaia EDR3 2178401743180015872	7, 426 ^{+0,413} _{-0,443}	2, 662 ^{+0,164} _{-0,219}
Gaia EDR3 2178496919651892224	7, 428 ^{+0,285} _{-0,549}	2, 246 ^{+0,295} _{-0,453}
Gaia EDR3 2178402159791804160	7, 429 ^{+0,377} _{-0,423}	2, 626 ^{+0,150} _{-0,206}
Gaia EDR3 2178441089382004352	7, 429 ^{+0,829} _{-1,475}	2, 638 ^{+0,377} _{-0,542}
Gaia EDR3 2178400987265698176	7, 430 ^{+0,568} _{-0,827}	2, 991 ^{+0,179} _{-0,247}
Gaia EDR3 2178433938251317632	7, 432 ^{+0,381} _{-0,546}	2, 623 ^{+0,346} _{-0,527}
Gaia EDR3 2178285164882844928	7, 437 ^{+0,696} _{-1,752}	1, 351 ^{+0,830} _{-1,323}
Gaia EDR3 2178488952498713984	7, 438 ^{+0,428} _{-0,638}	2, 325 ^{+0,325} _{-0,470}
Gaia EDR3 2178441604784967168	7, 440 ^{+0,205} _{-0,441}	2, 704 ^{+0,284} _{-0,430}
Gaia EDR3 2178481079811633536	7, 444 ^{+0,313} _{-0,314}	2, 951 ^{+0,170} _{-0,237}
Gaia EDR3 2178393054472272000	7, 451 ^{+0,476} _{-0,497}	1, 973 ^{+0,201} _{-0,275}
Gaia EDR3 2178440470906711680	7, 454 ^{+0,426} _{-0,643}	0, 931 ^{+0,403} _{-0,568}
Gaia EDR3 2178396142543875840	7, 459 ^{+0,449} _{-0,530}	2, 411 ^{+0,195} _{-0,283}
Gaia EDR3 2178503349229025408	7, 464 ^{+0,307} _{-0,357}	2, 458 ^{+0,150} _{-0,212}
Gaia EDR3 2178193699267347840	7, 468 ^{+0,893} _{-1,806}	1, 402 ^{+0,549} _{-0,894}
Gaia EDR3 2178379890385916928	7, 475 ^{+0,579} _{-0,915}	3, 052 ^{+0,354} _{-0,519}
Gaia EDR3 2178399754622027904	7, 476 ^{+0,269} _{-0,339}	2, 544 ^{+0,129} _{-0,179}
Gaia EDR3 2178398719524261120	7, 483 ^{+1,126} _{-1,054}	2, 565 ^{+0,352} _{-0,517}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178397207695003520	7,488 ^{+0,588} _{-0,656}	3,084 ^{+0,284} _{-0,347}
Gaia EDR3 2178506471659488128	7,489 ^{+0,276} _{-0,344}	2,575 ^{+0,149} _{-0,212}
Gaia EDR3 2178192427961912320	7,491 ^{+0,693} _{-1,081}	1,269 ^{+0,376} _{-0,597}
Gaia EDR3 2178503349232448896	7,499 ^{+0,571} _{-0,787}	3,015 ^{+0,434} _{-0,650}
Gaia EDR3 2178283854915526016	7,502 ^{+0,563} _{-1,164}	2,649 ^{+0,419} _{-0,639}
Gaia EDR3 2178433903891607552	7,504 ^{+0,653} _{-0,773}	2,662 ^{+0,409} _{-0,554}
Gaia EDR3 2178441119446970752	7,506 ^{+0,297} _{-0,481}	3,086 ^{+0,158} _{-0,190}
Gaia EDR3 2178391229096069376	7,513 ^{+0,368} _{-0,500}	2,914 ^{+0,195} _{-0,263}
Gaia EDR3 2178374294058800640	7,519 ^{+1,137} _{-1,855}	2,196 ^{+0,511} _{-0,804}
Gaia EDR3 2178401884925765376	7,519 ^{+0,290} _{-0,320}	2,600 ^{+0,172} _{-0,245}
Gaia EDR3 2178481320330360576	7,526 ^{+0,335} _{-0,510}	2,775 ^{+0,209} _{-0,302}
Gaia EDR3 2178373602548782848	7,528 ^{+0,438} _{-0,646}	1,443 ^{+0,206} _{-0,315}
Gaia EDR3 2178493208799377664	7,530 ^{+0,313} _{-0,375}	2,687 ^{+0,214} _{-0,320}
Gaia EDR3 2178389687217950336	7,531 ^{+0,313} _{-0,452}	3,003 ^{+0,213} _{-0,314}
Gaia EDR3 2178433903891655424	7,534 ^{+0,588} _{-0,818}	2,520 ^{+0,398} _{-0,600}
Gaia EDR3 2178189881033110272	7,539 ^{+0,223} _{-0,460}	2,641 ^{+0,180} _{-0,275}
Gaia EDR3 2178499260407325696	7,546 ^{+0,384} _{-0,704}	2,620 ^{+0,214} _{-0,318} †
Gaia EDR3 2178498882466386688	7,548 ^{+0,333} _{-0,355}	2,687 ^{+0,182} _{-0,268}
Gaia EDR3 2178496301176239616	7,559 ^{+0,338} _{-0,439}	2,576 ^{+0,233} _{-0,339}
Gaia EDR3 2178461086750311040	7,566 ^{+0,996} _{-1,276}	1,542 ^{+0,477} _{-0,723}
Gaia EDR3 2178369380598172032	7,568 ^{+0,977} _{-0,965}	2,093 ^{+0,432} _{-0,657}
Gaia EDR3 2178421981062225408	7,575 ^{+0,804} _{-1,001}	2,828 ^{+0,399} _{-0,551}
Gaia EDR3 2178469539246980352	7,580 ^{+0,397} _{-0,679}	2,106 ^{+0,301} _{-0,453}
Gaia EDR3 2178282862787027840	7,590 ^{+0,258} _{-0,380}	2,699 ^{+0,220} _{-0,321}
Gaia EDR3 2178379993465091072	7,591 ^{+0,328} _{-0,492}	2,357 ^{+0,167} _{-0,229}
Gaia EDR3 2178434384935946240	7,593 ^{+0,501} _{-1,230}	2,660 ^{+0,288} _{-0,427}
Gaia EDR3 2178496129377531520	7,593 ^{+0,251} _{-0,335}	2,457 ^{+0,192} _{-0,280}
Gaia EDR3 2178369655490052736	7,600 ^{+0,351} _{-0,549}	1,547 ^{+0,173} _{-0,261}
Gaia EDR3 2178393707294881920	7,612 ^{+0,756} _{-0,990}	2,922 ^{+0,269} _{-0,368}
Gaia EDR3 2178287123394701184	7,616 ^{+0,318} _{-0,320}	3,008 ^{+0,203} _{-0,281}
Gaia EDR3 2178393943520580992	7,620 ^{+0,314} _{-0,466}	2,276 ^{+0,166} _{-0,241}
Gaia EDR3 2178400025193080064	7,621 ^{+0,387} _{-0,384}	3,134 ^{+0,170} _{-0,220}
Gaia EDR3 2178288875734528256	7,621 ^{+0,958} _{-2,106}	1,442 ^{+0,953} _{-1,559}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178186204541008128	7, 625 ^{+0,796} _{-1,245}	1, 454 ^{+0,424} _{-0,649}
Gaia EDR3 2178369101424051328	7, 630 ^{+0,612} _{-0,930}	2, 756 ^{+0,351} _{-0,534}
Gaia EDR3 2178481114171398272	7, 640 ^{+0,338} _{-0,368}	2, 999 ^{+0,246} _{-0,339}
Gaia EDR3 2178499496635820800	7, 641 ^{+0,695} _{-1,204}	2, 836 ^{+0,452} _{-0,674}
Gaia EDR3 2178382707884610688	7, 641 ^{+0,535} _{-0,684}	2, 834 ^{+0,244} _{-0,330}
Gaia EDR3 2178399372358042496	7, 645 ^{+0,340} _{-0,503}	2, 779 ^{+0,199} _{-0,287}
Gaia EDR3 2178442257613054080	7, 648 ^{+0,590} _{-0,963}	2, 676 ^{+0,515} _{-0,738}
Gaia EDR3 2178395975038306048	7, 652 ^{+0,719} _{-1,015}	1, 533 ^{+0,299} _{-0,420}
Gaia EDR3 2178395592783171712	7, 658 ^{+0,549} _{-0,530}	2, 741 ^{+0,223} _{-0,298}
Gaia EDR3 2178441432979346176	7, 658 ^{+0,869} _{-1,570}	2, 279 ^{+0,436} _{-0,665}
Gaia EDR3 2178395837599325696	7, 658 ^{+0,400} _{-0,585}	2, 738 ^{+0,263} _{-0,351}
Gaia EDR3 2178493518037082880	7, 671 ^{+0,465} _{-0,535}	1, 569 ^{+0,274} _{-0,420}
Gaia EDR3 2178386491766048256	7, 685 ^{+0,957} _{-1,760}	2, 739 ^{+0,286} _{-0,405} †
Gaia EDR3 2178188815881309824	7, 688 ^{+0,634} _{-1,111}	1, 630 ^{+0,436} _{-0,682}
Gaia EDR3 2178495373463094272	7, 693 ^{+0,281} _{-0,336}	2, 607 ^{+0,158} _{-0,226}
Gaia EDR3 2178384395818553344	7, 693 ^{+0,810} _{-1,526}	3, 162 ^{+0,453} _{-0,669}
Gaia EDR3 2178397757451142784	7, 702 ^{+0,635} _{-0,905}	2, 505 ^{+0,288} _{-0,389}
Gaia EDR3 2178398139702547584	7, 707 ^{+0,642} _{-0,668}	2, 452 ^{+0,284} _{-0,357}
Gaia EDR3 2178383017123373312	7, 716 ^{+0,845} _{-1,696}	2, 755 ^{+0,419} _{-0,617}
Gaia EDR3 2178270424561754752	7, 723 ^{+0,683} _{-0,944}	1, 899 ^{+0,309} _{-0,462}
Gaia EDR3 2178398410286174848	7, 724 ^{+0,443} _{-0,599}	2, 891 ^{+0,226} _{-0,294}
Gaia EDR3 2178380130904056192	7, 726 ^{+0,273} _{-0,352}	2, 745 ^{+0,154} _{-0,217}
Gaia EDR3 2178399441078328064	7, 728 ^{+0,877} _{-1,857}	3, 021 ^{+0,620} _{-0,969}
Gaia EDR3 2178452531183726336	7, 729 ^{+0,297} _{-0,485}	2, 310 ^{+0,170} _{-0,253}
Gaia EDR3 2178400300071029504	7, 739 ^{+0,549} _{-1,099}	2, 950 ^{+0,460} _{-0,715}
Gaia EDR3 2178386040790094976	7, 752 ^{+0,271} _{-0,382}	2, 471 ^{+0,155} _{-0,205}
Gaia EDR3 2178401232090492032	7, 759 ^{+0,268} _{-0,425}	2, 488 ^{+0,161} _{-0,211}
Gaia EDR3 2178382467366433280	7, 759 ^{+0,504} _{-0,585}	2, 986 ^{+0,207} _{-0,290}
Gaia EDR3 2178396967177151872	7, 774 ^{+0,755} _{-0,972}	2, 721 ^{+0,413} _{-0,576}
Gaia EDR3 2178442807375996160	7, 779 ^{+0,427} _{-0,582}	2, 636 ^{+0,237} _{-0,325}
Gaia EDR3 2178383876116827648	7, 799 ^{+0,367} _{-0,468}	3, 237 ^{+0,212} _{-0,274}
Gaia EDR3 2178287123396178176	7, 804 ^{+0,632} _{-1,025}	2, 600 ^{+0,400} _{-0,578}
Gaia EDR3 2178182360551144832	7, 806 ^{+0,401} _{-0,492}	1, 562 ^{+0,206} _{-0,307}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178467477662176512	7,814 ^{+0,568} _{-0,961}	2,776 ^{+0,297} _{-0,424}
Gaia EDR3 2178401914979488896	7,830 ^{+0,967} _{-1,590}	2,790 ^{+0,477} _{-0,678}
Gaia EDR3 2178440913279379584	7,852 ^{+0,539} _{-0,793}	2,610 ^{+0,412} _{-0,627}
Gaia EDR3 2178495167304765568	7,855 ^{+0,374} _{-0,479}	2,759 ^{+0,232} _{-0,306}
Gaia EDR3 2178403877779942400	7,861 ^{+0,724} _{-0,894}	2,676 ^{+0,259} _{-0,372} †
Gaia EDR3 2178183730636750208	7,890 ^{+0,266} _{-0,399}	2,484 ^{+0,180} _{-0,242}
Gaia EDR3 2178381647028466048	7,891 ^{+0,297} _{-0,352}	2,783 ^{+0,154} _{-0,204}
Gaia EDR3 2178381647028459392	7,894 ^{+0,771} _{-1,879}	1,056 ^{+0,500} _{-0,786}
Gaia EDR3 2178483931684144384	7,898 ^{+0,521} _{-1,238}	1,582 ^{+0,548} _{-0,898}
Gaia EDR3 2178392534767728768	7,900 ^{+0,793} _{-1,265}	1,404 ^{+0,280} _{-0,419}
Gaia EDR3 2178384872548157952	7,911 ^{+0,475} _{-0,744}	2,587 ^{+0,231} _{-0,319}
Gaia EDR3 2178383051483536768	7,915 ^{+0,859} _{-1,357}	2,923 ^{+0,471} _{-0,687}
Gaia EDR3 2178476479900680576	7,918 ^{+0,376} _{-0,577}	2,715 ^{+0,203} _{-0,278}
Gaia EDR3 2178388033639701248	7,926 ^{+0,325} _{-0,587}	2,960 ^{+0,221} _{-0,317}
Gaia EDR3 2178385632758614912	7,940 ^{+0,711} _{-1,848}	1,739 ^{+0,443} _{-0,628}
Gaia EDR3 2178391199046434816	7,942 ^{+0,560} _{-0,792}	2,068 ^{+0,233} _{-0,327}
Gaia EDR3 2178434423591196672	7,946 ^{+0,590} _{-1,393}	2,694 ^{+0,347} _{-0,499}
Gaia EDR3 2178479980300614528	7,948 ^{+1,111} _{-2,124}	1,316 ^{+0,572} _{-0,909}
Gaia EDR3 2178385838927821440	7,950 ^{+0,489} _{-0,722}	2,324 ^{+0,175} _{-0,238}
Gaia EDR3 2178381131646820992	7,981 ^{+0,600} _{-0,965}	2,564 ^{+0,313} _{-0,452}
Gaia EDR3 2178391336485635200	7,996 ^{+0,739} _{-1,070}	2,774 ^{+0,323} _{-0,443}
Gaia EDR3 2178403877779939968	8,020 ^{+0,425} _{-0,574}	2,501 ^{+0,228} _{-0,327}
Gaia EDR3 2178484657534766848	8,029 ^{+0,958} _{-1,923}	1,768 ^{+0,883} _{-1,432}
Gaia EDR3 2178417759117725184	8,042 ^{+0,719} _{-0,925}	1,425 ^{+0,320} _{-0,452}
Gaia EDR3 2178479263039860480	8,050 ^{+0,414} _{-0,531}	2,651 ^{+0,249} _{-0,353}
Gaia EDR3 2178384563311596800	8,053 ^{+0,623} _{-0,629}	2,719 ^{+0,261} _{-0,332}
Gaia EDR3 2178192080057383168	8,066 ^{+0,552} _{-0,737}	2,987 ^{+0,379} _{-0,486}
Gaia EDR3 2178448648525110400	8,072 ^{+1,169} _{-1,671}	1,113 ^{+0,431} _{-0,637}
Gaia EDR3 2178493895994267776	8,073 ^{+0,538} _{-0,794}	2,866 ^{+0,294} _{-0,421}
Gaia EDR3 2178490155077249920	8,080 ^{+0,494} _{-1,175}	2,158 ^{+0,572} _{-0,924}
Gaia EDR3 2178369994777650816	8,094 ^{+0,458} _{-0,684}	2,544 ^{+0,332} _{-0,482}
Gaia EDR3 2178187063534548096	8,099 ^{+0,628} _{-1,131}	1,984 ^{+0,343} _{-0,534}
Gaia EDR3 2178182906003701888	8,114 ^{+0,518} _{-1,109}	2,813 ^{+0,569} _{-0,888}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2178391989308753920	8, 116 ^{+0,410} _{-0,640}	1, 544 ^{+0,163} _{-0,226}
Gaia EDR3 2178496133683990656	8, 120 ^{+0,355} _{-0,469}	2, 596 ^{+0,217} _{-0,310}
Gaia EDR3 2178441570418284160	8, 127 ^{+0,668} _{-1,055}	2, 758 ^{+0,478} _{-0,713}
Gaia EDR3 2178394974312773248	8, 140 ^{+0,829} _{-1,213}	2, 590 ^{+0,313} _{-0,452}
Gaia EDR3 2178270351535754240	8, 161 ^{+0,665} _{-1,886}	1, 781 ^{+0,836} _{-1,347}
Gaia EDR3 2178421916646002304	8, 161 ^{+0,690} _{-0,810}	3, 523 ^{+0,894} _{-1,112}
Gaia EDR3 2178475582257881472	8, 220 ^{+0,768} _{-1,190}	2, 693 ^{+0,476} _{-0,710}
Gaia EDR3 2178397830476432896	8, 222 ^{+0,393} _{-0,498}	2, 965 ^{+0,221} _{-0,284}
Gaia EDR3 2178399372359292544	8, 229 ^{+0,744} _{-1,162}	3, 091 ^{+0,562} _{-0,855}
Gaia EDR3 2178393844746247936	8, 241 ^{+0,559} _{-0,661}	2, 537 ^{+0,218} _{-0,292}
Gaia EDR3 2178382742245463936	8, 244 ^{+0,553} _{-0,627}	2, 896 ^{+0,202} _{-0,272}
Gaia EDR3 2178296808538739200	8, 245 ^{+0,582} _{-1,733}	2, 431 ^{+0,829} _{-1,309}
Gaia EDR3 2178388411597036544	8, 246 ^{+0,363} _{-0,641}	2, 632 ^{+0,200} _{-0,282}
Gaia EDR3 2178475788416312192	8, 248 ^{+0,426} _{-0,773}	2, 435 ^{+0,213} _{-0,296}
Gaia EDR3 2178193694970501632	8, 257 ^{+0,340} _{-0,431}	2, 721 ^{+0,203} _{-0,271}
Gaia EDR3 2178390095227642240	8, 275 ^{+0,684} _{-1,009}	3, 008 ^{+0,367} _{-0,506}
Gaia EDR3 2178503207484184448	8, 286 ^{+0,317} _{-0,661}	2, 732 ^{+0,319} _{-0,471}
Gaia EDR3 2178399750326614784	8, 289 ^{+0,418} _{-0,486}	2, 393 ^{+0,165} _{-0,215}
Gaia EDR3 2178496408549555840	8, 310 ^{+0,576} _{-1,336}	2, 817 ^{+0,577} _{-0,894}
Gaia EDR3 2178399887754624768	8, 339 ^{+0,629} _{-0,939}	2, 994 ^{+0,234} _{-0,309}
Gaia EDR3 2178364119261453696	8, 366 ^{+0,549} _{-0,986}	2, 350 ^{+0,330} _{-0,495}
Gaia EDR3 2178377008462343296	8, 378 ^{+0,723} _{-1,196}	1, 449 ^{+0,324} _{-0,495}
Gaia EDR3 2178282794067722880	8, 410 ^{+0,512} _{-0,767}	2, 016 ^{+0,256} _{-0,382}
Gaia EDR3 2178369067066400384	8, 414 ^{+0,340} _{-0,585}	3, 279 ^{+0,322} _{-0,443}
Gaia EDR3 2178403602901511040	8, 425 ^{+0,727} _{-1,321}	2, 960 ^{+0,458} _{-0,687}
Gaia EDR3 2178392637850499200	8, 585 ^{+0,633} _{-0,667}	2, 966 ^{+0,264} _{-0,340}
Gaia EDR3 2178493556690430976	8, 643 ^{+1,210} _{-2,695}	2, 671 ^{+1,335} _{-1,967}
Gaia EDR3 2178479537917785856	8, 729 ^{+0,610} _{-1,356}	3, 489 ^{+1,036} _{-1,388}

† Median aus den zehn darüber sowie darunterliegenden Einträgen für $(BP - RP)_0$ in dieser Tabelle, da keine Farbinformation in Gaia EDR3 vorhanden war.

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

TABELLE B.9: Wahrscheinlichste Mitglieder des Sternhaufens NGC 7243 basierend auf den Gaia EDR3-Daten. Für jeden der 250 Sterne ist deren absolute Helligkeit im G -Band und die intrinsische Farbe angegeben.

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1999976402146936064	$-1,794^{+0,153}_{-0,118}$	$-0,064^{+0,080}_{-0,122}$
Gaia EDR3 1999981246867574912	$-1,529^{+0,086}_{-0,089}$	$-0,085^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999962383363394944	$-1,345^{+0,079}_{-0,078}$	$-0,015^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999977879613000832	$-1,109^{+0,114}_{-0,085}$	$-0,053^{+0,080}_{-0,122}$
Gaia EDR3 1999981453026029312	$-0,931^{+0,085}_{-0,081}$	$-0,033^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999979597600471680	$-0,809^{+0,050}_{-0,103}$	$-0,070^{+0,073}_{-0,117}$
Gaia EDR3 1999981453026026880	$-0,561^{+0,090}_{-0,088}$	$-0,074^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999941114691824512	$-0,327^{+0,095}_{-0,096}$	$-0,100^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999983617692166656	$-0,156^{+0,092}_{-0,099}$	$-0,123^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999976707072522368	$-0,045^{+0,081}_{-0,060}$	$-0,062^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 1999977432939211392	$0,300^{+0,106}_{-0,088}$	$-0,028^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 1999979116566388480	$0,432^{+0,094}_{-0,121}$	$0,015^{+0,085}_{-0,135}$
Gaia EDR3 1999977295500259200	$0,558^{+0,121}_{-0,098}$	$0,069^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 2000726509595422592	$0,613^{+0,092}_{-0,094}$	$0,040^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999970560988770816	$0,674^{+0,086}_{-0,083}$	$0,010^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999980250435477760	$0,745^{+0,080}_{-0,086}$	$0,020^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999991657862733056	$0,790^{+0,081}_{-0,081}$	$-0,018^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999973550288604288	$0,873^{+0,075}_{-0,131}$	$0,001^{+0,073}_{-0,117}$
Gaia EDR3 2000735683645669120	$0,881^{+0,101}_{-0,127}$	$-0,013^{+0,085}_{-0,135}$
Gaia EDR3 2000725478798116864	$0,931^{+0,127}_{-0,077}$	$0,032^{+0,093}_{-0,140}$
Gaia EDR3 1999977982692474880	$1,009^{+0,064}_{-0,100}$	$0,083^{+0,054}_{-0,086}$
Gaia EDR3 1999979975557290112	$1,226^{+0,102}_{-0,101}$	$0,103^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 2000738329340760576	$1,440^{+0,054}_{-0,113}$	$0,039^{+0,073}_{-0,117}$
Gaia EDR3 2000733828214889856	$1,447^{+0,084}_{-0,080}$	$0,126^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999978017052205952	$1,524^{+0,060}_{-0,076}$	$0,115^{+0,054}_{-0,086}$
Gaia EDR3 1999977467296427776	$1,568^{+0,075}_{-0,052}$	$0,094^{+0,049}_{-0,073}$
Gaia EDR3 1976704998023962624	$1,589^{+0,074}_{-0,085}$	$0,100^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999985301310885632	$1,596^{+0,074}_{-0,074}$	$0,130^{+0,067}_{-0,104}$
Gaia EDR3 1999981556105238016	$1,622^{+0,070}_{-0,073}$	$0,096^{+0,067}_{-0,104}$

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1999963581652475136	1, 631 ^{+0,101} _{-0,079}	0, 103 ^{+0,080} _{-0,122}
Gaia EDR3 1999958569440105088	1, 693 ^{+0,079} _{-0,081}	0, 148 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999967502972587008	1, 705 ^{+0,076} _{-0,085}	0, 127 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999965029071198080	1, 706 ^{+0,061} _{-0,109}	0, 093 ^{+0,073} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999979563240731776	1, 716 ^{+0,085} _{-0,089}	0, 107 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999966158632840064	1, 729 ^{+0,112} _{-0,147}	0, 142 ^{+0,086} _{-0,135}
Gaia EDR3 2000737710865282944	1, 773 ^{+0,079} _{-0,105}	0, 113 ^{+0,085} _{-0,135}
Gaia EDR3 2000003988704767232	1, 798 ^{+0,075} _{-0,076}	0, 142 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000728227577525888	1, 861 ^{+0,071} _{-0,072}	0, 308 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999970526629027712	1, 861 ^{+0,081} _{-0,078}	0, 218 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999977192418540160	2, 084 ^{+0,054} _{-0,074}	0, 216 ^{+0,054} _{-0,086}
Gaia EDR3 2000727987059187200	2, 108 ^{+0,072} _{-0,072}	0, 235 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000727815260482688	2, 219 ^{+0,049} _{-0,079}	0, 220 ^{+0,054} _{-0,086}
Gaia EDR3 1999967021935996032	2, 280 ^{+0,075} _{-0,081}	0, 228 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999972175896219264	2, 317 ^{+0,083} _{-0,093}	0, 434 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999975062114435456	2, 344 ^{+0,074} _{-0,079}	0, 270 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999953862155768960	2, 348 ^{+0,076} _{-0,097}	0, 285 ^{+0,085} _{-0,135}
Gaia EDR3 2000010796243737344	2, 356 ^{+0,078} _{-0,047}	0, 271 ^{+0,049} _{-0,073}
Gaia EDR3 1999961696176667136	2, 364 ^{+0,075} _{-0,072}	0, 280 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999959084836270080	2, 428 ^{+0,101} _{-0,072}	0, 259 ^{+0,080} _{-0,122}
Gaia EDR3 1999977020619852416	2, 450 ^{+0,073} _{-0,055}	0, 296 ^{+0,049} _{-0,073}
Gaia EDR3 1999957195050364160	2, 452 ^{+0,045} _{-0,095}	0, 253 ^{+0,073} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999970492269288192	2, 488 ^{+0,077} _{-0,074}	0, 324 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999986499597954176	2, 517 ^{+0,074} _{-0,074}	0, 341 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1976705341621231872	2, 633 ^{+0,073} _{-0,080}	0, 408 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000731560471947776	2, 635 ^{+0,076} _{-0,076}	0, 377 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999957122021668352	2, 678 ^{+0,056} _{-0,103}	0, 358 ^{+0,075} _{-0,119}
Gaia EDR3 2000739360132884736	2, 681 ^{+0,076} _{-0,079}	0, 439 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999977226778269952	2, 684 ^{+0,073} _{-0,102}	0, 369 ^{+0,085} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999981143788120448	2, 720 ^{+0,069} _{-0,072}	0, 408 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999913283303049472	2, 812 ^{+0,072} _{-0,071}	0, 600 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999963104926104320	2, 904 ^{+0,076} _{-0,073}	0, 451 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000003546338794112	2, 970 ^{+0,072} _{-0,068}	0, 446 ^{+0,068} _{-0,105}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1999966884497044608	2,972 ^{+0,097} _{-0,086}	0,553 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999965097790681984	2,994 ^{+0,071} _{-0,074}	0,473 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000729258369492224	3,062 ^{+0,075} _{-0,080}	0,562 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999981796623387136	3,119 ^{+0,076} _{-0,070}	0,535 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999958569440105856	3,175 ^{+0,085} _{-0,084}	0,557 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999985747994144000	3,196 ^{+0,071} _{-0,070}	0,581 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000752004516384000	3,384 ^{+0,098} _{-0,054}	0,593 ^{+0,062} _{-0,091}
Gaia EDR3 2000731732270814848	3,404 ^{+0,076} _{-0,075}	0,587 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999978498088534272	3,414 ^{+0,072} _{-0,077}	0,630 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000732969221447808	3,422 ^{+0,055} _{-0,104}	0,612 ^{+0,073} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999990283479571968	3,490 ^{+0,087} _{-0,079}	0,811 ^{+0,077} _{-0,113}
Gaia EDR3 1999966953216515200	3,568 ^{+0,091} _{-0,123}	0,741 ^{+0,055} _{-0,086}
Gaia EDR3 2000007875665742208	3,603 ^{+0,071} _{-0,075}	0,635 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999975508791021056	3,604 ^{+0,084} _{-0,083}	0,632 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000763480670368640	3,653 ^{+0,075} _{-0,104}	0,656 ^{+0,085} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999972244615846656	3,670 ^{+0,101} _{-0,050}	0,636 ^{+0,062} _{-0,091}
Gaia EDR3 2000728983491411200	3,678 ^{+0,107} _{-0,053}	0,668 ^{+0,062} _{-0,091}
Gaia EDR3 1999956164258293248	3,692 ^{+0,076} _{-0,051}	0,834 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 1999967674770399872	3,751 ^{+0,077} _{-0,075}	0,691 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999969805074278400	3,800 ^{+0,099} _{-0,049}	0,652 ^{+0,062} _{-0,091}
Gaia EDR3 2000738638583103872	3,847 ^{+0,086} _{-0,080}	0,665 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999982999214196096	3,863 ^{+0,084} _{-0,084}	0,804 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999973447206503552	3,863 ^{+0,076} _{-0,080}	0,654 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999985060798791168	3,914 ^{+0,084} _{-0,082}	0,672 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000725925474717056	3,963 ^{+0,081} _{-0,083}	0,716 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999983067933729664	3,964 ^{+0,079} _{-0,079}	0,709 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000744823331087872	3,985 ^{+0,079} _{-0,106}	0,701 ^{+0,086} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999983789488514176	4,018 ^{+0,079} _{-0,079}	0,692 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999986916225241728	4,087 ^{+0,081} _{-0,082}	0,730 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999974237480683392	4,098 ^{+0,081} _{-0,080}	0,728 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999975508791016576	4,109 ^{+0,085} _{-0,086}	0,728 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999979116564139776	4,127 ^{+0,082} _{-0,088}	0,706 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999977604735106560	4,246 ^{+0,113} _{-0,079}	0,760 ^{+0,080} _{-0,122}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1999965815044179072	4, 258 ^{+0,083} _{-0,092}	0, 773 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999969220958736256	4, 261 ^{+0,058} _{-0,104}	0, 773 ^{+0,073} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999989939882183680	4, 268 ^{+0,104} _{-0,058}	0, 771 ^{+0,062} _{-0,092}
Gaia EDR3 1999962074133963648	4, 295 ^{+0,097} _{-0,085}	0, 866 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 1999983819541126144	4, 296 ^{+0,084} _{-0,086}	0, 739 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1976706269334276736	4, 325 ^{+0,087} _{-0,082}	0, 760 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999954171393653632	4, 341 ^{+0,100} _{-0,126}	0, 785 ^{+0,086} _{-0,136}
Gaia EDR3 1999936922803599104	4, 351 ^{+0,078} _{-0,084}	0, 783 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999932902714256512	4, 361 ^{+0,128} _{-0,080}	0, 815 ^{+0,093} _{-0,140}
Gaia EDR3 1999969942513264896	4, 377 ^{+0,110} _{-0,085}	0, 764 ^{+0,080} _{-0,122}
Gaia EDR3 2000729601966859392	4, 399 ^{+0,092} _{-0,105}	0, 803 ^{+0,086} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999984820280631680	4, 420 ^{+0,083} _{-0,095}	0, 868 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000009456213708288	4, 447 ^{+0,083} _{-0,081}	0, 753 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999976367784464128	4, 453 ^{+0,094} _{-0,085}	0, 852 ^{+0,069} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999989561925582848	4, 531 ^{+0,085} _{-0,090}	0, 771 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000726337791768832	4, 551 ^{+0,086} _{-0,087}	0, 833 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 2000004852008785920	4, 564 ^{+0,105} _{-0,063}	0, 801 ^{+0,062} _{-0,091}
Gaia EDR3 1999914795131670784	4, 598 ^{+0,106} _{-0,124}	0, 850 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000735546206710656	4, 681 ^{+0,083} _{-0,120}	0, 938 ^{+0,086} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999967777849613312	4, 715 ^{+0,088} _{-0,087}	0, 846 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999965029071193728	4, 725 ^{+0,097} _{-0,084}	0, 841 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1976704963664225152	4, 725 ^{+0,088} _{-0,092}	0, 809 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999981040709171584	4, 754 ^{+0,073} _{-0,091}	0, 836 ^{+0,055} _{-0,086}
Gaia EDR3 1999975027754696320	4, 765 ^{+0,094} _{-0,098}	0, 854 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000006604355717632	4, 820 ^{+0,110} _{-0,067}	0, 853 ^{+0,063} _{-0,092}
Gaia EDR3 1999934448902449408	4, 837 ^{+0,092} _{-0,091}	0, 899 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 2000016328161634176	4, 842 ^{+0,093} _{-0,089}	0, 874 ^{+0,067} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999977329857476224	4, 879 ^{+0,098} _{-0,077}	0, 867 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 2000736851872045696	4, 922 ^{+0,095} _{-0,085}	0, 859 ^{+0,069} _{-0,105}
Gaia EDR3 2000727402943820416	4, 928 ^{+0,069} _{-0,096}	0, 882 ^{+0,055} _{-0,087}
Gaia EDR3 1976704516987521536	5, 013 ^{+0,104} _{-0,075}	0, 879 ^{+0,049} _{-0,073}
Gaia EDR3 1999980868910224256	5, 018 ^{+0,115} _{-0,128}	0, 972 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 1999938125394418304	5, 036 ^{+0,097} _{-0,096}	0, 893 ^{+0,068} _{-0,104}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1976704242112978560	5, 120 ^{+0,094} _{-0,069}	0, 868 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 1999965784985453824	5, 148 ^{+0,105} _{-0,103}	0, 917 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999984373604037632	5, 148 ^{+0,121} _{-0,100}	0, 951 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 2000726062913662848	5, 151 ^{+0,096} _{-0,107}	1, 105 ^{+0,068} _{-0,104}
Gaia EDR3 1999965475747830656	5, 180 ^{+0,077} _{-0,121}	0, 955 ^{+0,073} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999983342811613952	5, 181 ^{+0,102} _{-0,108}	0, 972 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 1999982689976570496	5, 190 ^{+0,129} _{-0,123}	0, 917 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999978257570397184	5, 213 ^{+0,230} _{-0,270}	1, 044 ^{+0,051} _{-0,075}
Gaia EDR3 1999978257570394240	5, 222 ^{+0,100} _{-0,080}	0, 941 ^{+0,053} _{-0,077}
Gaia EDR3 2000752794777824256	5, 243 ^{+0,102} _{-0,103}	0, 925 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2000737539066599168	5, 285 ^{+0,154} _{-0,109}	1, 130 ^{+0,095} _{-0,143}
Gaia EDR3 1999981349946791552	5, 352 ^{+0,113} _{-0,102}	1, 017 ^{+0,068} _{-0,105}
Gaia EDR3 1999982243299719296	5, 368 ^{+0,095} _{-0,113}	1, 164 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 1999940702374969344	5, 370 ^{+0,091} _{-0,087}	1, 008 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 2000731182514826496	5, 388 ^{+0,100} _{-0,122}	1, 009 ^{+0,087} _{-0,136}
Gaia EDR3 2000011174200859648	5, 394 ^{+0,105} _{-0,081}	0, 966 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 1999964479315097600	5, 499 ^{+0,115} _{-0,114}	1, 086 ^{+0,074} _{-0,111}
Gaia EDR3 1999972897450711808	5, 513 ^{+0,123} _{-0,076}	0, 991 ^{+0,063} _{-0,093}
Gaia EDR3 1999976780101400832	5, 557 ^{+0,108} _{-0,086}	1, 017 ^{+0,050} _{-0,074}
Gaia EDR3 1999969667635327872	5, 621 ^{+0,158} _{-0,110}	1, 024 ^{+0,081} _{-0,123}
Gaia EDR3 2000744514093457792	5, 699 ^{+0,084} _{-0,107}	1, 029 ^{+0,059} _{-0,090}
Gaia EDR3 1999981242562879744	5, 834 ^{+0,113} _{-0,558}	1, 018 ^{+0,399} _{-0,667}
Gaia EDR3 1999971488701659264	5, 839 ^{+0,114} _{-0,326}	1, 280 ^{+0,216} _{-0,355}
Gaia EDR3 1999972725652023936	5, 839 ^{+0,118} _{-0,126}	1, 252 ^{+0,089} _{-0,138}
Gaia EDR3 1999987191103131136	5, 859 ^{+0,124} _{-0,114}	1, 051 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2000004027374865280	5, 870 ^{+0,108} _{-0,110}	1, 038 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 1999976161626036736	5, 889 ^{+0,110} _{-0,123}	1, 108 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 1999975680589697920	5, 961 ^{+0,110} _{-0,128}	1, 127 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2000003958655393280	5, 972 ^{+0,133} _{-0,142}	1, 131 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 1999975062114433024	6, 007 ^{+0,121} _{-0,566}	1, 324 ^{+0,399} _{-0,667}
Gaia EDR3 2000007635147383040	6, 023 ^{+0,095} _{-0,105}	1, 185 ^{+0,056} _{-0,087}
Gaia EDR3 2000727471663111168	6, 039 ^{+0,154} _{-0,101}	1, 137 ^{+0,065} _{-0,095}
Gaia EDR3 1999977982692477056	6, 050 ^{+0,102} _{-0,118}	1, 126 ^{+0,058} _{-0,089}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2000007154111526144	6, 072 ^{+0,120} _{-0,117}	1, 120 ^{+0,079} _{-0,115}
Gaia EDR3 1999982449458385664	6, 073 ^{+0,115} _{-0,116}	1, 107 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 1999980181716009600	6, 078 ^{+0,090} _{-0,145}	1, 175 ^{+0,056} _{-0,087}
Gaia EDR3 2000003237100892288	6, 080 ^{+0,129} _{-0,148}	1, 204 ^{+0,080} _{-0,117}
Gaia EDR3 1999984030006672640	6, 092 ^{+0,123} _{-0,132}	1, 116 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 1999952590845485696	6, 118 ^{+0,103} _{-0,108}	1, 144 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 1999991142472999680	6, 136 ^{+0,137} _{-0,123}	1, 106 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 1999975852388387584	6, 182 ^{+0,115} _{-0,103}	1, 127 ^{+0,070} _{-0,106}
Gaia EDR3 1975953275666920192	6, 228 ^{+0,128} _{-0,119}	1, 175 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 2000724581135983488	6, 254 ^{+0,167} _{-0,115}	1, 141 ^{+0,096} _{-0,144}
Gaia EDR3 1999958363281680512	6, 282 ^{+0,078} _{-0,112}	1, 201 ^{+0,058} _{-0,089}
Gaia EDR3 1999980662752428416	6, 328 ^{+0,132} _{-0,142}	1, 199 ^{+0,070} _{-0,106}
Gaia EDR3 1999965235229612672	6, 376 ^{+0,094} _{-0,155}	1, 220 ^{+0,076} _{-0,120}
Gaia EDR3 2000003237100891648	6, 380 ^{+0,139} _{-0,134}	1, 408 ^{+0,069} _{-0,106}
Gaia EDR3 1999966678338622720	6, 385 ^{+0,143} _{-0,138}	1, 454 ^{+0,089} _{-0,138}
Gaia EDR3 1999981487385762432	6, 387 ^{+0,147} _{-0,136}	1, 232 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 1999977707814321152	6, 395 ^{+0,168} _{-0,141}	1, 225 ^{+0,085} _{-0,127}
Gaia EDR3 1999976608302716672	6, 407 ^{+0,153} _{-0,134}	1, 272 ^{+0,054} _{-0,078}
Gaia EDR3 2000727093706005248	6, 417 ^{+0,141} _{-0,164}	1, 473 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 1999965819345194240	6, 418 ^{+0,140} _{-0,155}	1, 268 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 2000733278459076352	6, 428 ^{+0,136} _{-0,129}	1, 237 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 2000752794790573312	6, 431 ^{+0,129} _{-0,127}	1, 209 ^{+0,071} _{-0,107}
Gaia EDR3 2000729464527746304	6, 474 ^{+0,158} _{-0,162}	1, 225 ^{+0,080} _{-0,116}
Gaia EDR3 1999983136653199872	6, 486 ^{+0,123} _{-0,131}	1, 246 ^{+0,078} _{-0,114}
Gaia EDR3 1999935170457159168	6, 505 ^{+0,122} _{-0,139}	1, 437 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 1999994612807153536	6, 510 ^{+0,132} _{-0,168}	1, 290 ^{+0,090} _{-0,140}
Gaia EDR3 1999960351837683968	6, 540 ^{+0,162} _{-0,130}	1, 267 ^{+0,082} _{-0,124}
Gaia EDR3 2000729494580103168	6, 548 ^{+0,119} _{-0,147}	1, 273 ^{+0,059} _{-0,090}
Gaia EDR3 1999991417351174784	6, 574 ^{+0,133} _{-0,132}	1, 258 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 1999938297193092352	6, 576 ^{+0,142} _{-0,144}	1, 248 ^{+0,072} _{-0,108}
Gaia EDR3 1999978498088534912	6, 608 ^{+0,125} _{-0,140}	1, 308 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 1999976642662733568	6, 609 ^{+0,167} _{-0,148}	1, 253 ^{+0,085} _{-0,128}
Gaia EDR3 2000725891114977408	6, 623 ^{+0,115} _{-0,125}	1, 331 ^{+0,092} _{-0,129}

B.2. Berechnete Helligkeiten und Farben

Fortsetzung

Name	M_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 2000728365016289920	6,666 ^{+0,150} _{-0,180}	1,309 ^{+0,093} _{-0,143}
Gaia EDR3 1999968087087395456	6,676 ^{+0,125} _{-0,122}	1,281 ^{+0,073} _{-0,110}
Gaia EDR3 1999978291930127360	6,712 ^{+0,142} _{-0,136}	1,294 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 1999983205372969856	6,713 ^{+0,155} _{-0,158}	1,287 ^{+0,070} _{-0,107}
Gaia EDR3 2000731590524250368	6,788 ^{+0,162} _{-0,150}	1,340 ^{+0,071} _{-0,108}
Gaia EDR3 1999976883180613376	6,797 ^{+0,194} _{-0,183}	1,393 ^{+0,074} _{-0,111}
Gaia EDR3 1975948602742543360	6,828 ^{+0,157} _{-0,158}	1,435 ^{+0,081} _{-0,118}
Gaia EDR3 2000003305820369280	6,885 ^{+0,178} _{-0,188}	1,642 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 2000729327088962816	6,921 ^{+0,135} _{-0,163}	1,379 ^{+0,060} _{-0,091}
Gaia EDR3 1999971866658781056	6,943 ^{+0,176} _{-0,211}	1,406 ^{+0,095} _{-0,144}
Gaia EDR3 1999965338308823296	6,979 ^{+0,133} _{-0,195}	1,469 ^{+0,083} _{-0,127}
Gaia EDR3 1999992173265436032	7,059 ^{+0,171} _{-0,150}	1,443 ^{+0,072} _{-0,109}
Gaia EDR3 2000759494940185216	7,094 ^{+0,166} _{-0,176}	1,449 ^{+0,074} _{-0,111}
Gaia EDR3 1999965780677212672	7,121 ^{+0,191} _{-0,222}	1,492 ^{+0,079} _{-0,116}
Gaia EDR3 2000729258369488640	7,124 ^{+0,187} _{-0,177}	1,533 ^{+0,070} _{-0,101}
Gaia EDR3 1999988840370853248	7,148 ^{+0,148} _{-0,166}	1,476 ^{+0,074} _{-0,111}
Gaia EDR3 1999978876045710976	7,310 ^{+0,181} _{-0,188}	1,862 ^{+0,076} _{-0,113}
Gaia EDR3 2000003889936138752	7,321 ^{+0,316} _{-0,290}	1,589 ^{+0,088} _{-0,130}
Gaia EDR3 1999983235425363200	7,370 ^{+0,171} _{-0,181}	1,505 ^{+0,092} _{-0,129}
Gaia EDR3 2000727020677504384	7,377 ^{+0,216} _{-0,284}	1,627 ^{+0,097} _{-0,139}
Gaia EDR3 1999983239732707328	7,405 ^{+0,239} _{-0,717}	1,603 ^{+0,405} _{-0,673}
Gaia EDR3 2000739531931620736	7,558 ^{+0,177} _{-0,245}	1,682 ^{+0,111} _{-0,173}
Gaia EDR3 1999962795688264704	7,576 ^{+0,273} _{-0,243}	1,669 ^{+0,079} _{-0,115}
Gaia EDR3 1999973859523374336	7,581 ^{+0,223} _{-0,229}	1,699 ^{+0,097} _{-0,139}
Gaia EDR3 1999967743492805504	7,583 ^{+0,212} _{-0,176}	1,710 ^{+0,063} _{-0,087}
Gaia EDR3 1999992173265442944	7,592 ^{+0,198} _{-0,217}	1,664 ^{+0,077} _{-0,114}
Gaia EDR3 1999989939882185728	7,655 ^{+0,260} _{-0,229}	1,706 ^{+0,092} _{-0,134}
Gaia EDR3 1999956988891942016	7,673 ^{+0,316} _{-0,254}	1,723 ^{+0,081} _{-0,118}
Gaia EDR3 1999908610378406528	7,676 ^{+0,200} _{-0,224}	1,679 ^{+0,080} _{-0,116}
Gaia EDR3 1999940801147882624	7,712 ^{+0,237} _{-0,252}	1,751 ^{+0,082} _{-0,119}
Gaia EDR3 1976705371675462656	7,728 ^{+0,231} _{-0,187}	1,738 ^{+0,083} _{-0,112}
Gaia EDR3 2000754164873155200	7,745 ^{+0,240} _{-0,230}	1,678 ^{+0,092} _{-0,128}
Gaia EDR3 1999966678338625920	7,763 ^{+0,315} _{-0,320}	1,903 ^{+0,107} _{-0,157}

Fortsetzung

Name	\mathcal{M}_G [mag]	$(BP - RP)_0$ [mag]
Gaia EDR3 1999972790063362176	7, 771 ^{+0,258} _{-0,206}	1, 787 ^{+0,077} _{-0,106}
Gaia EDR3 2000764202224262144	7, 778 ^{+0,229} _{-0,292}	1, 732 ^{+0,101} _{-0,151}
Gaia EDR3 1999959497153129088	7, 783 ^{+0,268} _{-0,319}	1, 825 ^{+0,088} _{-0,125}
Gaia EDR3 2000748014479505664	7, 793 ^{+0,199} _{-0,229}	1, 723 ^{+0,085} _{-0,122}
Gaia EDR3 1999979975557295744	7, 818 ^{+0,297} _{-0,287}	1, 796 ^{+0,104} _{-0,154}
Gaia EDR3 1999979799451160704	7, 819 ^{+0,258} _{-0,322}	1, 783 ^{+0,120} _{-0,169}
Gaia EDR3 1999988771651376256	7, 837 ^{+0,198} _{-0,235}	1, 773 ^{+0,082} _{-0,119}
Gaia EDR3 1999976088599233792	7, 841 ^{+0,229} _{-0,235}	1, 754 ^{+0,086} _{-0,123}
Gaia EDR3 1999991932747285888	7, 857 ^{+0,213} _{-0,233}	1, 769 ^{+0,104} _{-0,154}
Gaia EDR3 2000005229959360640	7, 875 ^{+0,207} _{-0,257}	1, 625 ^{+0,091} _{-0,135}
Gaia EDR3 2000753752559867520	7, 892 ^{+0,231} _{-0,253}	1, 803 ^{+0,090} _{-0,127}
Gaia EDR3 1999957950964601216	7, 894 ^{+0,228} _{-0,302}	2, 150 ^{+0,098} _{-0,135}
Gaia EDR3 1999976711382202880	7, 932 ^{+0,297} _{-0,287}	1, 771 ^{+0,104} _{-0,146}
Gaia EDR3 2000759357501234304	7, 958 ^{+0,254} _{-0,254}	1, 874 ^{+0,092} _{-0,128}
Gaia EDR3 2000008283681517696	8, 045 ^{+0,214} _{-0,256}	1, 864 ^{+0,086} _{-0,122}
Gaia EDR3 1975948430943858304	8, 060 ^{+0,242} _{-0,282}	1, 871 ^{+0,104} _{-0,154}
Gaia EDR3 2000730491012542336	8, 257 ^{+0,465} _{-0,721}	1, 004 ^{+0,129} _{-0,192}
Gaia EDR3 2000736954951265920	8, 305 ^{+0,335} _{-0,322}	2, 360 ^{+0,123} _{-0,166}
Gaia EDR3 1999991520430392576	8, 369 ^{+0,441} _{-0,421}	2, 178 ^{+0,128} _{-0,178}
Gaia EDR3 1999977742166167808	8, 514 ^{+0,505} _{-0,447}	2, 264 ^{+0,124} _{-0,161}
Gaia EDR3 1999981036401568640	8, 526 ^{+0,280} _{-0,441}	2, 177 ^{+0,126} _{-0,170}
Gaia EDR3 2000755612276254464	9, 023 ^{+0,528} _{-0,580}	2, 526 ^{+0,215} _{-0,277}
Gaia EDR3 1999951388245345152	9, 042 ^{+0,610} _{-0,892}	2, 026 ^{+0,124} _{-0,163} †

† Median aus den zehn darüber sowie darunterliegenden Einträgen für $(BP - RP)_0$ in dieser Tabelle, da keine Farbinformation in Gaia EDR3 vorhanden war.

Anhang C

Ergebnisse der Lichtkurvenanalyse

TABELLE C.1: Einzelergebnisse der Transitanalyse von IC 348 LRL 47/cc für alle signifikant detektierten Transits. Die Einträge sind nach den verwendeten Filtern sortiert und es wird jeweils das Datum des Beobachtungsbeginns, Transittiefe, Transitdauer und der Zeitpunkt der Transitmitte angegeben.

Filter	Datum	Δm [mmag]	$T_{1.4}$ [min]	T_M [HJD]
V	2018 Okt 30	$52,1 \pm 3,1$	$261,6 \pm 15,8$	$2458422,50649 \pm 0,00280$
	2018 Dez 05	$51,3 \pm 3,4$	$242,2 \pm 15,1$	$2458458,36507 \pm 0,00266$
	2020 Dez 17	$64,2 \pm 1,2$	$221,7 \pm 4,2$	$2459201,32103 \pm 0,00068$
R	2012 Sep 17	$49,7 \pm 1,1$	$238,9 \pm 5,1$	$2456188,51076 \pm 0,00089$
	2018 Okt 30	$55,8 \pm 2,6$	$247,5 \pm 11,2$	$2458422,50088 \pm 0,00194$
I	2018 Okt 30	$59,0 \pm 1,7$	$236,7 \pm 6,9$	$2458422,50251 \pm 0,00119$
	2020 Okt 01	$55,9 \pm 1,3$	$234,8 \pm 5,8$	$2459124,46664 \pm 0,00101$
	2020 Nov 06	$52,0 \pm 1,1$	$245,7 \pm 4,1$	$2459160,33046 \pm 0,00062$

TABELLE C.2: Einzelergebnisse der Transitanalyse von CVSO 30 b für alle signifikant detektierten Transits. Die jeweiligen Lichtkurven wurden im *R*-Filter aufgenommen und ihrer Phase entsprechend aufgelistet. Die übrigen Einträge sind analog zu Tabelle C.1.

	Datum	Δm [mmag]	$T_{1.4}$ [min]	T_M [HJD]
Dip-A	2014 Okt 23	$16,5 \pm 1,7$	$43,6 \pm 4,8$	$2456954,55877 \pm 0,00073$
	2014 Okt 28	$18,5 \pm 2,0$	$64,7 \pm 6,3$	$2456958,59282 \pm 0,00108$
	2014 Nov 06	$22,5 \pm 2,8$	$53,3 \pm 7,1$	$2456967,56230 \pm 0,00113$
	2015 Feb 11	$29,1 \pm 4,6$	$113,4 \pm 14,6$	$2457065,31607 \pm 0,00212$
	2015 Nov 14	$14,0 \pm 2,0$	$77,6 \pm 10,2$	$2457341,53221 \pm 0,00151$
	2015 Nov 19 ^a	$17,8 \pm 1,8$	$87,1 \pm 6,1$	$2457346,46527 \pm 0,00093$

Fortsetzung				
	Datum	Δm [mmag]	$T_{1,4}$ [min]	T_M [HJD]
	2015 Nov 23	$18,2 \pm 2,4$	$82,0 \pm 9,3$	$2457349,60272 \pm 0,00137$
	2016 Feb 02	$17,1 \pm 1,7$	$70,8 \pm 7,8$	$2457421,35454 \pm 0,00122$
	2017 Jan 05	$11,3 \pm 1,4$	$55,4 \pm 7,2$	$2457759,44400 \pm 0,00116$
	2017 Jan 23	$24,7 \pm 1,7$	$89,4 \pm 7,3$	$2457777,38319 \pm 0,00107$
	2017 Okt 27	$22,1 \pm 2,4$	$44,9 \pm 5,2$	$2458053,57784 \pm 0,00082$
	2017 Nov 13	$22,1 \pm 2,0$	$54,3 \pm 5,1$	$2458071,51574 \pm 0,00080$
	2017 Nov 22 ^b	$17,5 \pm 1,7$	$60,9 \pm 5,9$	$2458080,48685 \pm 0,00092$
	2017 Nov 22 ^c	$20,7 \pm 5,4$	$35,0 \pm 10,0$	$2458080,47951 \pm 0,00158$
Dip-B	2014 Okt 23	$7,9 \pm 1,5$	$37,6 \pm 7,6$	$2456954,60495 \pm 0,00125$
	2014 Okt 28	$9,0 \pm 1,5$	$52,5 \pm 8,8$	$2456958,63925 \pm 0,00149$
	2014 Dez 11	$7,1 \pm 1,5$	$38,2 \pm 8,6$	$2457002,58731 \pm 0,00145$
	2015 Nov 14	$25,2 \pm 1,9$	$57,2 \pm 4,6$	$2457341,57902 \pm 0,00074$
	2015 Nov 19 ^a	$16,7 \pm 1,2$	$58,9 \pm 6,1$	$2457326,51010 \pm 0,00072$
	2015 Nov 23	$20,9 \pm 1,8$	$62,4 \pm 5,7$	$2457349,64997 \pm 0,00101$
	2016 Feb 02	$14,8 \pm 1,7$	$55,5 \pm 7,1$	$2457421,39548 \pm 0,00114$
	2017 Okt 27	$7,7 \pm 1,6$	$57,5 \pm 12,7$	$2458053,63722 \pm 0,00209$
	2017 Nov 13	$8,9 \pm 1,1$	$122,1 \pm 11,0$	$2458071,57061 \pm 0,00251$
Dip-C	2020 Okt 20	$17,2 \pm 2,6$	$92,7 \pm 14,5$	$2459142,56858 \pm 0,00242$
	2020 Nov 23	$30,0 \pm 1,7$	$119,2 \pm 7,0$	$2459177,54184 \pm 0,00117$
	2021 Jan 11	$33,4 \pm 1,2$	$148,7 \pm 4,5$	$2459226,42113 \pm 0,00090$
	2021 Jan 15	$33,5 \pm 1,0$	$138,9 \pm 4,0$	$2459230,45794 \pm 0,00068$
	2021 Jan 29	$30,4 \pm 1,4$	$129,4 \pm 5,4$	$2459244,36148 \pm 0,00102$
	2021 Feb 02	$37,2 \pm 0,9$	$134,9 \pm 3,3$	$2459248,39569 \pm 0,00055$

^a Clear-Filter, ^b OSN, ^c GSH

TABELLE C.3: Gemessene maximale Zunahme des Flusses von CVSO 30 während der Flare-ähnlichen Ereignisse.

Datum	F_{\max} [%]
2018 Jan 23	$10,1 \pm 0,8$
2018 Nov 14	$4,7 \pm 1,0$
2018 Dez 27	$3,5 \pm 0,5$

TABELLE C.4: Einzelergebnisse der Transitanalyse von STKGSHJ213912.0+570728.1/cc für alle signifikant detektierten Transits. Analog zu Tabelle C.1.

Filter	Datum	Δm [mmag]	T_{14} [min]	T_M [HJD]
B	2018 Okt 05	$5,8 \pm 1,4$	$125,9 \pm 14,0$	$2458397,54035 \pm 0,00412$
	2018 Okt 14	$4,4 \pm 1,1$	$95,9 \pm 15,2$	$2458406,37324 \pm 0,00443$
V	2018 Jun 29	$7,2 \pm 1,8$	$59,1 \pm 9,8$	$2458299,51436 \pm 0,00224$
	2018 Jul 16	$12,1 \pm 1,6$	$95,2 \pm 9,6$	$2458316,47329 \pm 0,00219$
	2018 Aug 08	$7,8 \pm 1,3$	$87,3 \pm 7,5$	$2458338,57298 \pm 0,00177$
	2018 Aug 16	$7,6 \pm 1,0$	$88,3 \pm 7,0$	$2458347,41699 \pm 0,00170$
	2018 Sep 30	$6,9 \pm 0,9$	$82,9 \pm 7,8$	$2458392,36248 \pm 0,00179$
	2018 Okt 17	$7,8 \pm 1,3$	$65,2 \pm 10,1$	$2458409,31964 \pm 0,00183$
	R	2017 Okt 17	$10,8 \pm 0,9$	$81,2 \pm 5,3$
2018 Jul 10		$10,1 \pm 0,4$	$96,6 \pm 2,4$	$2458310,57127 \pm 0,00057$
2018 Jul 30		$10,2 \pm 0,5$	$93,9 \pm 3,3$	$2458330,46672 \pm 0,00083$
2018 Aug 21		$9,8 \pm 0,9$	$86,3 \pm 5,3$	$2458352,57446 \pm 0,00110$
2018 Sep 24		$8,4 \pm 0,9$	$88,7 \pm 6,3$	$2458386,46755 \pm 0,00149$
2018 Okt 22		$12,5 \pm 1,4$	$75,5 \pm 8,5$	$2458414,47495 \pm 0,00145$
2018 Nov 05		$10,4 \pm 0,8$	$99,4 \pm 4,6$	$2458428,47226 \pm 0,00117$
I	2018 Jun 18	$14,1 \pm 2,7$	$88,6 \pm 6,8$	$2458288,46741 \pm 0,00153$
	2018 Jul 27 ^a	$12,5 \pm 0,2$	$96,4 \pm 1,2$	$2458327,51944 \pm 0,00029$
	2018 Jul 27 ^b	$12,2 \pm 0,9$	$89,6 \pm 5,0$	$2458327,52037 \pm 0,00119$
	2018 Jul 30	$12,6 \pm 1,0$	$92,3 \pm 5,0$	$2458330,46743 \pm 0,00114$
	2018 Sep 18	$14,3 \pm 0,3$	$93,7 \pm 1,5$	$2458380,57355 \pm 0,00035$
	2018 Sep 21	$11,3 \pm 1,2$	$94,4 \pm 5,6$	$2458383,52218 \pm 0,00140$
	2018 Sep 30	$9,4 \pm 1,5$	$77,8 \pm 6,9$	$2458391,62581 \pm 0,00149$

^a GSH, ^b OSN

TABELLE C.5: Einzelergebnisse der Transitanalyse von J221550.7+495610.6/cc für alle signifikant detektierten Transits. Analog zu Tabelle C.1.

Filter	Datum	Δm [mmag]	T_{14} [min]	T_M [HJD]
B	2019 Aug 27 ^a	$111,8 \pm 1,9$	$289,0 \pm 2,8$	$2458723,50961 \pm 0,00063$
	2019 Aug 27 ^b	$97,5 \pm 3,2$	$287,1 \pm 5,3$	$2458723,50563 \pm 0,00125$
V	2018 Jul 20	$104,1 \pm 1,1$	$283,2 \pm 1,6$	$2458320,51587 \pm 0,00037$
	2018 Sep 15	$96,1 \pm 3,7$	$287,4 \pm 10,0$	$2458377,45963 \pm 0,00234$

Fortsetzung

Filter	Datum	Δm [mmag]	T_{14} [min]	T_M [HJD]
I	2020 Okt 03	$92,2 \pm 2,1$	$292,3 \pm 3,8$	$2459126,50592 \pm 0,00093$

^a OSN, ^b GSH

TABELLE C.6: Einzelergebnisse der Transitanalyse von NGC 7243 JFA 1310/cc für alle signifikant detektierten Transits. Analog zu Tabelle C.1.

Filter	Datum	Δm [mmag]	T_{14} [min]	T_M [HJD]
B	2019 Jul 30	$45,9 \pm 6,5$	$134,0 \pm 13,0$	$2458695,48030 \pm 0,00328$
V	2019 Aug 31	$47,7 \pm 3,5$	$141,9 \pm 6,9$	$2458727,42214 \pm 0,00541$
R	2019 Sep 18	$37,4 \pm 1,1$	$137,9 \pm 2,4$	$2458745,47770 \pm 0,00059$
	2019 Okt 06	$44,2 \pm 2,0$	$162,3 \pm 4,1$	$2458763,54006 \pm 0,00111$
I	2019 Jul 23	$36,3 \pm 1,0$	$134,1 \pm 2,5$	$2458688,53391 \pm 0,00062$
	2019 Okt 13	$28,8 \pm 1,9$	$147,2 \pm 4,7$	$2458770,48236 \pm 0,00129$

TABELLE C.7: Einzelergebnisse der Transitanalyse von J221323.7+493534.0/cc für alle signifikant detektierten Transits. Analog zu Tabelle C.1.

Filter	Datum	Δm [mmag]	T_{14} [min]	T_M [HJD]
B	2019 Aug 08	$39,4 \pm 10,9$	$131,8 \pm 15,7$	$2458704,50780 \pm 0,00335$
	2020 Okt 19	$53,1 \pm 5,7$	$154,9 \pm 10,1$	$2459142,32173 \pm 0,00513$
V	2018 Nov 16	$46,0 \pm 2,2$	$167,5 \pm 4,2$	$2458439,42115 \pm 0,00111$
	2019 Jun 28	$47,7 \pm 2,1$	$165,6 \pm 4,2$	$2458663,54990 \pm 0,00110$
	2019 Sep 02	$45,3 \pm 1,7$	$165,4 \pm 3,7$	$2458729,41753 \pm 0,00097$
R	2019 Okt 17	$44,9 \pm 1,7$	$166,9 \pm 3,5$	$2458774,40535 \pm 0,00095$
	2020 Nov 12	$47,5 \pm 1,8$	$153,1 \pm 3,5$	$2459166,42172 \pm 0,00089$
I	2019 Aug 20	$46,0 \pm 1,5$	$155,3 \pm 3,0$	$2458716,56688 \pm 0,00079$
	2019 Sep 14	$46,3 \pm 2,5$	$156,9 \pm 5,1$	$2458741,46801 \pm 0,00134$
	2019 Okt 13 ^a	$43,8 \pm 1,5$	$156,0 \pm 3,0$	$2458770,38722 \pm 0,00079$
	2019 Okt 13 ^b	$40,1 \pm 2,7$	$146,4 \pm 7,2$	$2458770,38928 \pm 0,00164$

^a OSN, ^b GSH

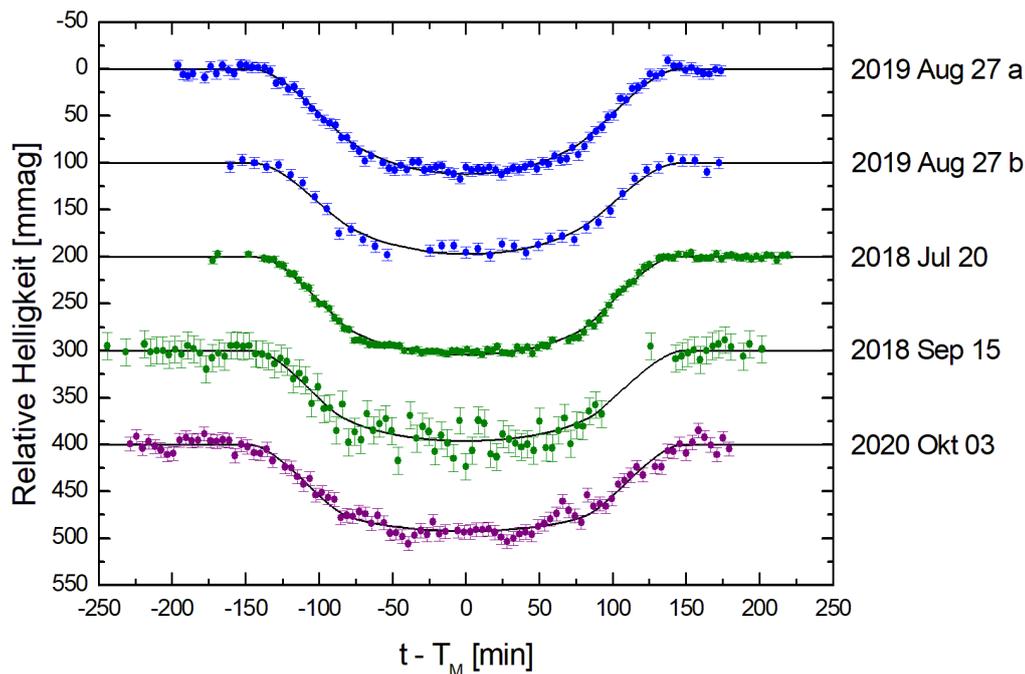


ABBILDUNG C.1: Transitlichtkurven von J221550.7+495610.6/cc. Die relativen Helligkeiten der Lichtkurven des Sterns sind über den zeitlichen Abstand zur Transitmitte aufgetragen, sowie nach Filtern und dem dazugehörigen Beobachtungsbeginn geordnet. Die Aufnahmen im *B*-Band sind in blau, die im *V*-Band in grün, die im *R*-Band in rot und die im *I*-Band sind in violett dargestellt.

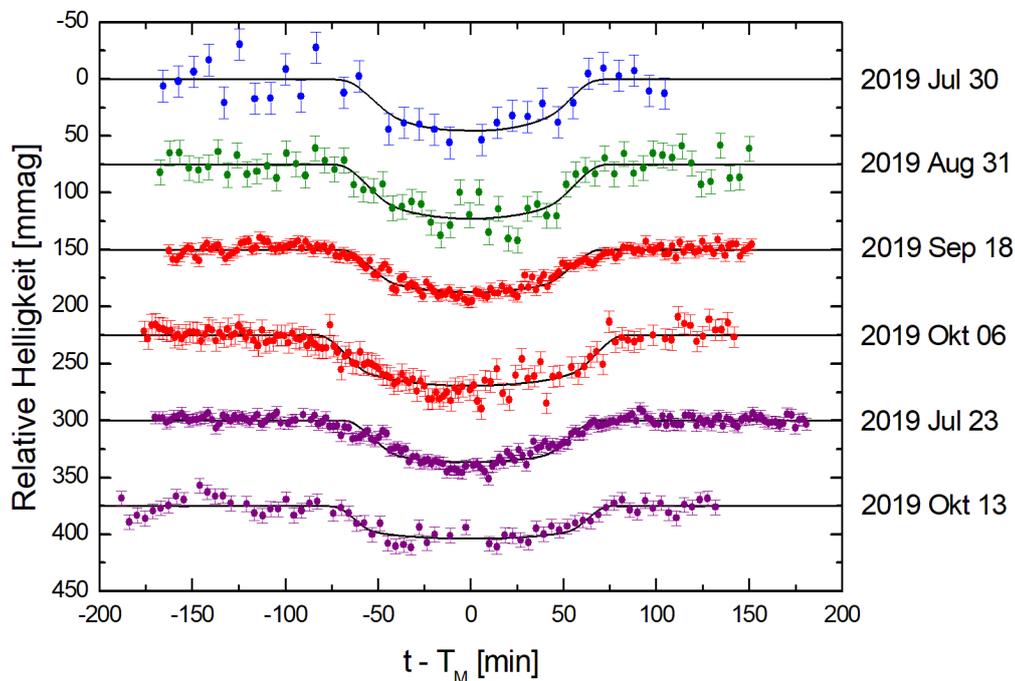


ABBILDUNG C.2: Transitlichtkurven von NGC 7243 JFA 1310/cc. Analog zu Abbildung C.1.

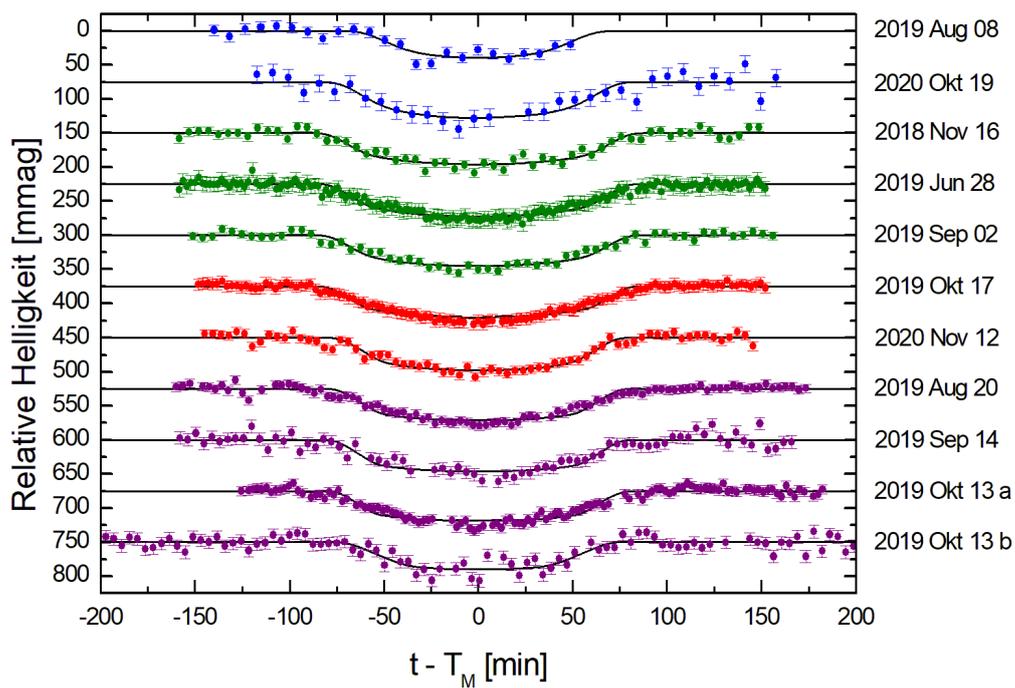


ABBILDUNG C.3: Transitlichtkurven von J221323.7+493534.0/cc. Analog zu Abbildung C.1.

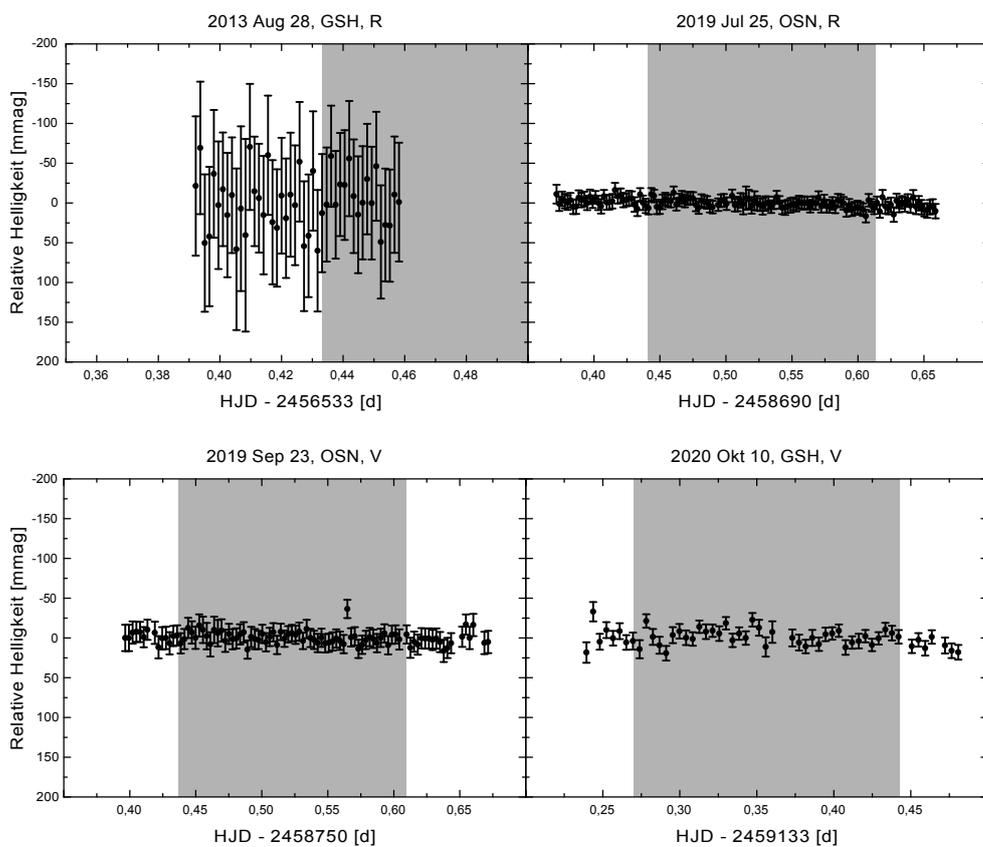
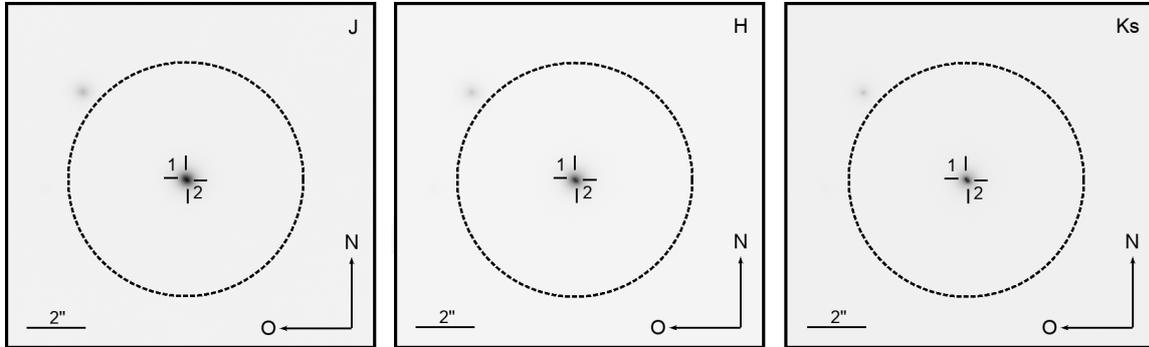


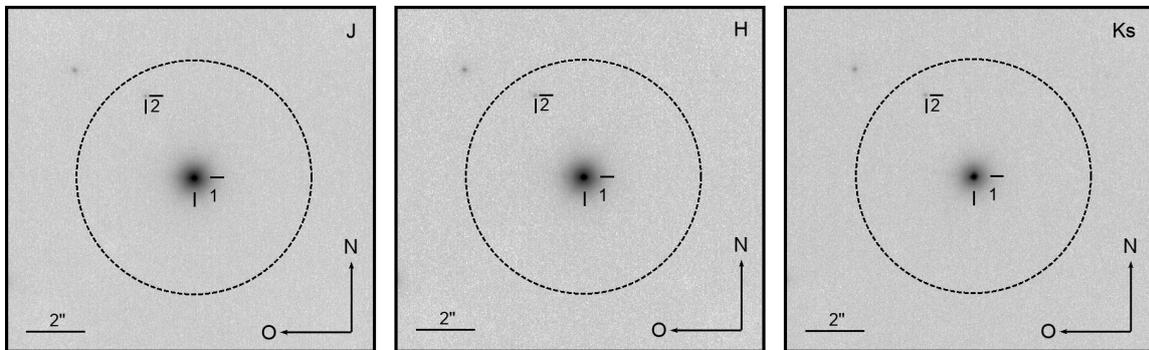
ABBILDUNG C.4: Lichtkurven von J221711.5+494200.1. Die Zeiträume in denen sich der ca. 60 mmag-tiefe Transit hätte ereignen sollen, sind grau unterlegt.

Anhang D

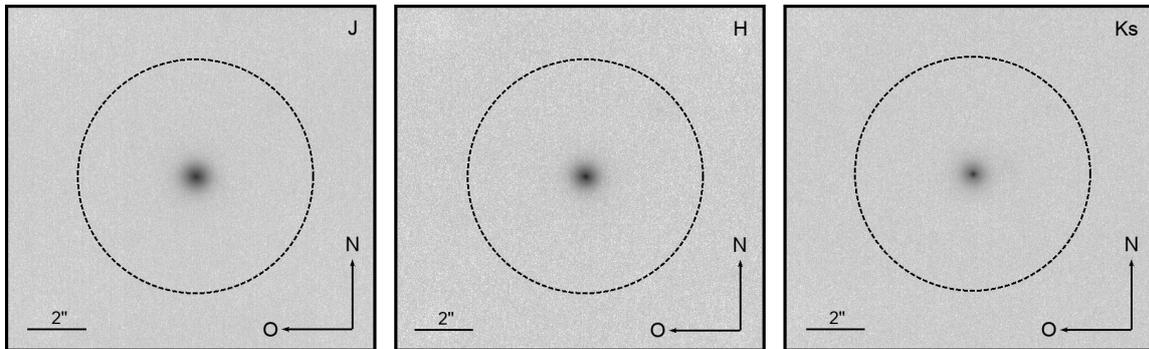
Ergänzende Abbildungen zur Infrarot-Photometrie mit adaptiver Optik



(a) NGC 7243 JFA 1310



(b) J221323.7+493534.0



(c) J221711.5+494200.1

ABBILDUNG D.1: Hochkontrastbeobachtungen mit LUCI 1 und AO im J -, H - und K_s -Band. Die typischen Apertur der YETI-Teleskope aus dem visuellen Spektralbereich ist jeweils als Kreis mit einem Radius von $4''$ dargestellt.

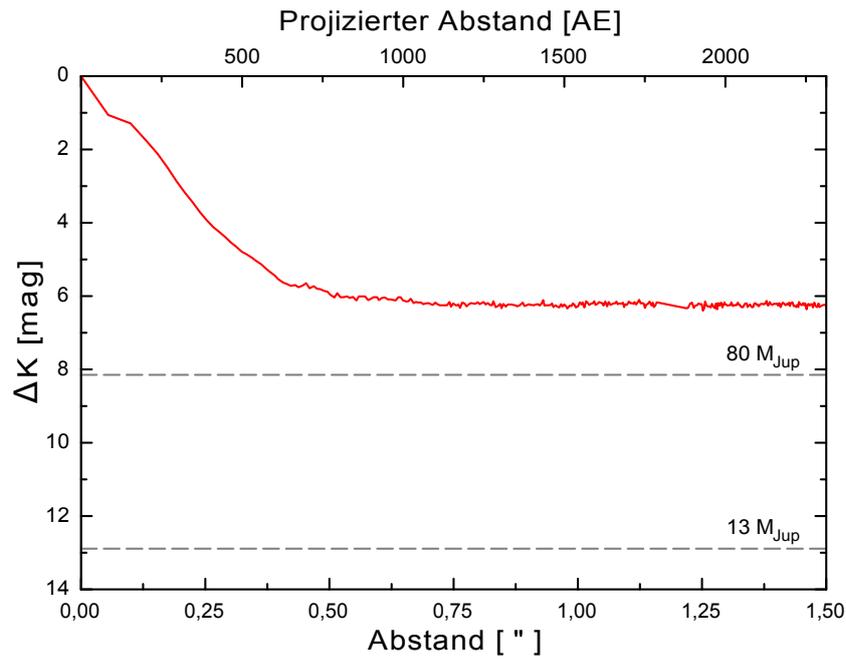


ABBILDUNG D.2: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K -Band für die Aufnahme von J221550.7+495610.6. Die Abstände bzw. der Helligkeitsunterschied sind in Bezug zu J221550.7+495610.6:1 dargestellt. Die gestrichelten Linien zeigen die zu erwartenden Helligkeitsunterschiede für Begleiter mit $80 M_{Jup}$ und $13 M_{Jup}$ bei einem Alter von $\tau = 2000$ Myr nach Baraffe et al. (2015).

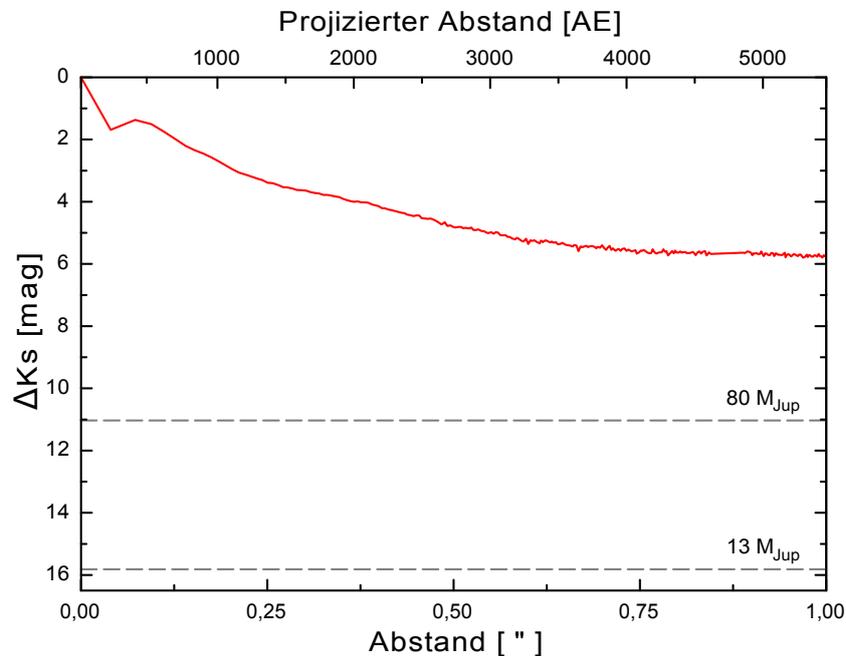


ABBILDUNG D.3: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K_s -Band für die Aufnahme von NGC 7243 JFA 1310. Die Abstände bzw. der Helligkeitsunterschied sind in Bezug zu NGC 7243 JFA 1310:1 dargestellt. Analog zu Abbildung D.2.

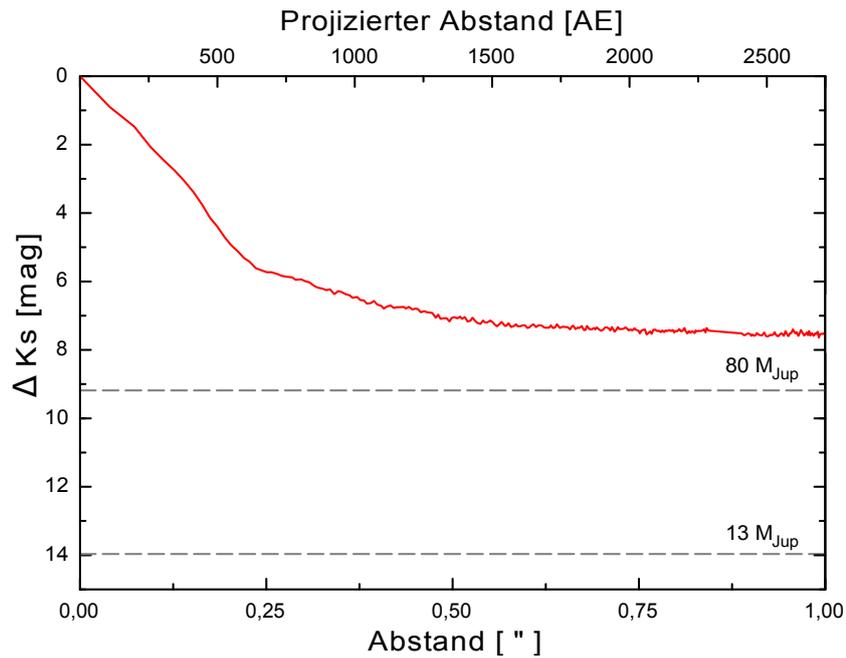


ABBILDUNG D.4: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K_s -Band für die Aufnahme von J221323.7+493534.0. Die Abstände bzw. der Helligkeitsunterschied sind in Bezug zu J221323.7+493534.0:1 dargestellt. Analog zu Abbildung D.2.

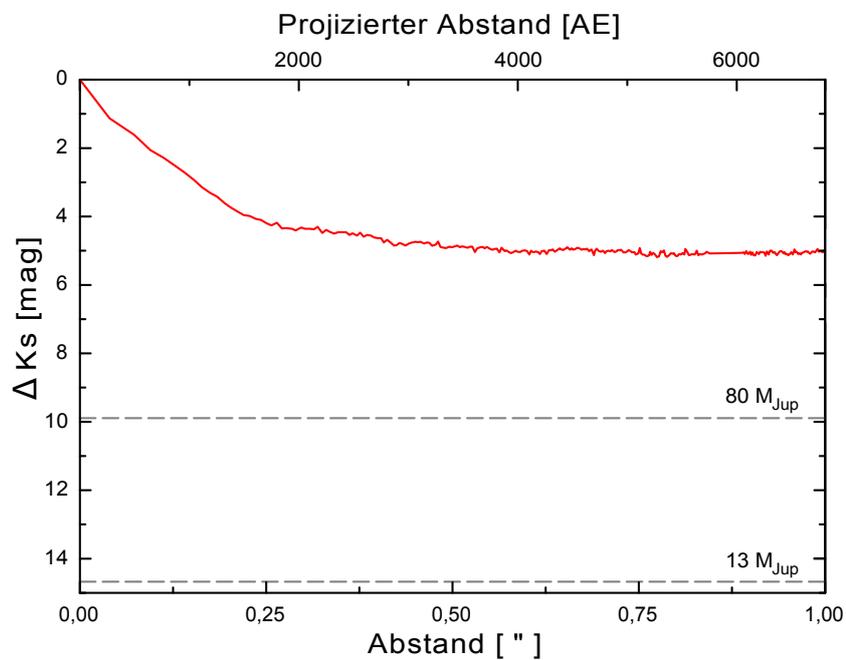


ABBILDUNG D.5: Detektionsgrenze ($S/N = 3$) im K_s -Band für die Aufnahme von J221711.5+494200.1. Analog zu Abbildung D.2.

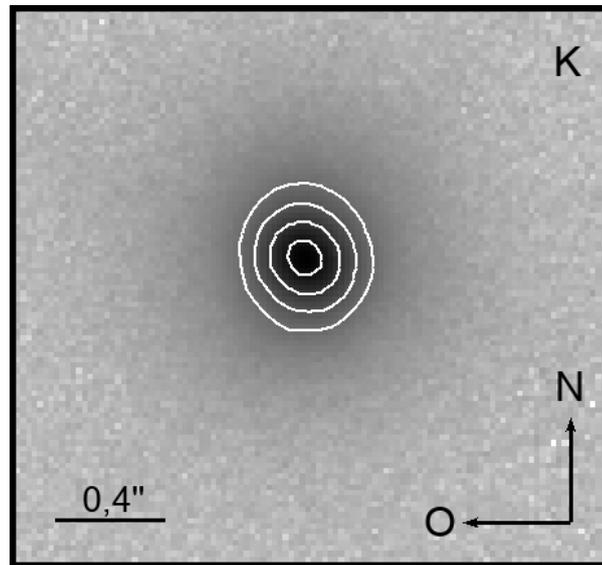


ABBILDUNG D.6: Detailansicht der IRCS-Aufnahme von J221550.7+495610.6. Die Konturlinien, welche Bereiche gleicher Helligkeit kennzeichnen, sind als weiße Linien illustriert.

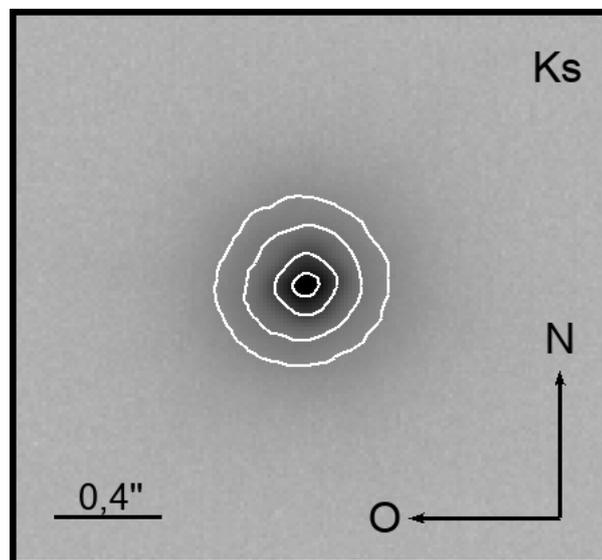


ABBILDUNG D.7: Detailansicht der IRCS-Aufnahme von J221323.7+493534.0. Analog zu Abbildung D.6.

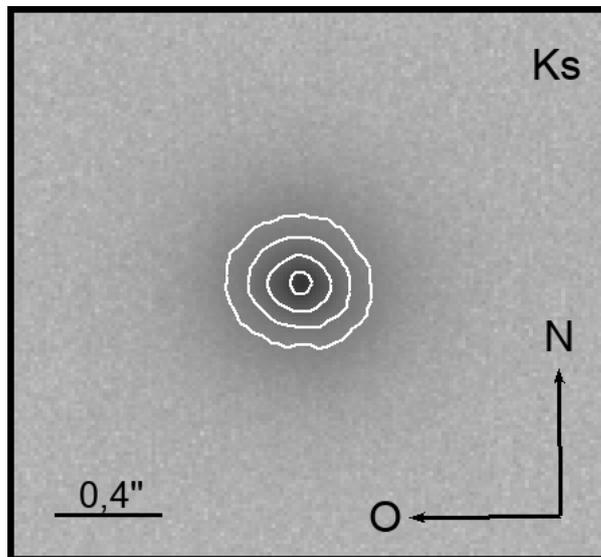


ABBILDUNG D.8: Detailansicht der IRCS-Aufnahme von J221711.5+494200.1. Analog zu Abbildung D.6.

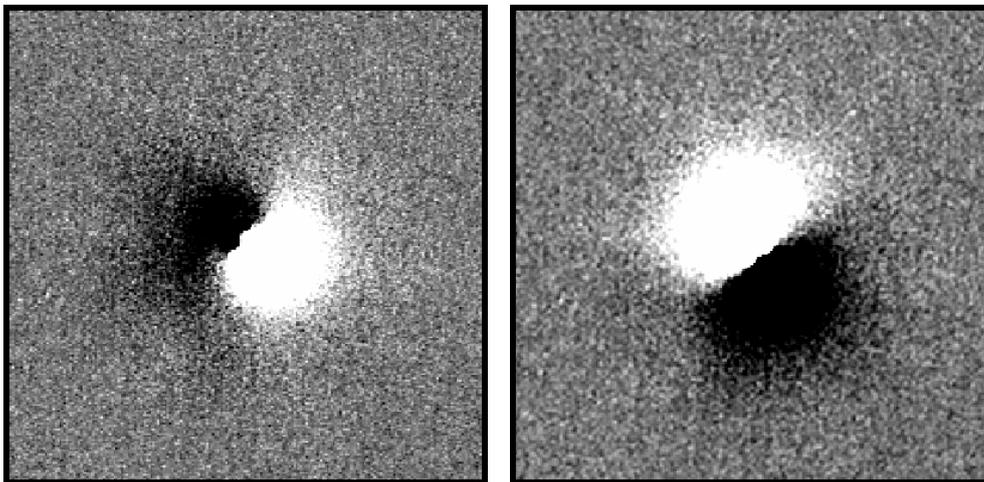


ABBILDUNG D.9: PSF-subtrahierte Hochkontrastbeobachtungen von NGC 7243 JFA 1310 mit LUCI1 und AO im K_s -Band. Es wurde jeweils mittels roll-subtraction technique eine Komponente der beiden überblendeten Sterne entfernt.

Anhang E

Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips

Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips

R. Bischoff,¹★ St. Raetz,² M. Fernández,³ M. Mugrauer,¹ R. Neuhäuser,¹ P. C. Huang,⁴ W. P. Chen,^{4,5} A. Sota,³ J. Jiménez Ortega,³ V. V. Hambaryan,^{1,6} P. Zieliński,^{7,8} M. Drózdź,⁹ W. Ogłóza,⁹ W. Stenglein,¹ E. Hohmann¹ and K.-U. Michel¹

¹*Astrophysical Institute and University Observatory, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Schillergäßchen 2, D-07745 Jena, Germany*

²*Institute for Astronomy and Astrophysics Tübingen, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Sand 1, D-72076 Tübingen, Germany*

³*Instituto de Astrofísica de Andalucía, CSIC, Apartado 3004, E-18080 Granada, Spain*

⁴*Graduate Institute of Astronomy, National Central University, 300 Zhongda Road, Zhongli, Taoyuan 32001, Taiwan*

⁵*Department of Physics, National Central University, 300 Zhongda Road, Zhongli, Taoyuan 32001, Taiwan*

⁶*Byurakan Astrophysical Observatory, Byurakan 0213, Aragatzotn, Armenia*

⁷*Institute of Astronomy, Faculty of Physics, Astronomy and Informatics, Nicolaus Copernicus University in Toruń, ul. Grudziądzka 5, PL-87-100 Toruń, Poland*

⁸*Astronomical Observatory, University of Warsaw, Al. Ujazdowskie 4, PL-00-478 Warszawa, Poland*

⁹*Mt. Suhora Observatory, Pedagogical University, ul. Podchorążych 2, PL-30-084 Krakow, Poland*

Accepted 2022 January 27. Received 2022 January 13; in original form 2021 November 12

ABSTRACT

The T Tauri star CVSO 30, also known as PTFO 8-8695, was studied intensively with ground-based telescopes as well as with satellites over the last decade. It showed a variable light curve with additional repeating planetary transit-like dips every ~ 10.8 h. However, these dimming events changed in depth and duration since their discovery and from autumn 2018 on, they were not even present or near the predicted observing times. As reason for the detected dips and their changes within the complex light curve, e.g. a disintegrating planet, a circumstellar dust clump, stellar spots, possible multiplicity, and orbiting clouds at a Keplerian co-rotating radius were discussed and are still under debate. In this paper, we present additional optical monitoring of CVSO 30 with the meter class telescopes of the Young Exoplanet Transit Initiative in Asia and Europe over the last 7 yr and characterize CVSO 30 with the new Early Data Release 3 of the European Space Agency-*Gaia* mission. As a result, we describe the evolution of the dimming events in the optical wavelength range since 2014 and present explanatory approaches for the observed variabilities. We conclude that orbiting clouds of gas at a Keplerian co-rotating radius are the most promising scenario to explain most changes in CVSO 30's light curve.

Key words: stars: individual: CVSO 30 – stars: variables: T Tauri – techniques: photometric.

1 INTRODUCTION

While most exoplanets are Gyr old, including in particular transiting planets, it would be best to study planet formation and early evolution with young planets (age < 100 Myr). Therefore, the Young Exoplanet Transit Initiative (YETI; Neuhäuser et al. 2011) searched for planet candidates in young open stellar clusters. One of our first targets was the 25 Ori cluster, which was observed within the YETI network since 2010. As a result, we could confirm the detection of a transit-like signal within the light curve of CVSO 30, which was first found by van Eyken et al. (2012). Schmidt et al. (2016) discovered an additional wide companion planet candidate via direct imaging. CVSO 30, which is also known as PTFO 8-8695, is a weak-line T Tauri star with spectral type M3 (Briceño et al. 2005), which showed initially brightness dips of ~ 35 mmag every ~ 10.8 h lasting about 100 min. However, shape, depth, and duration of these dips changed significantly over time as reported by van Eyken et al. (2012) and Raetz et al. (2016). Furthermore, the dimming events can show either

no wavelength dependence (Raetz et al. 2016) or, in other epochs, depths that decrease at larger wavelengths (Yu et al. 2015; Onitsuka et al. 2017; Tanimoto et al. 2020). On the one hand, CVSO 30 seems to show no dimming at some epochs (Koen 2015) and on the other hand, multiple dips per period were detected. Tanimoto et al. (2020) monitored CVSO 30 intensively in the *I*-band and in *JHK_s*-filters between 2014 and 2018. They found that CVSO 30 showed three different fading events, namely, 'dip-A', 'dip-B', and 'dip-C'. The dip-A appeared 0.1 earlier in phase compared to the dimming reported in van Eyken et al. (2012), which they called 'dip-B'. Another 'dip-C' was discovered in November 2018, 0.5 later in phase. As diverse as the detected changes in CVSO 30's light curve were also the attempts to explain their origin during the last decade. van Eyken et al. (2012) argued that the signal was caused by a Jovian planet based on radial velocity (RV) measurements and adaptive optics imaging, where no significant RV variation or background source could be detected. In order to explain the changing depth, duration as well as the disappearance and reappearance of the transit-like signal, Barnes et al. (2013) proposed a misalignment between the rotational axis of the star and the orbital plane of a precessing planet. This hypothesis agrees with Ciardi et al. (2015), but the model

* E-mail: richard.bischoff@uni-jena.de

Table 1. Observatories and instruments of the YETI network, which took part in the follow-up observations.

Observatory	Abbrev.	Long. (E) (deg)	Lat. (N) (deg)	Altitude (m)	Mirror \varnothing (m)	CCD	# Pixel	field of view (FoV) (arcmin)
Lulin/Taiwan	LOT	120.5	23.3	2862	1.0	Apogee U42 ^a	2048 x 2048	11.0 x 11.0
Suhora/Poland	Suhora	20.1	49.6	1009	0.6	Apogee Aspen CG47 ^b	1024 x 1024	20.0 x 20.0
Jena/Germany	GSH	11.5	50.9	367	0.9 ^c	E2V CCD42-40 ^d	2048 x 2048	52.8 x 52.8
Tübingen/Germany	IAAT	9.1	48.5	400	0.8	SBIG ST-L-1001E ^e	1024 x 1024	13.6 x 13.6
Sierra Nevada/Spain	OSN	- 3.4	37.1	2896	1.5	VersArray:2048B ^f	2048 x 2048	7.9 x 7.9
Tenerife/Spain	OGS	- 16.5	28.3	2393	1.0	EEV 42-40 ^g	4 x [2048 x 2048]	42.5 x 42.5

Notes. ^aHuang et al. (2019). ^bSiwak et al. (2019). ^c0.6 m in Schmidt mode. ^dMugrauer & Berthold (2010).

^e<http://astro.uni-tuebingen.de/about/teleskop/telkam.shtml>. ^fOrtiz et al. (2006).

^g<http://research.iac.es/OOCC/iac-managed-telescopes/ogs/>.

needed further fine tuning to fit their photometric and spectroscopic data. In contrast to this, the planetary scenario is considered unlikely by Yu et al. (2015), because the target does not show the Rossiter–McLaughlin effect (RME) or changes in its RV between 2011 and 2013. Also star spots are usually visible for half a rotational period and this contradicts the short duration of the observed fading events. Even if multiple stellar spots were considered, this scenario could reproduce the signal, but it is based on assuming a complex, and stable pattern (Yu et al. 2015). Tanimoto et al. (2020) suggest the idea that the original fading event in van Eyken et al. (2012) consists of a periodically combined dust cloud and a precessing planet, which split up in 2014 to explain the detection of multiple dips per period near the predicted observing times. Additionally, the newly found dip-C could be the result of an accretion hotspot or a dust cloud. Recent publications of Bouma et al. (2020) and Koen (2020) showed that the light curve from the Transiting Exoplanet Survey Satellite (*TESS*; Ricker et al. 2015) contains two different periods (11.98 and 10.76 h) and that CVSO 30 can be a binary star with no planetary companion. Bouma et al. (2020) presented also several other possible explanations, which need to be considered further. Koen (2021) combined the binary scenario with star-spot models to explain the variability of CVSO 30 based on *TESS* measurements in one passband. However, a filling factor of roughly 0.5 seems by far too large for normal spots and would have been probably detected in previous high-resolution, high signal-to-noise spectra, as e.g. in the case of the weak-line T Tauri star P1724 in Neuhauser et al. (1997).

In this paper, we describe our observations in the optical wavelength range in Section 2. In Section 3, we explain the data reduction and the routine for photometric measurements. The following Section 4 presents our light-curve analysis. We test scenarios for the cause of CVSO 30’s variability in Section 5. Our results are discussed and we give a conclusion in the final section of this paper.

2 OBSERVATIONS

In contrast to the original YETI campaigns, where the 25 Ori cluster was continuously monitored for 7–12 subsequent nights within multiple runs in several years, we focused this time completely on the predicted time slots of the dimming event, according to ephemeris presented in Raetz et al. (2016). An overview of the involved observatories and instrumentation, which participated within our YETI follow-up observations of CVSO 30 since autumn 2014, is given in Table 1. Each monitoring includes typically about 1 h of observation time before and after the start/end of the predicted dimming event. The observations were usually carried out in the *R*-band filter with individual image integration times up to a few minutes, as listed in the observation log in Table 2, for sufficient

Table 2. Observation log. Summary of all follow-up observations of CVSO 30 within the YETI network since 2014. For each epoch, we list the associated observing date (start of observations), site, used filter, number of exposures (N_{exp}), and individual detector integration time (DIT) of each frame.

Date	Observatory	Filter	N_{exp}	DIT (s)
2014 Oct 23	OSN	R	172	90
2014 Oct 28	OSN	R	165	90
2014 Nov 2	GSH	R	66	180
2014 Nov 6	OSN	R	145	100
2014 Nov 19	OSN	R	62	90
2014 Dec 11	OSN	R	125	100
2015 Feb 11	GSH	R	74	180
2015 Nov 14	OGS	R	60	210
2015 Nov 19	OGS	Clear	103	135
2015 Nov 23	OSN	R	76	180
2016 Feb 2	OSN	R	100	180
2016 Oct 26	OSN	R	30	180
2017 Jan 5	OSN	R	69	240
2017 Jan 14	OSN	R	13	240
2017 Jan 23	OSN	R	86	180
2017 Oct 27	OSN	R	70	200
2017 Nov 13	OSN	R	84	200
2017 Nov 22	OSN	R	67	200
2017 Nov 22	GSH	R	106	120
2018 Jan 23	OSN	R	123	200
2018 Feb 14	IAAT	Clear	124	120
2018 Oct 14	GSH	R	47	210
2018 Oct 31	Suhora	V, I	80, 80	120, 60
2018 Nov 8	LOT	R	60	120
2018 Nov 9	GSH	R	32	300
2018 Nov 14	GSH	R	50	210
2018 Dec 1	OSN	R	85	180
2018 Dec 4	LOT	R	136	120
2018 Dec 9	LOT	R	47	120
2018 Dec 13	LOT	R	80	120
2018 Dec 17	LOT	R	137	120
2018 Dec 18	LOT	R	137	120
2018 Dec 26	LOT	R	37	120
2018 Dec 27	LOT	R	137	120
2019 Oct 31	GSH	R	65	180
2019 Nov 9	GSH	R	52	180
2019 Dec 5	GSH	R	78	180
2020 Jan 15	GSH	R	53	180
2020 Jan 23	GSH	R	60	180
2020 Feb 7	GSH	R	38	180
2020 Oct 20	GSH	R	62	180
2020 Nov 23	GSH	R	77	180
2020 Nov 25	GSH	R	63	180
2021 Jan 11	OSN	R	66	200
2021 Jan 15	OSN	R	79	200
2021 Jan 29	OSN	R	139	90
2021 Feb 2	OSN	R	82	200

photometric precision and time resolution.

After receiving message from T. O. B. Schmidt (private communication) in summer 2019, who reported a phase shifted dimming within the *TESS* light curve of CVSO 30, we extended our monitoring also to these additional time slots. Tanimoto et al. (2020) had found this signal independently within their data in November 2018.

Our photometric follow-up observations of CVSO 30 have a total integration time of about 164.4 h spanning over the range of time between 2014 October and 2021 February.

3 DATA REDUCTION AND PHOTOMETRY

The data were processed with standard image-reduction routines based on IRAF¹ (Tody 1993), which include bias, dark, and flat-field correction.

With our routine, we can perform photometry on all stars within the field of view simultaneously. Therefore, we create a list of pixel coordinates for all detectable light sources with SOURCE EXTRACTOR (SEXTRACTOR; Bertin & Arnouts 1996). This list was then used as a reference to remove tracking offsets between the individual images, which was also carried out with SEXTRACTOR. We determined the optimal aperture size with IRAF for each night separately, by using 15 different apertures, ranging from one up to two average full width at half-maximum (FWHM) of point sources, detected in the individual observing nights. The standard deviations of the instrumental magnitude differences, of a subset of the brightest, non-variable stars, were then calculated for all 15 apertures, and we chose as optimal aperture the one, with the smallest sum of standard deviations. The optimized aperture was then utilized for aperture photometry on all stars within the field of view.

At next, we performed differential photometry with the program PHOTOMETRY from Broeg, Fernández & Neuhäuser (2005), which creates an artificial comparison star. This artificial star includes information of all detected stars, but they are weighted depending on their stability during the observation. Variable stars have typically a higher standard deviations during the processed time series and therefore, they are weighted lower than stable stars. For more details on the used photometry routine, see Errmann et al. (2014) or Errmann (2016).

Finally, we get a list for each star within the field of view, which includes the heliocentric Julian date (HJD), the determined relative magnitude, and its uncertainty.

4 LIGHT CURVE ANALYSIS

The unprocessed light curves are shown in Appendix A. Since CVSO 30 is a T Tauri star, its light curve is impacted by stellar variability which had to be considered and characterized before further investigation. We treated every light curve individually and detrended them by fitting polynomials of the third order to the out-of-event measurements. This was done for the listed nights in Table A1, which exhibit sufficient out-of-event observing time. The nights without significant fading events were not included in Table A1, but they are presented in Figs A1–A7. The detrended (if applicable) and also the original photometric measurements of all light curves are provided as online supplementary material.

¹IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatories, which are operated by the Association of Universities for Research and Astronomy, Inc., under cooperative agreement with the National Science Foundation.

Table 3. Properties of the detected flare-like events during our monitoring campaign.

Date	Observatory	Maximal flux increase (per cent)
2018 Jan 23	OSN	10.1 ± 0.8
2018 Nov 14	GSH	4.7 ± 1.0
2018 Dec 27	LOT	3.5 ± 0.5

Table 4. Physical parameters of the CVSO 30.

Parameter	Value	Ref.
RA (J2000; h : m : s)	05 : 25 : 07.6	1
Dec (J2000; deg : m : s)	+01 : 34 : 24.5	1
Mass M (M_{\odot})	0.502 ± 0.038	2
Radius R (R_{\odot})	1.69 ± 0.16	This work
Effective temperature T_{eff} (K)	3448 ⁺⁴³ ₋₁₂	2
Surface gravity $\log(g)$ (dex)	3.84 ^{+0.02} _{-0.04}	2
Metallicity [Fe/H] (dex)	0.500 ± 0.001	2
Distance d (pc)	334 ⁺⁴ ₋₃	3
Age (Myr)	8.5 ± 1.2	4
Apparent brightness m_G (mag)	15.101 ± 0.003	5
Extinction A_G (mag)	0.195 ± 0.049	This work
Absolute brightness M_G (mag)	7.286 ^{+0.075} _{-0.078}	This work

Note. 1: Briceño et al. (2005); 2: Queiroz et al. (2020); 3: Bailer-Jones et al. (2021); 4: Kounkel et al. (2018); 5: Gaia Collaboration (2021).

Furthermore, we found within our light curves three flare-like events. Their flux increase was determined by fitting third order polynomials to the unprocessed photometric measurements outside the flare-like event and then comparing the expected flux, given by the polynomial, to the corresponding actual measurement during the flare. The associated results are given in Table 3.

4.1 Transit fitting

The detrended light curves of CVSO 30 were further analysed using the ‘Exoplanet Transit Database’ (ETD; Brát et al. 2010; Poddaný, Brát & Pejcha 2010).

ETD is an on-line portal, which can be utilized to fit synthetic transit light curves to observational data. The website determines mid-time, duration, and depth of the fading event by using non-linear least-squares algorithm and also removing systematic trends by a second-order polynomial (Brát et al. 2010). As input parameter, a first estimation of the mid-transit time and transit duration are needed together with the radii ratio of host star and companion, as well as the impact parameter and the linear limb-darkening coefficient. These variables were obtained from stellar mass, radius, and orbital period, as listed in Table 4. The linear limb-darkening coefficient for the *R*-band filter ($u = 0.717 \pm 0.033$) is estimated, based on the given effective temperature and surface gravity, from the work of Claret & Bloemen (2011).

The radius of CVSO 30 was determined by calculating its bolometric magnitude

$$M_{\text{bol}} = M_G + BC_G, \quad (1)$$

where M_G is the absolute brightness in the *G*-band (see Section 5.2 for details) and BC_G the corresponding bolometric correction. We derived $BC_G = (-1.445 \pm 0.072)$ mag from the website of ‘MESA Isochrones & Stellar Tracks’,² (Choi et al. 2016) taking into account

²http://waps.cfa.harvard.edu/MIST/model_grids.html

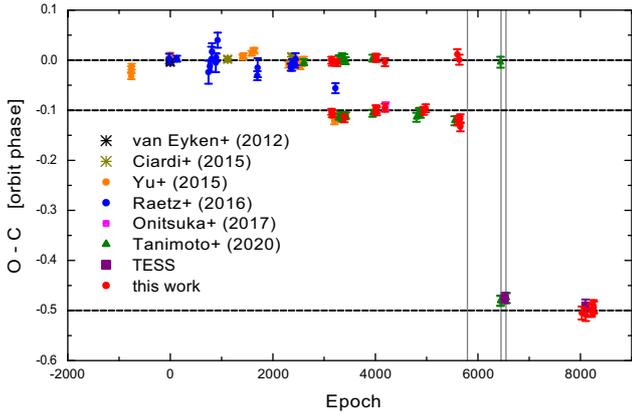


Figure 1. The O–C diagram of CVSO 30. Only complete fading events from Raetz et al. (2016) are plotted. The epochs with detected flare-like events are illustrated as grey vertical lines.

CVSO 30’s effective temperature, extinction, metallicity, and surface gravity (values in Table 4). At next, we used

$$M_{\text{bol}} = M_{\text{bol},\odot} - 2.5 \log \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right) \quad (2)$$

to calculate CVSO 30’s luminosity (using $M_{\text{bol},\odot} = 4.74$ mag from Prša et al. 2016) and via

$$R \approx \left(\frac{L}{L_{\odot}} \right)^{0.5} \cdot \left(\frac{T_{\text{eff},\odot}}{T_{\text{eff}}} \right)^2 \cdot R_{\odot} \quad (3)$$

its radius. The optimal light curve parameters are found with ETD by iterating the input parameter until the output parameters are consistent with each other, within their one sigma uncertainties, in five consecutive fitting attempts. ETD needs as input parameters the limb-darkening, the impact factor, the radii ratio of the planet candidate and the star, as well as a specification of the expected transit centre time and duration. The best-fitting parameters for all detected dimming events are listed in Table A1. We use the designation of Tanimoto et al. (2020) to distinguish the three phase-shifted fading events of CVSO 30. The transit centre times of the detected dimming events were converted from HJD_{UTC} into BJD_{TDB} with the online converter,³ based on Eastman, Siverd & Gaudi (2010).

4.2 Investigation of the three phase-shifted dimming events

We found three different dimming events within our observations, which we call dip-A, dip-B, and dip-C based on the work of Tanimoto et al. (2020). Furthermore, their ephemeris

$$T_0[\text{BJD}_{\text{TDB}}] = 2455543.943 \pm 0.002, \quad (4)$$

$$P[\text{d}] = 0.4483993 \pm 0.0000006,$$

work excellent to predict the occurrence of dip-B within our data, as shown in Appendix A and also to characterize the temporal occurrence of dip-A and dip-C. We show the ‘observed minus calculated’ (O–C) diagram in Fig. 1 for our detected fading events together with data from van Eyken et al. (2012), Ciardi et al. (2015), Yu et al. (2015), Raetz et al. (2016), Onitsuka et al. (2017), Tanimoto et al. (2020), and TESS, spanning over a decade of observations. Each dip considered separately shows no significant phase shift within its 3σ uncertainties. Therefore, further updates on their ephemeris are

³<https://astrutils.astronomy.osu.edu/time/hjd2bjd.html>

not necessary. The detrended and phase-folded light curves with the best-fitting models are shown in Figs 2 and 3.

As expected, dip-B occurs on average at phase 0.002 ± 0.005 for our observations, using its ephemeris, given in equation (4). Dip-A was visible at an average orbit phase of -0.108 ± 0.012 and dip-C at -0.500 ± 0.007 during our monitoring campaign, in comparison to dip-B. We have found flare-like events within CVSO 30’s light curve and their temporal appearances are indicated as grey vertical lines in Fig. 1. The strongest flare-like event took place after the last significant detection of dip-A and dip-B, and before the first appearance of dip-C. The chronological development of the depths and durations for the three different dimming events are shown in Fig. 4. The average depth of dip-A $\Delta m_A = (19.4 \pm 4.5)$ mmag indicates that dip-A has a comparable depth to dip-B with $\Delta m_B = (13.1 \pm 6.6)$ mmag over the whole monitoring campaign. However, dip-B seems to be significantly deeper in season 2015/2016 with $\Delta m_{B15/16} = (19.4 \pm 4.6)$ mmag in comparison to the detections in all other seasons $\Delta m_{B \text{ other}} = (8.1 \pm 0.8)$ mmag. Both, dip-A and dip-B, were not observable anymore since autumn 2017, as illustrated in Figs A5–A7. This contradicts the report in Tanimoto et al. (2020), namely that they have detected dip-B on 18 November 9. This mentioned detection is also consistent with noise. Dip-C has an average depth of $\Delta m_C = (30.3 \pm 6.9)$ mmag.

During our follow-up observations dip-A shows an average duration of $T_{14A} = (66.6 \pm 21.5)$ min, while dip-B and dip-C last on average $T_{14B} = (60.2 \pm 24.8)$ min and $T_{14C} = (127.3 \pm 19.6)$ min.

5 EXPLANATORY APPROACHES FOR THE OBSERVED VARIABILITIES

5.1 Comparison with Tanimoto et al. (2020)

In this subsection, we are following the explanation approaches of Tanimoto et al. (2020), who give four possible explanations for the dimming events, namely (i) a cool star-spot, (ii) an accretion hotspot, (iii) a Jovian planet, and (iv) a circumstellar dust clump and test them in the context of their photometric measurements in the near-infrared. We will investigate all these scenarios for the individual dimming events, which were not ruled out already by Tanimoto et al. (2020), based on our observations.

A circumstellar dust clump, consisting of an opaque core and an optically thin dust halo, was the only remaining cause for dip-A which was not falsified. The observed fading of the flux $\delta_{\text{obs}}(\lambda)$ at a particular wavelength is described by

$$\delta_{\text{obs}}(\lambda) = f_{\text{core}} + f_{\text{halo}} \tau_V \left[a(\lambda^{-1}) + \frac{b(\lambda^{-1})}{R_V} \right], \quad (5)$$

with the filling factor of the core f_{core} and the dust halo f_{halo} . The depth in the V-band is given by τ_V , and $a(\lambda^{-1})$ and $b(\lambda^{-1})$ are wavelength-dependent coefficients, as defined by Cardelli, Clayton & Mathis (1989). The ratio

$$R_V = \frac{A_V}{E(B-V)},$$

was determined by Tanimoto et al. (2020) to be $R_V = 5.3$ for dip-A in both, season 2014 and 2016, based on its wavelength dependence. The corresponding best-fitting values for season 2014 are $f_{\text{core}} = 0.01$, $f_{\text{halo}} \tau_V = 0.014$ and for season 2016 $f_{\text{core}} = 0.005$, $f_{\text{halo}} \tau_V = 0.0135$. Given these constraints from Tanimoto et al. (2020), we found that the typical R-band depths of dip-A for the corresponding seasons, namely $\delta_{\text{dip-A}} = 0.020 \pm 0.005$ and $\delta_{\text{dip-A}} = 0.016 \pm 0.009$, from

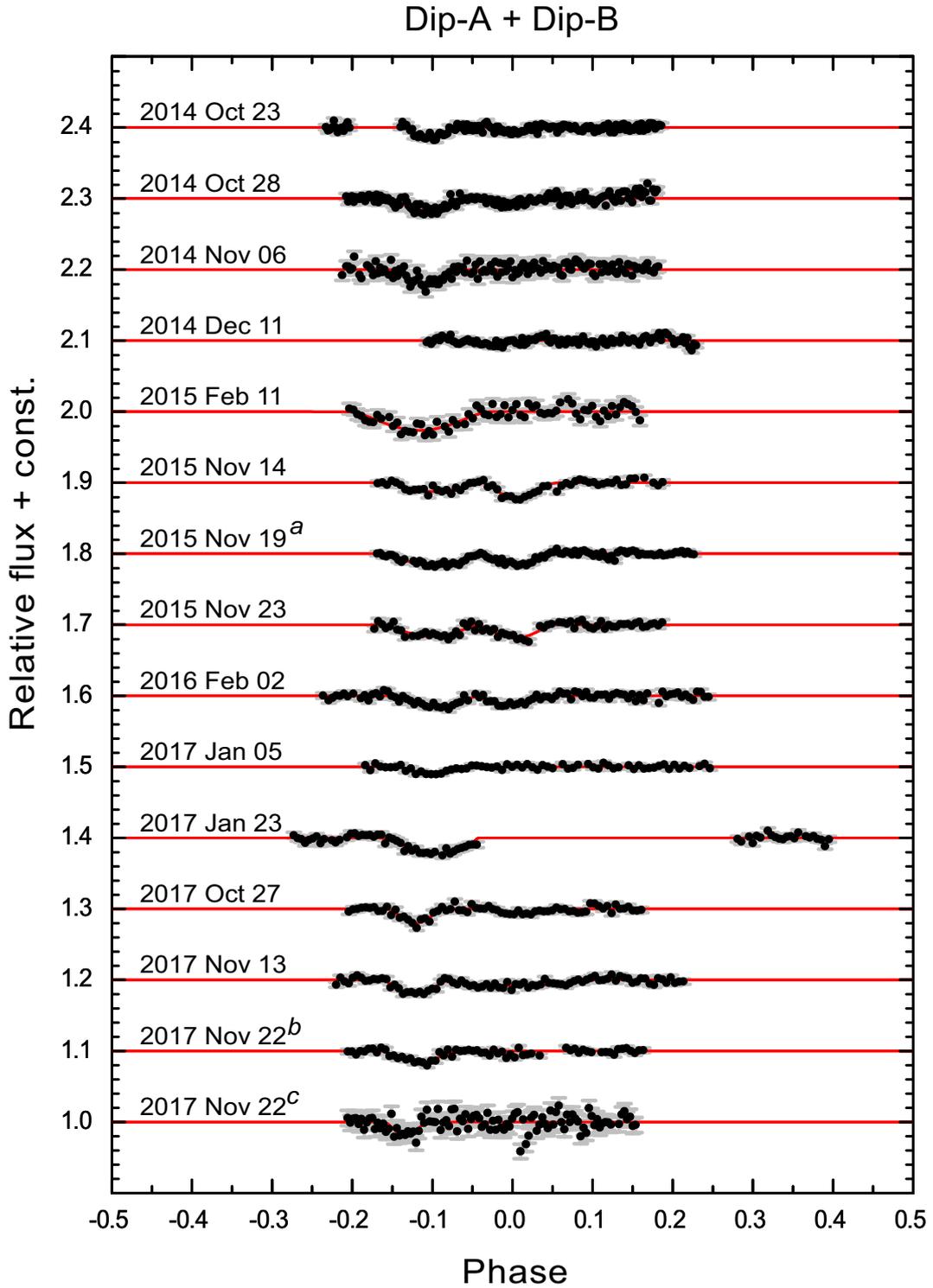


Figure 2. Detrended and phase-folded *R*-band light curves of dip-A and dip-B according to the ephemeris in equation (4). ^a clear filter, ^b OSN, and ^c GSH.

our measurements fulfil equation (5) within their 1σ uncertainties. Hence, we cannot rule out this scenario for dip-A.

A precessing Jovian planet and a dust clump were the remaining explanations for dip-B. However, the planet hypothesis faces some difficulties, namely the proposed changing inclination with a period of ~ 1411 d is based on the proclaimed detection of dip-B on 2018 November 9, which we cannot confirm with our observations of

season 2018/2019 in Fig. A5. We stress that the presumable planet was never confirmed by RV detections, but a planet scenario was just consistent with RV non-detections. Furthermore, dip-B seems to be in 2015/2016 typically twice as deep in comparison to other seasons from our follow-up observations. This feature makes a precessing planet even more questionable. Testing the dust-clump hypothesis with the derived $R_V = 5.3$, $f_{\text{core}} = 0.003$, and $f_{\text{halo}}\tau_V = 0.0027$ from

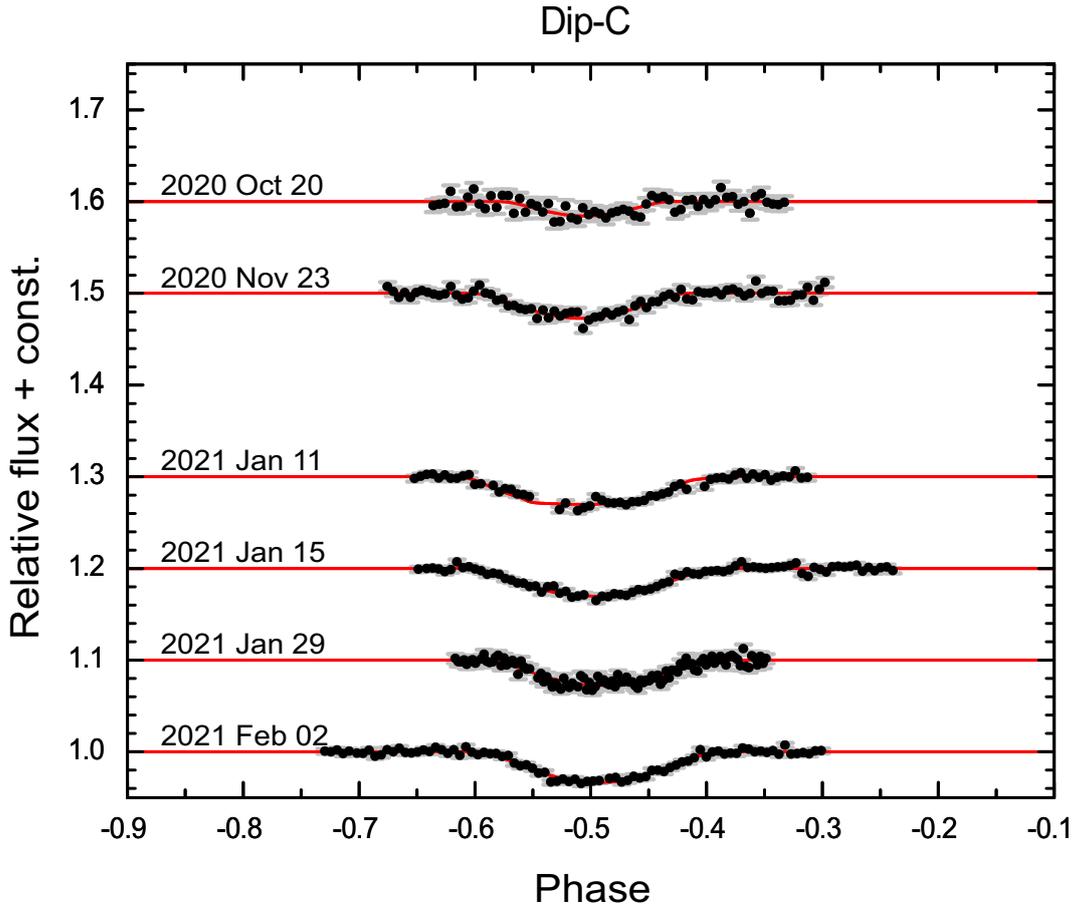


Figure 3. Detrended and phase-folded *R*-band light curves of dip-C according to the ephemeris in equation (4).

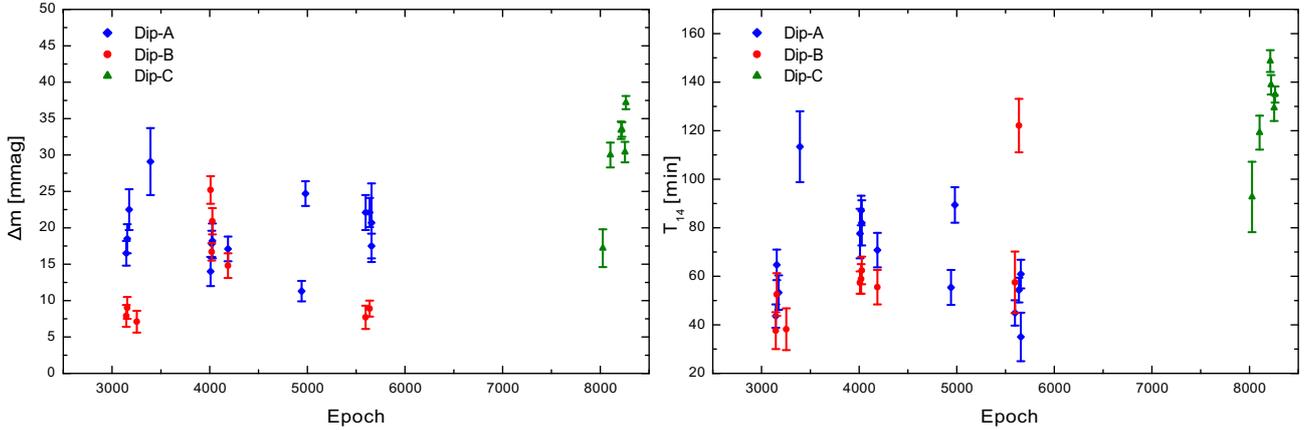


Figure 4. Chronological development of the depths (left-hand panel) and durations (right-hand panel) for the phase-shifted fading events of CVSO 30 as measured within our follow-up observations in the *R*-band.

Tanimoto et al. (2020), shows that these values fit with our observed depths of $\delta_{\text{dip-B}} = 0.007 \pm 0.001$ and $\delta_{\text{dip-B}} = 0.008 \pm 0.001$ for season 2014/2015 and 2017/2018, respectively within 2σ . However, they are slightly outside the 3σ interval for the average depth $\delta_{\text{dip-B}} = 0.018 \pm 0.004$ in season 2015/2016 in the *R* band.

Dip-C is considered to be either an accretion hotspot or also a circumstellar dust clump. The rotational axis of the star has to be inclined for the hotspot scenario, so that the accreting hotspot, which

is brighter than the typical surface area of CVSO 30, is not visible for the observer during the fading event. The flux depth of a fading event at any wavelength, can therefore be described as

$$\delta_{\text{hot}}(\lambda) = \frac{f[B_{\lambda}(T_{\text{hot}}) - B_{\lambda}(T_{\star})]}{(1-f)B_{\lambda}(T_{\star}) + fB_{\lambda}(T_{\text{hot}})}, \quad (6)$$

where f is the filling factor and T_{hot} the temperature of the hotspot (Tanimoto et al. 2020). T_{\star} represents the effective temperature of the

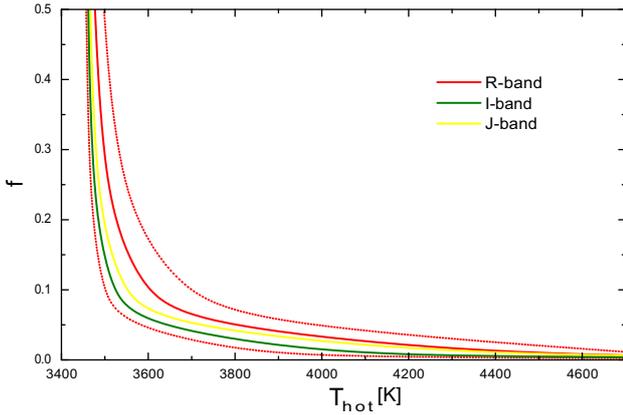


Figure 5. Contour map for dip-C’s recorded depths of the dimming events. We show the possible combinations of filling factor f and temperature T_{hot} for an accretion hotspot in different filters. The red dotted lines are the borders of the 3σ intervals for the R -band.

star and B_λ is the brightness for blackbody radiation at a particular wavelength. We use the variables f and T_{hot} to create the contour map for our observed dimming events of dip-C and those given in Tanimoto et al. (2020). The average depths in all filters are consistent with each other within 3σ uncertainties as illustrated in Fig. 5. On the other hand, the average depth of $\delta_{\text{dip-C}} = 0.028 \pm 0.006$ in the R -band also satisfies the values $R_V = 5.3$, $f_{\text{core}} = 0.0065$, and $f_{\text{halo}} \tau_V = 0.009$ for a possible circumstellar dust clump within 3σ . Hence, we can neither exclude the hotspot nor the dust clump scenario for dip-C based on the R -band photometry.

We have additionally checked if dip-C was detected before 2018 and could be a secondary eclipse of dip-B. The light curves in Raetz et al. (2016) sufficiently cover multiple times the phase of ~ 0.5 between 2011 and 2013. During this span of time no fading event of dip-C was detected and therefore, we can exclude this hypothesis.

5.2 Comparison with cluster members

We used the recently published data from the Early Data Release 3 of the European Space Agency (ESA)-*Gaia* mission (*Gaia* EDR3; Gaia Collaboration 2021) to identify members of the 25 Ori cluster and compare them to CVSO 30. Therefore, we searched around its prominent member, namely the star 25 Ori, within a radius of 61 arcmin for cluster members based on parallax (π) and proper motion (μ). This search radius takes into account the assumption, that stellar clusters have typical radii up to 5 pc (Unsöld & Baschek 2005), which corresponds to ~ 51 arcmin based on the parallax value of 2.9321 mas for the star 25 Ori in *Gaia* EDR3. We added further 10 arcmin to this radius, in order not to miss a potential cluster member.

Thereby only sources with significant detected parallaxes and proper motions ($\frac{\pi}{\sigma(\pi)} \geq 3$, $\frac{\mu}{\sigma(\mu)} \geq 3$) were taken into account. The cluster shows an accumulation at $\pi \sim 2.9$ mas within the cumulative distribution function and a common proper motion of $\mu_{\text{RA}} \sim 1.4$ mas yr $^{-1}$ in right ascension, but no significant movement towards declination $\mu_{\text{Dec}} \sim 0$ mas yr $^{-1}$. We used at next only stars within sufficiently large intervals around these measurements and performed sigma clipping to identify the most probable cluster members. In total, 239 objects were identified which exhibit on average $\pi = (2.8775 \pm 0.0718)$ mas and $\mu_{\text{RA}} = (1.414 \pm 0.241)$ mas yr $^{-1}$, while no significant proper motion in declination ($\mu_{\text{Dec}} = -0.256 \pm 0.580$ mas yr $^{-1}$) is detectable.

Based on the photometry of *Gaia* EDR3, together with distances from Bailer-Jones et al. (2021) and interstellar extinction from the dust maps of Green et al. (2019), we create the colour–magnitude diagram (CMD) of the 25 Ori cluster as illustrated in Fig. 6. The extinction values were converted into the required passbands using the relations of Wang & Chen (2019).

Here, we can confirm the results of Koen (2020) and Bouma et al. (2020) that CVSO 30 is about 0.75 mag brighter than the typical cluster member with comparable colour. This is an indication that CVSO 30 can be a binary consisting of stellar components with comparable brightness. In this case, we have to modify M_G from Table 4 into $\tilde{M}_G = 8.039^{+0.075}_{-0.078}$ mag for a single star and following the above procedure, the resulting radius of one stellar component is $\tilde{R} = 1.19^{+0.10}_{-0.11} R_\odot$.

If CVSO 30 is a binary, we might see it either nearly perpendicular to its orbital plane and/or it is a long periodic one, due to the fact that this object shows no line change in RV (van Eyken et al. 2012; Ciardi et al. 2015; Kounkel et al. 2019). We used high-resolution direct imaging data with adaptive optics of CVSO 30 from the European Southern Observatory (ESO) archive to estimate an upper limit on the possible separation, if CVSO 30 consists of two equally bright stars. The target was observed with Nasmyth Adaptive Optics System (NACO) at ESO’s Very Large Telescope (VLT) on 2012 December 3 in jitter mode, using a jitter width of 4 arcsec, and the data were presented first in Schmidt et al. (2016). According to the ESO ambient conditions data base⁴ the average Differential Image Motion Monitor (DIMM) seeing was 0.67 ± 0.03 arcsec and the average coherence time of the atmospheric fluctuations was 4.5 ± 0.2 ms during the K_s -band observations. The recorded data contain 15 cubes, each consisting of four images with an individual integration time of 15 s. The frames were flat-fielded with internal lamp flats, using the software package ESO ECLIPSE⁵ (Devillard 1997). We show the reached detection limit for the K_s -band image of CVSO 30 in Fig. 7. The point spread function (PSF) of the star does not exhibit significant elongation in any direction, as illustrated in Fig. 8. It exhibits a FWHM of 6.4 ± 0.6 px. Adopting the pixel scale 13.265 ± 0.041 mas px $^{-1}$ from Schmidt et al. (2016), this corresponds to 85 ± 8 mas. The diffraction limit of the 8.2 m VLT in the K_s -band is about 68 mas.

In order to test, at which separation an equally bright companion can be detected, we shifted the fully reduced image pixel by pixel, averaged it with the original frame and fit a two-dimensional Gaussian function with ESO-MIDAS (European Southern Observatory 2013). The artificial PSF becomes clearly elongated for equal bright sources with an angular separation larger 40 mas. This is in good agreement with Mugrauer & Ginski (2015), where they have detected a close binary companion of the exoplanet host star HD 142245 with NACO in the K_s band. That binary shows a clearly elongated PSF and an average separation of about 40 mas of its components.

Therefore, in our case a possible equal bright binary would have to be within a separation of 40 mas in order to have not been detected within the observations of CVSO 30. Based on this separation and a distance of 334^{+4}_{-3} pc (Bailer-Jones et al. 2021), we expect an upper limit of the orbital period of about 50 yr for the CVSO 30 system, assuming a total mass of $1 M_\odot$ (corresponding to two times the mass given in Table 4). Additional observations are necessary to further constrain this upper limit, such as high-resolution follow-

⁴www.archive.eso.org/cms/eso-data/ambient-conditions.html

⁵<https://www.eso.org/sci/software/eclipse/>

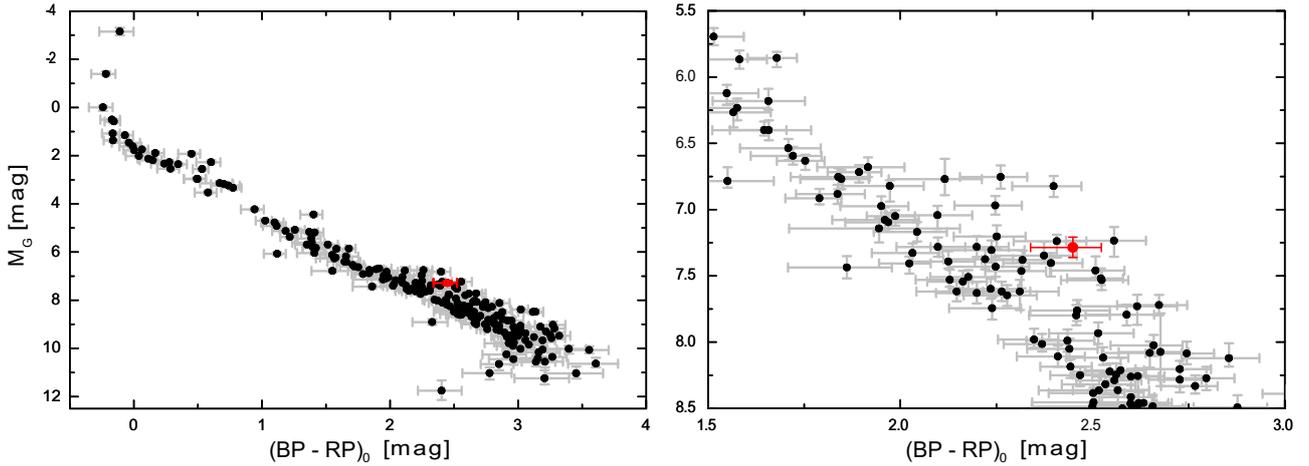


Figure 6. CMD of the 25 Ori cluster with CVSO 30 marked as red dot.

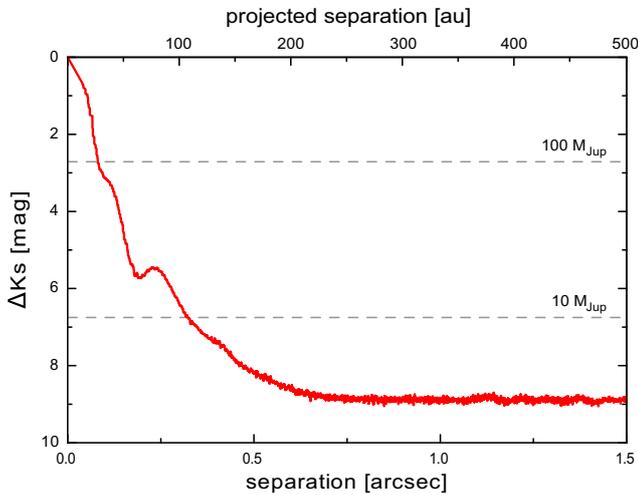


Figure 7. The reached detection limit (signal-to-noise ratio = 3) of the fully reduced NACO K_s -band image of CVSO 30, which is presented in Fig. 8. The dashed horizontal lines show the expected K_s -band magnitude differences for companions with $100 M_{\text{Jup}}$ and $10 M_{\text{Jup}}$ for an 8 Myr old system, according to models from Baraffe et al. (2015).

up spectroscopy or interferometric observations of CVSO 30 in the upcoming decades, as proposed by Koen (2020).

Otherwise, it might be also possible that CVSO 30 is redder (~ 0.25 mag) than the typical cluster member. For a given mass, increasing metallicity shifts the stellar flux from the visual wavelengths range towards the infrared (Bonfils et al. 2005; Mann et al. 2015). Therefore, we searched for information regarding the metallicity of the 25 Ori members. The catalogue of Anders et al. (2019) contains 39 cluster stars, which are located in the CMD within CVSO 30's 3σ uncertainties. These stars have a median metallicity of $[\text{Fe}/\text{H}] = (0.40 \pm 0.15)$ dex, which is consistent with CVSO 30 (see Table 4) within the standard deviation. Therefore, metallicity cannot explain the offset of CVSO 30 within the CMD. If CVSO 30 is actually redder than the other member stars, it needs an additional source, which contributes to the flux in the red wavelengths. This could be an orbiting co-rotating glowing cloud that shows significant $\text{H}\alpha$ emission. We consider the possibility of this scenario in Section 6.

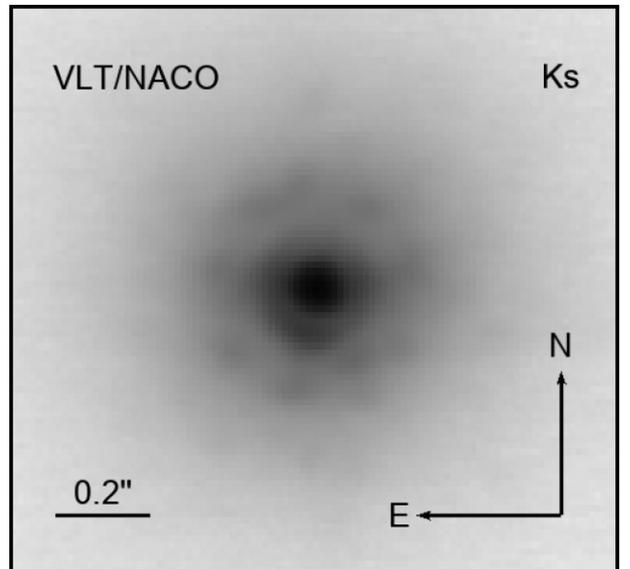


Figure 8. Direct imaging with adaptive optics of CVSO 30.

6 DISCUSSION AND CONCLUSION

In this article, we presented our follow-up photometric observations of the controversial discussed star CVSO 30, which was intensively monitored and analysed during the last decade, but still misses a clear explanation for its periodically dimming events. Our original YETI monitoring campaign of CVSO 30 started in 2010 (Raetz et al. 2016) and this is the continuation, which yields observations since fall 2014 that focused on the predicted time slots of the fading events.

We characterized CVSO 30 with data of the *Gaia* mission and catalogues. Our derived value of $1.69 \pm 0.16 R_{\odot}$ for its radius lies above those given in Briceño et al. (2005) ($1.39 R_{\odot}$) and Koen (2020) ($1.41 R_{\odot}$), but is consistent with them within 2σ . In contrast, our radius does not fit the $0.45 \pm 0.18 R_{\odot}$ from Tanimoto et al. (2020).

The different dimming events, dip-A, dip-B, and dip-C, reported in Tanimoto et al. (2020) can be confirmed with our R -band observations. All three dips seem to have the same period but are phase shifted as illustrated in Fig. 1. Dip-A was detected by us in all nights if the observing window included the phase of -0.1 according to the ephemeris in equation (4), while dip-B, e.g. was not present

on 2017 January 5. Dip-A and dip-B were detected last in 2017 November and since then no more, as presented in the following light curves in Appendix A. That contradicts the detection of dip-B on 2018 November 9 by Tanimoto et al. (2020), because we have recorded the immediately following epoch without any fading event. Dip-A showed sometimes a ‘v’-shaped profile and then in other epochs a ‘u’-profile, as illustrated in Fig. 2. The same also applies to dip-B.

Dip-C was found first by Tanimoto et al. (2020) in autumn 2018. The first successful observation in our data set was in 2020 October. Five further detections followed until 2021 February. All light curves of dip-C yield ‘u’-shape like minima.

For all three dips no clear trend was detectable in depth or duration, taking into account the entire period of the follow-up observations.

A circumstellar dust clump, consisting of an opaque core and an optically thin halo, cannot be excluded as cause for all dimming events based on their depths in the R -band and infrared. The existence of these clumps could be temporally limited and therefore explain the disappearance of dip-A and dip-B. As a result thereof, additional observations of dip-C in upcoming seasons are necessary to investigate whether this dip might vanish too.

However, such a theoretical clump would orbit around CVSO 30 at a distance of $(9.1 \pm 0.2) \times 10^{-3}$ au and have to face temperatures of 2268_{-141}^{+161} K. The expected condition at this location is above the sublimation temperatures for olivine, pyroxene, obsidian, iron, ice, and carbon, which were derived based on Kobayashi et al. (2011). Therefore, the clump will probably consist of gas rather than dust, which could be problematic for the interpretation by Grosse & Johns-Krull (2021). A gas cloud would fit better to a weak-line T Tauri star, because dust would have resulted into an infrared excess. Weak-line T Tauri stars have no or only an optically thin disc. Building on this consideration, the flux dips happen when the glowing cloud orbits behind the star (Jardine & van Ballegooijen 2005; Stauffer et al. 2017). A system with gas arranged in a circumstellar clumpy torus, could result from stellar winds at locations around the star where magnetic and gravitational forces are balanced (Collier Cameron & Robinson 1989; Jardine & van Ballegooijen 2005). In contrast, David et al. (2017) have presented a scenario, where a cloud, containing a minor amount of dust within the gas, around the young M 2.5 dwarf star RIK-210 could cause dimming up to ~ 20 per cent. This star shows variable dimming events with a period of ~ 5.7 d and the co-rotating orbit lies, as a result thereof, outside the sublimation distance. In the case of RIK-210 the dips would occur when the star is eclipsed by a dusty gas cloud.

Our case also involves co-rotating material, but we likely see secondary eclipses of light emitting gas. In this case, co-rotating plasma, which emits in a specific wavelength, causes the dimming events when it orbits behind the star and a reduced flux is measured (Palumbo et al. 2022). This orbiting plasma would also result in changes of the $H\alpha$ emission line profile via RME when it moves in front of the star’s disc as stated by Palumbo et al. (2022). This feature was not observed in the $H\alpha$ measurements by Yu et al. (2015), who have recorded a set of spectra from CVSO 30 on 2013 December 12, which include the time of a photometric fading event. Their observations started/ended about 2 h before/after the minimum light and cover the timespan when the postulated glowing cloud would orbit behind the star. Therefore, a non-detection of the RME is well explainable with this scenario. Further $H\alpha$ observations were presented by Johns-Krull et al. (2016). They have measured significant $H\alpha$ excess emission within the spectra of CVSO 30 that changes its RV. The changing RV fits with the orbital period of the ‘companion’. However, the measured RVs of the excess emission are often shifted in comparison to the predicted velocities (see fig. 9 in

Johns-Krull et al. 2016) based on the ephemeris by van Eyken et al. (2012). Furthermore, the strength of the detected $H\alpha$ excess is too large (about 70 per cent–80 per cent of the stellar equivalent width) to be caused by a single planet and needs an extended additional luminous volume, which surrounds it (Johns-Krull et al. 2016). All these observed features fit well with a co-rotating glowing cloud, which significantly emits flux in the optical R -band. David et al. (2017) stated that those clouds, consisting of partially ionized gas, can cause dimming events up to a few percents when they move behind the star and the cloud’s glowing could be the result of Paschen-continuum bound-free emission. The existence of partially ionized gas which emits in $H\alpha$ is quite possible even at relatively low temperatures such as ~ 2000 K (Rodríguez-Barrera et al. 2015).

Stauffer et al. (2017, 2018, 2021) had analysed a sample of photometric variable mid-to-late type M dwarfs in star-forming regions without signs of active accretion. These targets are rapidly rotating weak-line T Tauri stars with photometric periods shorter than 1 d. Subgroup of this sample are the ‘stars with persistent flux dips’, which additionally show two to four discrete flux dips in their phased light curve, with deepest depths of 2 per cent–7 per cent and durations ranging between 1 and 5 h. Their depths are largely stable but can suddenly disappear or become significantly weaker. Those changes in depth were observed after the detection of flare-like events. Similar fast rotating young M-dwarfs were found by Zhan et al. (2019). We detected some flare-like signals within our observations and they occurred after the last significant detection of dip-A and dip-B as illustrated in Fig. 1. Similar signatures can be found within the presented light curves in Figs 2 and 5 in van Eyken et al. (2012), which contain observations from 2009 December 26, 2010 January 1, 2010 January 7, and 2011 February 9. The scenario of Stauffer et al. (2017, 2018, 2021) has the flexibility to explain the disappearance and reappearance of the dimming events by changes in the geometry of the cloud without relying on active accretion. CVSO 30 shows the same characteristics in its light curve as the stars in Stauffer et al. (2017, 2018, 2021) and is also similar to the detected features in the light curve of TIC 234284556 (Palumbo et al. 2022). Therefore, the dimming events could originate from the currently not well-understood process of gas tori around young M dwarfs. Dip-A, dip-B, and dip-C seem to have the same orbital period, which is why their origin should have also the same distance to the star. This is a further indication for the theory of emitted light from magnetospheric clouds. Furthermore, the measured depth Δm in Table A1 would be the result of a secondary transit and consequently

$$\Delta m = -2.5 \log \left(\frac{F_{\star}}{F_{\star} + F_{\text{cloud}}} \right), \quad (7)$$

where F_{\star} represents the stellar flux and F_{cloud} the flux of the cloud. According to Stefan–Boltzmann law $F_{\star} \equiv R^2 \cdot T_{\text{eff}}^4$ for the single star or $F_{\star} \equiv 2 \cdot \tilde{R}^2 \cdot T_{\text{eff}}^4$ for the binary scenario, respectively.

We consider it well possible that flares due to reconnection of magnetic field lines and plasma tubes also lead to a reconfiguration of spots and groups of spots on the surface, which potentially affect the optical light curve. A strong X-ray flare in CVSO 30’s light curve is reported in Czesla et al. (2019), where they have found no significant transit-induced variation within the expected time slot. That makes an orbiting planet even more questionable. The bell-like shape of the X-ray flare may also be owing to an accretion episode of CVSO 30. That fits with Yu et al. (2015), who came to the conclusion that CVSO 30 may be weakly accreting based on their measured strength and breadth of the $H\alpha$ line profile.

Koen (2021) presents a model, where CVSO 30 is considered to be a binary and the variability is the result of stellar spots. From pure statistics the model can reproduce the detected variations inside

the *TESS* photometry, but the assumed filling factors e.g. $f \gtrsim 0.5$ for norm-2 models are very large and are based only on measurements in one filter. The detected fading events by *TESS* are dip-C according to Fig. 1, for which Tanimoto et al. (2020) had already ruled out the cool star-spot scenario based on their multiband photometry. The two different (apparent rotation) periods within the light curve of CVSO 30 (Bouma et al. 2020; Koen 2020) could also be caused by two spots of different latitudes, if the star (i.e. just one star) rotates differentially. Reinhold, Reiners & Basri (2013) and Reinhold & Gizon (2015) showed that the relative shear $\alpha = (P_{\max} - P_{\min})/P_{\max}$ increases with rotation period, by analysing thousands of stars from the *Kepler* mission (Koch et al. 2010). That fits with the two short-periodic signals of CVSO 30, which are close together in time.

To sum up the results of our monitoring campaign, we confirm the detection by Tanimoto et al. (2020) of three phase-shifted dimming events in the light curve of CVSO 30 with our photometric data between 2014 and 2021. Dip-A and dip-B were detected by us last in autumn 2017 and seem to have been vanished since then, while another dip-C was found after that, shifted in phase at about 180° . A Jovian planet as cause for the dimming events is unlikely, because of the colour effects of the transit depths and their disappearance within relatively short time-scales. We agree with Bouma et al. (2020) that orbiting clouds of gas at a Keplerian co-rotating radius are the most promising scenario to explain most changes in CVSO 30's light curve, because it does not need active accretion from a circumstellar disc and a changing shape of the dimming events can result from changes in the cloud's geometry. However, we consider that also stellar spots and at least some accretion seem to be going on CVSO 30. Nevertheless, further follow-up observations are necessary to find out if more flare-like events occur in the future, right before changes of dip-C can be detected. Furthermore, additional high-resolution spectroscopy and interferometric follow-up observations should be done to test CVSO 30's multiplicity status as proposed by Koen (2020).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is based on observations obtained with telescopes of the University Observatory Jena, operated by the Astrophysical Institute of the Friedrich-Schiller-Universität Jena. We thank B. Baghdasaryan, N. Belko, S. Buder, M. Dadalauri, M. Geymeier, H. Gilbert, A. Gonzalez, F. Hildebrandt, H. Kepler, O. Lux, S. Masda, P. Protte, J. Trautmann, A. Trepanowski, and S. Schlagenhauf, who have been involved in some observations of this project, obtained at the University Observatory Jena.

This research was partly based on data obtained at the 1.5 m telescope of the Sierra Nevada Observatory (Spain), which is operated by the Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) through the Instituto de Astrofísica de Andalucía. We thank J.F. Aceituno and V. Casanova for their help with the observations.

This publication is partly based on observations made with ESO Telescopes at the La Silla Paranal Observatory under programme ID 090.C-0448(A).

RB, RN, and MM acknowledge the support of the DFG priority programme SPP 1992 'Exploring the Diversity of Extrasolar Planets' in projects NE 515/58-1 and MU 2695/27-1.

We acknowledge financial support from the Spanish Agencia Estatal de Investigación of the Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades and the ERDF through projects PID2019-109522GB-C52 and AYA2016-79425-C3-3-P, and the Centre of Excellence 'Severo Ochoa' award to the Instituto de Astrofísica de Andalucía (SEV-2017-0709).

We thank R. Errmann for developing and providing the photometry routine 'AUTOMAT.PY' and also C. Broeg for his program 'PHOTOMETRY'.

This publication makes use of data products of the SIMBAD and VizieR data bases, operated at CDS, Strasbourg, France. We also thank the *Gaia* Data Processing and Analysis Consortium of the ESA for processing and providing the data of the *Gaia* mission. We thank the MAST portal for providing the *TESS* photometric results and the MESA Isochrones & Stellar Tracks website for the bolometric correction tables.

We thank the referee for helpful comments, which improved our manuscript.

DATA AVAILABILITY

The data underlying this article are available in this manuscript. The detrended (if applicable) and also the original photometric measurements of all light curves are provided as online supplementary material.

REFERENCES

- Anders F. et al., 2019, *A&A*, 628, A94
 Bailer-Jones C. A. L., Rybizki J., Foesneau M., Demleitner M., Andrae R., 2021, *AJ*, 161, 147
 Baraffe I., Homeier D., Allard F., Chabrier G., 2015, *A&A*, 577, A42
 Barnes J. W., van Eyken J. C., Jackson B. K., Ciardi D. R., Fortney J. J., 2013, *ApJ*, 774, 53
 Bertin E., Arnouts S., 1996, *A&AS*, 117, 393
 Bonfils X., Delfosse X., Udry S., Santos N. C., Forveille T., Ségransan D., 2005, *A&A*, 442, 635
 Bouma L. G. et al., 2020, *AJ*, 160, 86
 Brát L., Poddaný S., Pejcha O., Zejda M., 2010, in Prša A., Zejda M., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 435, Binaries - Key to Comprehension of the Universe. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 443
 Briceño C., Calvet N., Hernández J., Vivas A. K., Hartmann L., Downes J. J., Berlind P., 2005, *AJ*, 129, 907
 Broeg C., Fernández M., Neuhäuser R., 2005, *Astron. Nachr.*, 326, 134
 Cardelli J. A., Clayton G. C., Mathis J. S., 1989, *ApJ*, 345, 245
 Choi J., et al., 2016, *ApJ*, 823, 102
 Ciardi D. R. et al., 2015, *ApJ*, 809, 42
 Claret A., Bloemen S., 2011, *A&A*, 529, A75
 Collier Cameron A., Robinson R. D., 1989, *MNRAS*, 236, 57
 Czesla S., Schneider P. C., Salz M., Klocová T., Schmidt T. O. B., Schmitt J. H. M. M., 2019, *A&A*, 629, A5
 David T. J. et al., 2017, *ApJ*, 835, 168
 Devillard N., 1997, *The Messenger*, 87, 19
 Eastman J., Siverd R., Gaudi B. S., 2010, *PASP*, 122, 935
 Errmann R. et al., 2014, *Astron. Nachr.*, 335, 345
 Errmann R., 2016, PhD thesis, Univ. Jena
 European Southern Observatory, 2013, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1302.017
 Gaia Collaboration, 2021, *A&A*, 649, A1
 Green G. M., Schlafly E., Zucker C., Speagle J. S., Finkbeiner D., 2019, *ApJ*, 887, 93
 Grosson T. A., Johns-Krull C. M., 2021, *Res. Notes Am. Astron. Soc.*, 5, 264
 Huang P. C. et al., 2019, *ApJ*, 871, 183
 Jardine M., van Ballegooyen A. A., 2005, *MNRAS*, 361, 1173
 Johns-Krull C. M. et al., 2016, *ApJ*, 830, 15
 Kobayashi H., Kimura H., Watanabe S. i., Yamamoto T., Müller S., 2011, *Earth, Planets and Space*, 63, 1067
 Koch D. G. et al., 2010, *ApJ*, 713, L79
 Koen C., 2015, *MNRAS*, 450, 3991
 Koen C., 2020, *MNRAS*, 494, 4349
 Koen C., 2021, *A&A*, 647, L1
 Kounkel M. et al., 2018, *AJ*, 156, 84

Kounkel M. et al., 2019, *AJ*, 157, 196
 Mann A. W., Feiden G. A., Gaidos E., Boyajian T., von Braun K., 2015, *ApJ*, 804, 64
 Mugrauer M., Berthold T., 2010, *Astron. Nachr.*, 331, 449
 Mugrauer M., Ginski C., 2015, *MNRAS*, 450, 3127
 Neuhäuser R. et al., 2011, *Astron. Nachr.*, 332, 547
 Neuhauser R., Torres G., Frink S., Covino E., Alcalá J. M., 1997, *Mem. Soc. Astron. Italiana*, 68, 1061
 Onitsuka M., Fukui A., Narita N., Hirano T., Kusakabe N., Ryu T., Tamura M., 2017, *PASJ*, 69, L2
 Ortiz J. L., Gutiérrez P. J., Santos-Sanz P., Casanova V., Sota A., 2006, *A&A*, 447, 1131
 Palumbo E. K., Montet B. T., Feinstein A. D., Bouma L. G., Hartman J. D., Hillenbrand L. A., Gully-Santiago M. A., Banks K. A., 2022, *ApJ*, 925, 75
 Poddaný S., Brát L., Pejcha O., 2010, *New Astron.*, 15, 297
 Prša A. et al., 2016, *AJ*, 152, 41
 Queiroz A. B. A. et al., 2020, *A&A*, 638, A76
 Rætz S. et al., 2016, *MNRAS*, 460, 2834
 Reinhold T., Gizon L., 2015, *A&A*, 583, A65
 Reinhold T., Reiners A., Basri G., 2013, *A&A*, 560, A4
 Ricker G. R. et al., 2015, *J. Astron. Telesc. Instrum. Syst.*, 1, 014003
 Rodríguez-Barrera M. I., Helling C., Stark C. R., Rice A. M., 2015, *MNRAS*, 454, 3977
 Schmidt T. O. B. et al., 2016, *A&A*, 593, A75
 Siwak M., Drózdź M., Gut K., Winiarski M., Ogłóza W., Stachowski G., 2019, *Acta Astron.*, 69, 227
 Stauffer J. et al., 2017, *AJ*, 153, 152

Stauffer J. et al., 2018, *AJ*, 155, 63
 Stauffer J. et al., 2021, *AJ*, 161, 60
 Tanimoto Y. et al., 2020, *PASJ*, 72, 23
 Tody D., 1993, in Hanisch R. J., Brissenden R. J. V., Barnes J., eds, ASP Conf. Ser. Vol. 52, *Astronomical Data Analysis Software and Systems II*. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p. 173
 Unsöld A., Baschek B., 2005, *Der neue Kosmos. Einführung in die Astronomie und Astrophysik*, 7th edn, Springer-Verlag, Berlin
 van Eyken J. C. et al., 2012, *ApJ*, 755, 42
 Wang S., Chen X., 2019, *ApJ*, 877, 116
 Yu L. et al., 2015, *ApJ*, 812, 48
 Zhan Z. et al., 2019, *ApJ*, 876, 127

SUPPORTING INFORMATION

Supplementary data are available at [MNRAS](https://www.mnras.org) online.

Supplementary_Data.tar.gz

Please note: Oxford University Press is not responsible for the content or functionality of any supporting materials supplied by the authors. Any queries (other than missing material) should be directed to the corresponding author for the article.

APPENDIX A: LIGHT CURVES AND RESULTS OF THE TRANSIT FITTING

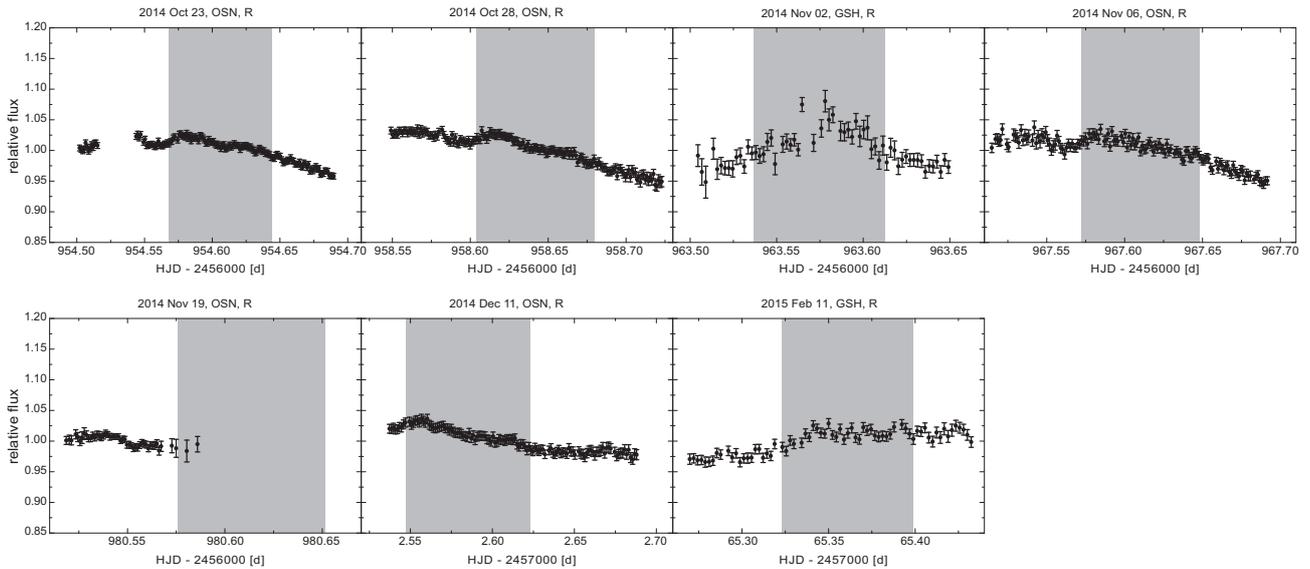


Figure A1. All recorded light curves of CVSO 30 in season 2014/2015. The grey shaded areas show the time slots of the expected fading events, fixed at period and mid-time from Tanimoto et al. (2020). The value for the duration was taken from van Eyken et al. (2012) and is fixed in all light curves.

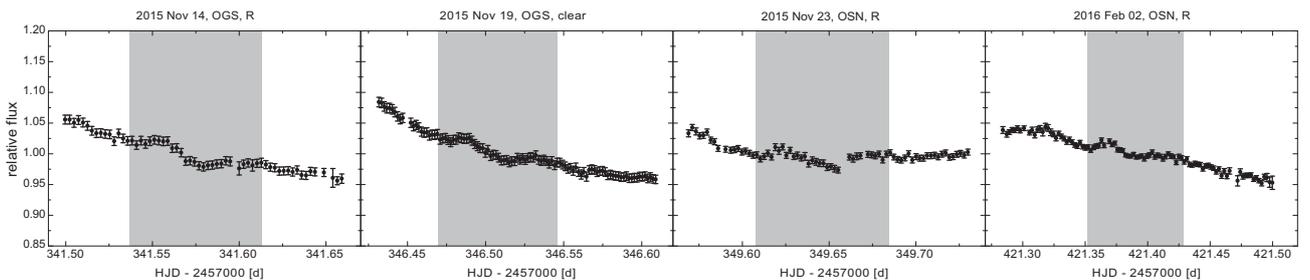


Figure A2. Same as Fig. A1 but for season 2015/2016.

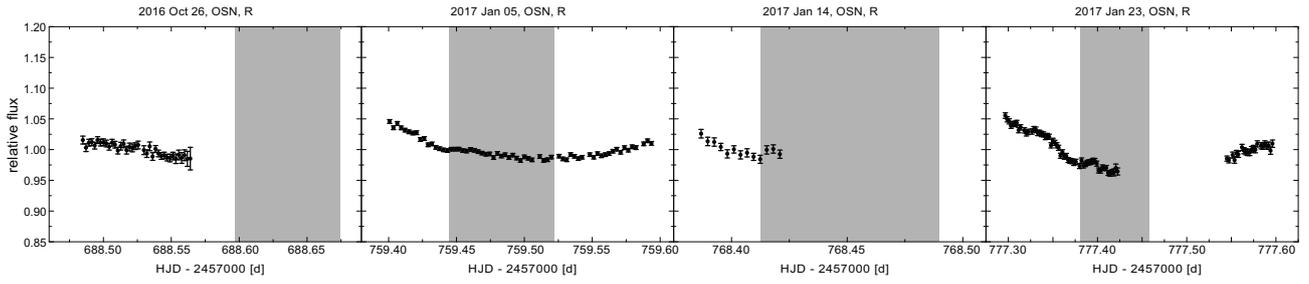


Figure A3. Same as Fig. A1 but for season 2016/2017.

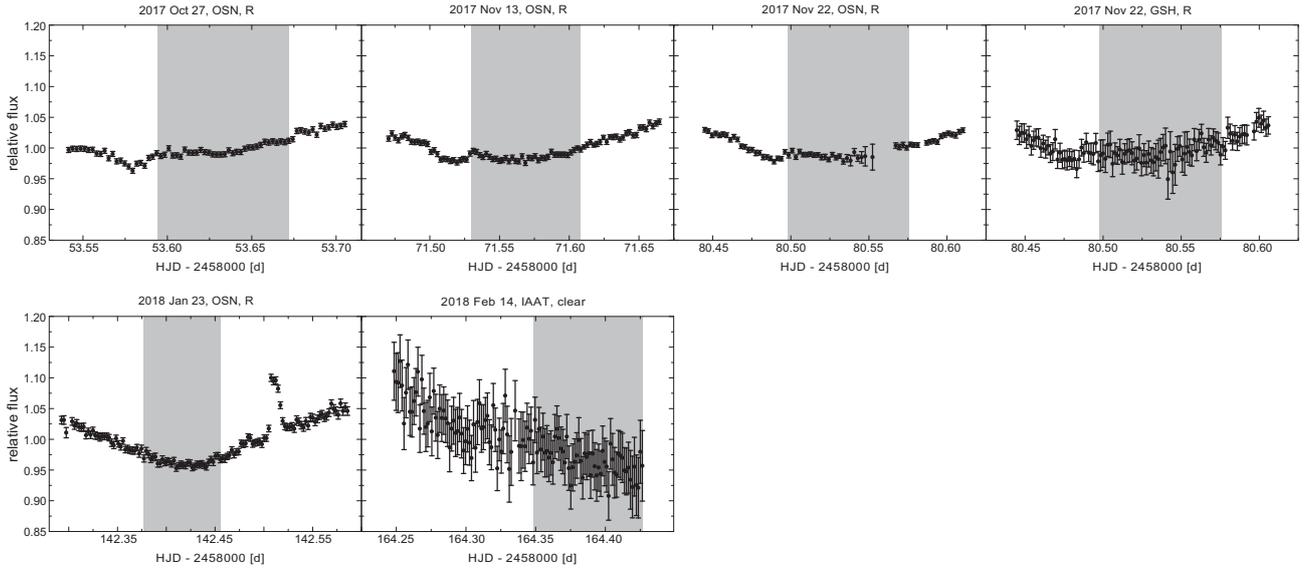


Figure A4. Same as Fig. A1 but for season 2017/2018.

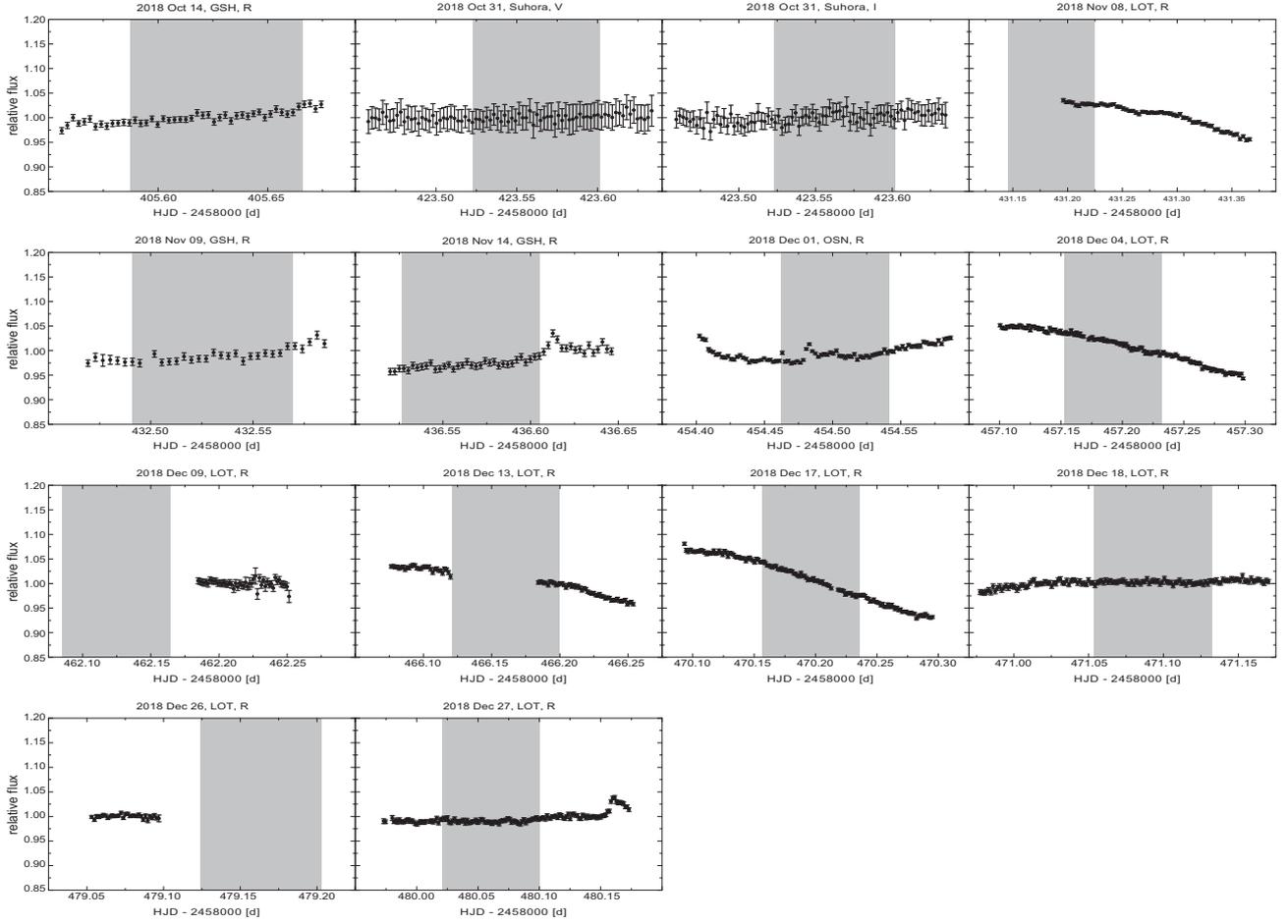


Figure A5. Same as Fig. A1 but for season 2018/2019.

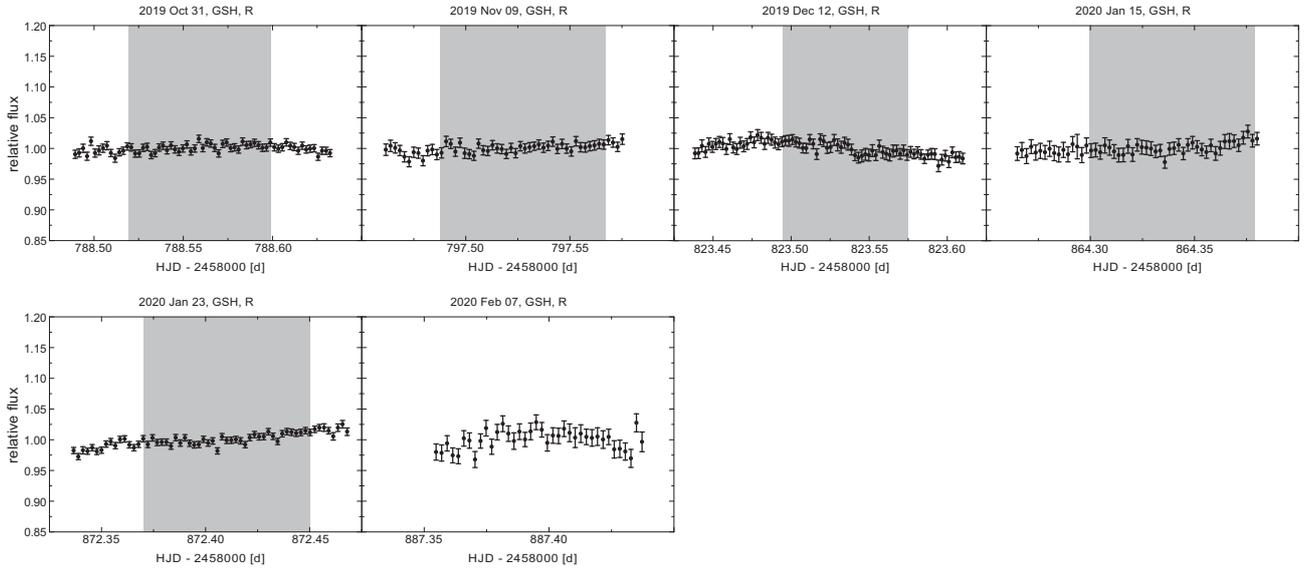


Figure A6. Same as Fig. A1 but for season 2019/2020.

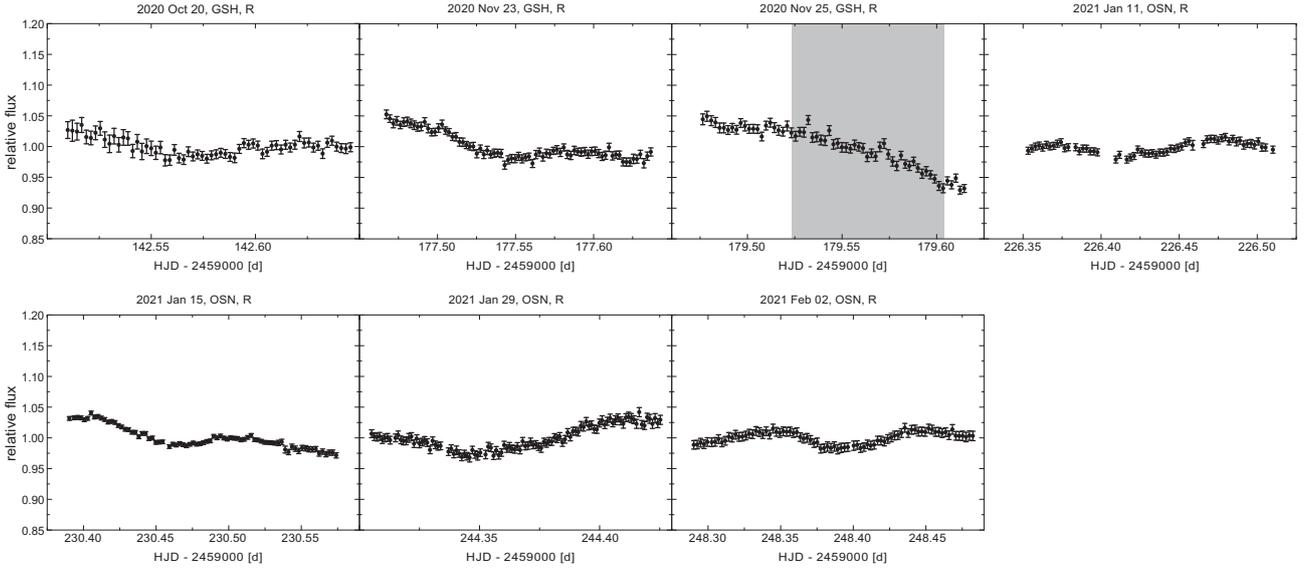


Figure A7. Same as Fig. A1 but for season 2020/2021.

Table A1. Results of the transit fitting for the 29 significant detected fading events of CVSO 30 carried out with ETD. We list for each epoch the date (start of observation), transit centre time (T_c), duration (T_{14}), depth (Δm), and orbit phase according to the ephemeris from Tanimoto et al. (2020).

Epoch	Date	T_c (BJD _{TDB})	T_{14} (min)	Δm (mmag)	Orbit phase
Dip-A					
3146	2014 Oct 23	2456954.5611 ± 0.0007	43.6 ± 4.8	16.5 ± 1.7	-0.103 ± 0.006
3155	2014 Oct 28	2456958.5946 ± 0.0011	64.7 ± 6.3	18.5 ± 2.0	-0.107 ± 0.007
3175	2014 Nov 06	2456967.5630 ± 0.0011	53.3 ± 7.1	22.5 ± 2.8	-0.107 ± 0.007
3393	2015 Feb 11	2457065.3098 ± 0.0021	113.4 ± 14.6	29.1 ± 4.6	-0.116 ± 0.008
4009	2015 Nov 14	2457341.5318 ± 0.0015	77.6 ± 10.2	14.0 ± 2.0	-0.098 ± 0.008
4020	2015 Nov 19 ^a	2457346.4643 ± 0.0009	87.1 ± 6.1	17.8 ± 1.8	-0.098 ± 0.007
4027	2015 Nov 23	2457349.6013 ± 0.0014	82.0 ± 9.3	18.2 ± 2.4	-0.102 ± 0.008
4187	2016 Feb 02	2457421.3482 ± 0.0012	70.8 ± 7.8	17.1 ± 1.7	-0.095 ± 0.008
4941	2017 Jan 05	2457759.4385 ± 0.0012	55.4 ± 7.2	11.3 ± 1.4	-0.101 ± 0.008
4981	2017 Jan 23	2457777.3770 ± 0.0011	89.4 ± 7.3	24.7 ± 1.7	-0.096 ± 0.008
5597	2017 Oct 27	2458053.5797 ± 0.0008	44.9 ± 5.2	22.1 ± 2.4	-0.121 ± 0.009
5637	2017 Nov 13	2458071.5155 ± 0.0008	54.3 ± 5.1	22.1 ± 2.0	-0.121 ± 0.009
5657	2017 Nov 22 ^b	2458080.4855 ± 0.0009	60.9 ± 5.9	17.5 ± 1.7	-0.117 ± 0.009
5657	2017 Nov 22 ^c	2458080.4781 ± 0.0016	35.0 ± 10.0	20.7 ± 5.4	-0.133 ± 0.009
Dip-B					
3146	2014 Oct 23	2456954.6072 ± 0.0013	37.6 ± 7.6	7.9 ± 1.5	0.000 ± 0.007
3155	2014 Oct 28	2456958.6410 ± 0.0015	52.5 ± 8.8	9.0 ± 1.5	-0.004 ± 0.007
3253	2014 Dec 11	2457002.5839 ± 0.0015	38.2 ± 8.6	7.1 ± 1.5	-0.005 ± 0.007
4009	2015 Nov 14	2457341.5786 ± 0.0007	57.2 ± 4.6	25.2 ± 1.9	0.006 ± 0.007
4020	2015 Nov 19 ^a	2457346.5101 ± 0.0007	58.9 ± 6.1	16.7 ± 1.2	0.004 ± 0.007
4027	2015 Nov 23	2457349.6486 ± 0.0010	62.4 ± 5.7	20.9 ± 1.8	0.004 ± 0.007
4187	2016 Feb 02	2457421.3892 ± 0.0012	55.5 ± 7.1	14.8 ± 1.7	-0.004 ± 0.008
5597	2017 Oct 27	2458053.6392 ± 0.0021	57.5 ± 12.7	7.7 ± 1.6	0.012 ± 0.010
5637	2017 Nov 13	2458071.5703 ± 0.0025	122.1 ± 11.0	8.9 ± 1.1	0.001 ± 0.010
Dip-C					
8026	2020 Oct 20	2459142.5694 ± 0.0024	92.7 ± 14.5	17.2 ± 2.6	-0.505 ± 0.013
8104	2020 Nov 23	2459177.5427 ± 0.0012	119.2 ± 7.0	30.0 ± 1.7	-0.509 ± 0.012
8213	2021 Jan 11	2459226.4220 ± 0.0009	148.7 ± 4.5	33.4 ± 1.2	-0.501 ± 0.012
8222	2021 Jan 15	2459230.4588 ± 0.0007	138.9 ± 4.0	33.5 ± 1.0	-0.498 ± 0.012
8253	2021 Jan 29	2459244.3623 ± 0.0010	129.4 ± 5.4	30.4 ± 1.4	-0.491 ± 0.012
8262	2021 Feb 02	2459248.3965 ± 0.0006	134.9 ± 3.3	37.2 ± 0.9	-0.494 ± 0.012

Note. ^aClear filter. ^bOSN. ^cGSH.

This paper has been typeset from a Microsoft Word file prepared by the author.

Literaturverzeichnis

- Aitken, R. G. (1935). *The binary stars* (2. Aufl.). New York, London: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- Alexander, F. & Preibisch, T. (2012, März). X-ray activity and rotation of the young stars in IC 348. *Astronomy & Astrophysics*, 539, A64. doi: 10.1051/0004-6361/201118100
- Anders, F., Khalatyan, A., Chiappini, C., Queiroz, A. B., Santiago, B. X., Jordi, C., ... Enke, H. (2019, August). Photo-astrometric distances, extinctions, and astrophysical parameters for Gaia DR2 stars brighter than $G = 18$. *Astronomy & Astrophysics*, 628, A94. doi: 10.1051/0004-6361/201935765
- Azimlu, M., Martínez-Galarza, J. R. & Muench, A. A. (2015, September). A WISE Census of Young Stellar Objects in the Perseus OB2 Association. *The Astronomical Journal*, 150 (3), 95. doi: 10.1088/0004-6256/150/3/95
- Backer, D. C., Foster, R. S. & Sallmen, S. (1993, Oktober). A second companion of the millisecond pulsar 1620 - 26. *Nature*, 365 (6449), 817-819. doi: 10.1038/365817a0
- Bailer-Jones, C. A. L. et al. (2021, März). Estimating Distances from Parallaxes. V. Geometric and Photogeometric Distances to 1.47 Billion Stars in Gaia Early Data Release 3. *The Astronomical Journal*, 161 (3), 147. doi: 10.3847/1538-3881/abd806
- Baraffe, I., Homeier, D., Allard, F. & Chabrier, G. (2015, Mai). New evolutionary models for pre-main sequence and main sequence low-mass stars down to the hydrogen-burning limit. *Astronomy & Astrophysics*, 577, A42. doi: 10.1051/0004-6361/201425481
- Barentsen, G., Vink, J. S., Drew, J. E., Greimel, R., Wright, N. J., Drake, J. J., ... Corradi, R. L. M. (2011, Juli). T Tauri candidates and accretion rates using IPHAS: method and application to IC 1396. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 415 (1), 103-132. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.18674.x
- Barnes, J. W., van Eyken, J. C., Jackson, B. K., Ciardi, D. R. & Fortney, J. J. (2013, September). Measurement of Spin-orbit Misalignment and Nodal Precession for the Planet around Pre-main-sequence Star PTFO 8-8695 from Gravity Darkening. *The Astrophysical Journal*, 774 (1), 53. doi: 10.1088/0004-637X/774/1/53
- Baruteau, C., Crida, A., Paardekooper, S. J., Masset, F., Guilet, J., Bitsch, B., ... Papaloizou, J. M. H. M. (2015, April). The formation of planets in protoplanetary disks. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 43, 103-132. doi: 10.1146/annurev-earth-080114-020204

- J. (2014, Januar). Planet-Disk Interactions and Early Evolution of Planetary Systems. In H. Beuther, R. S. Klessen, C. P. Dullemond & T. Henning (Hrsg.), *Protostars and planets vi* (S. 667). doi: 10.2458/azu_uapress_9780816531240-ch029
- Batten, A. H. (1973). *Binary and multiple systems of stars*. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Braunschweig: Pergamon Press.
- Bell, C. P. M. et al. (2013, September). Pre-main-sequence isochrones - II. Revising star and planet formation time-scales. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434 (1), 806-831. doi: 10.1093/mnras/stt1075
- Bertin, E. & Arnouts, S. (1996, Juni). SExtractor: Software for source extraction. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 117, 393-404. doi: 10.1051/aas:1996164
- Bessell, M. S. (1990, Oktober). UBVRI passbands. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 102, 1181-1199. doi: 10.1086/132749
- Beuzit, J. L., Vigan, A., Mouillet, D., Dohlen, K., Gratton, R., Boccaletti, A., ... Zurlo, A. (2019, November). SPHERE: the exoplanet imager for the Very Large Telescope. *Astronomy & Astrophysics*, 631, A155. doi: 10.1051/0004-6361/201935251
- Bischoff, R., Mugrauer, M., Lux, O., Zehe, T., Heyne, T., Wagner, D. & Geymeier, M. (2020, Dezember). Spectroscopic orbit determination of the long periodic binary system θ Cep. *Astronomische Nachrichten*, 341 (10), 989-995. doi: 10.1002/asna.202013850
- Bischoff, R., Mugrauer, M., Torres, G., Geymeier, M., Neuhäuser, R., Stenglein, W. & Michel, K.-U. (2021, August). Identification of additional young nearby runaway stars based on Gaia data release 2 observations and the lithium test. *Astronomische Nachrichten*, 342 (960), 960-974. doi: 10.1002/asna.202113962
- Bischoff, R., Mugrauer, M., Torres, G., Heyne, T., Lux, O., Munz, V., ... Trepanovski, A. (2020, November). Identification of young nearby runaway stars based on Gaia data and the lithium test. *Astronomische Nachrichten*, 341 (9), 908-942. doi: 10.1002/asna.202013793
- Bischoff, R., Mugrauer, M., Zehe, T., Wöckel, D., Pannicke, A., Lux, O., ... Neuhäuser, R. (2017, Juli). Radial velocity measurements and orbit determination of eight single-lined spectroscopic binary systems. *Astronomische Nachrichten*, 338 (6), 671-679. doi: 10.1002/asna.201713365
- Bischoff, R., Raetz, S., Fernández, M., Mugrauer, M., Neuhäuser, R., Huang, P. C., ... Michel, K. U. (2022, April). Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 511 (3), 3487-3500. doi: 10.1093/mnras/stac293
- Bohn, A. J., Ginski, C., Kenworthy, M. A., Mamajek, E. E., Pecaut, M. J., Mugrauer, M., ... Snik, F. (2021, April). Discovery of a directly imaged planet to the young solar analog YSES 2. *Astronomy & Astrophysics*, 648, A73. doi: 10.1051/0004-6361/202140508

- Bonfils, X., Delfosse, X., Udry, S., Santos, N. C., Forveille, T. & Ségransan, D. (2005, November). Metallicity of M dwarfs. I. A photometric calibration and the impact on the mass-luminosity relation at the bottom of the main sequence. *Astronomy & Astrophysics*, 442 (2), 635-642. doi: 10.1051/0004-6361:20053046
- Boss, A. P. (2012, Januar). Giant planet formation by disc instability: flux-limited radiative diffusion and protostellar wobbles. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 419 (3), 1930-1936. doi: 10.1111/j.1365-2966.2011.19858.x
- Bouma, L. G., Winn, J. N., Ricker, G. R., Vanderspek, R., Latham, D. W., Seager, S., ... Wohler, B. (2020, August). PTFO 8-8695: Two Stars, Two Signals, No Planet. *The Astronomical Journal*, 160 (2), 86. doi: 10.3847/1538-3881/ab9e73
- Brát, L., Poddaný, S., Pejcha, O. & Zejda, M. (2010, Dezember). ETD - Exoplanet Transit Database. In A. Prša & M. Zejda (Hrsg.), *Binaries - key to comprehension of the universe* (Bd. 435, S. 443).
- Bressan, A., Marigo, P., Girardi, L., Salasnich, B., Dal Cero, C., Rubele, S. & Nanni, A. (2012, November). PARSEC: stellar tracks and isochrones with the PAdova and TRieste Stellar Evolution Code. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 427 (1), 127-145. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21948.x
- Briceño, C., Calvet, N., Hernández, J., Vivas, A. K., Hartmann, L., Downes, J. J. & Berlind, P. (2005, Februar). The CIDA Variability Survey of Orion OB1. I. The Low-Mass Population of Ori OB1a and 1b. *The Astronomical Journal*, 129 (2), 907-926. doi: 10.1086/426911
- Broeg, C., Fernández, M. & Neuhäuser, R. (2005, Februar). A new algorithm for differential photometry: computing an optimum artificial comparison star. *Astronomische Nachrichten*, 326 (2), 134-142. doi: 10.1002/asna.200410350
- Brown, T. M. (2003, August). Expected Detection and False Alarm Rates for Transiting Jovian Planets. *The Astrophysical Journal*, 593 (2), L125-L128. doi: 10.1086/378310
- Bruton, D. (2004). *Heliocentric julian day converter*. Zugriff am 8. November 2021 um 12:52 MEZ (letzter Zugriff) auf <http://www.physics.sfasu.edu/astro/javascript/hjd.html>
- Cameron, A. C. (2012, Dezember). Extrasolar planets: Astrophysical false positives. *Nature*, 492 (7427), 48-50. doi: 10.1038/492048a
- Cantat-Gaudin, T. & Anders, F. (2020, Januar). Clusters and mirages: cataloguing stellar aggregates in the Milky Way. *Astronomy & Astrophysics*, 633, A99. doi: 10.1051/0004-6361/201936691
- Cardelli, J. A., Clayton, G. C. & Mathis, J. S. (1989, Oktober). The Relationship between Infrared, Optical, and Ultraviolet Extinction. *The Astrophysical Journal*, 345, 245. doi: 10.1086/167900

- Carmichael, T. W., Quinn, S. N., Mustill, A. J., Huang, C., Zhou, G., Persson, C. M., ... Latham, D. W. (2020, Juli). Two Intermediate-mass Transiting Brown Dwarfs from the TESS Mission. *The Astronomical Journal*, 160 (1), 53. doi: 10.3847/1538-3881/ab9b84
- Charbonneau, D., Brown, T. M., Dunham, E. W., Latham, D. W., Looper, D. L. & Mandushev, G. (2004, Juni). Astrophysical False Positives Encountered in Wide-Field Transit Searches. In S. S. Holt & D. Deming (Hrsg.), *The search for other worlds* (Bd. 713, S. 151-160). doi: 10.1063/1.1774515
- Charbonneau, D., Brown, T. M., Latham, D. W. & Mayor, M. (2000, Januar). Detection of Planetary Transits Across a Sun-like Star. *The Astrophysical Journal*, 529 (1), L45-L48. doi: 10.1086/312457
- Choi, J., Dotter, A., Conroy, C., Cantiello, M., Paxton, B. & Johnson, B. D. (2016, Juni). Mesa Isochrones and Stellar Tracks (MIST). I. Solar-scaled Models. *The Astrophysical Journal*, 823 (2), 102. doi: 10.3847/0004-637X/823/2/102
- Ciardi, D. R., van Eyken, J. C., Barnes, J. W., Beichman, C. A., Carey, S. J., Crockett, C. J., ... von Braun, K. (2015, August). Follow-up Observations of PTFO 8-8695: A 3 Myr Old T-Tauri Star Hosting a Jupiter-mass Planetary Candidate. *The Astrophysical Journal*, 809 (1), 42. doi: 10.1088/0004-637X/809/1/42
- Claret, A. (2008, April). Testing the limb-darkening coefficients measured from eclipsing binaries. *Astronomy & Astrophysics*, 482 (1), 259-266. doi: 10.1051/0004-6361:200809370
- Claret, A. & Bloemen, S. (2011, Mai). Gravity and limb-darkening coefficients for the Kepler, CoRoT, Spitzer, uvby, UBVRIJHK, and Sloan photometric systems. *Astronomy & Astrophysics*, 529, A75. doi: 10.1051/0004-6361/201116451
- Claret, A., Hauschildt, P. H. & Witte, S. (2013, April). New limb-darkening coefficients for Phoenix/1d model atmospheres. II. Calculations for $5000 \text{ K} \leq T_{eff} \leq 10\,000 \text{ K}$ Kepler, CoRot, Spitzer, uvby, UBVRIJHK, Sloan, and 2MASS photometric systems. *Astronomy & Astrophysics*, 552, A16. doi: 10.1051/0004-6361/201220942
- Collier Cameron, A. & Robinson, R. D. (1989, Januar). Fast H-alpha variations on a rapidly rotating cool main sequence star- I. Circumstellar clouds. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 236, 57-87. doi: 10.1093/mnras/236.1.57
- Currie, T. & Kenyon, S. J. (2009, September). Deep MIPS Observations of the IC 348 Nebula: Constraints on the Evolutionary State of Anemic Circumstellar Disks and the Primordial-to-Debris Disk Transition. *The Astronomical Journal*, 138 (3), 703-726. doi: 10.1088/0004-6256/138/3/703
- Czesla, S., Schneider, P. C., Salz, M., Klocová, T., Schmidt, T. O. B. & Schmitt, J. H. M. M. (2019, September). X-ray emission in the enigmatic CVSO 30 system. *Astronomy & Astrophysics*, 629, A5. doi: 10.1051/0004-6361/201935351
- Da Costa, G. S. (1992, Januar). Basic Photometry Techniques. In S. B. Howell (Hrsg.),

- Astronomical ccd observing and reduction techniques* (Bd. 23, S. 90).
- David, T. J., Petigura, E. A., Hillenbrand, L. A., Cody, A. M., Collier Cameron, A., Stauffer, J. R., ... Anderson, D. R. (2017, Februar). A Transient Transit Signature Associated with the Young Star RIK-210. *The Astrophysical Journal*, 835 (2), 168. doi: 10.3847/1538-4357/835/2/168
- Davis, L. E. (1994). *A reference guide to the iraf/daophot package*. Zugriff am 4. November 2021 um 16:15 MEZ auf <https://iraf.net/irafdocs/daorefman.pdf>
- Dawson, R. I. & Johnson, J. A. (2018, September). Origins of Hot Jupiters. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 56, 175-221. doi: 10.1146/annurev-astro-081817-051853
- Demtröder, W. (2016). *Experimentalphysik 3: Atome, Moleküle und Festkörper* (5. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Demtröder, W. (2021). *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme* (9. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Devillard, N. (1997, März). The eclipse software. *The Messenger*, 87, 19-20.
- Draper, P. W. (2000, Januar). GAIA: Recent Developments. In N. Manset, C. Veillet & D. Crabtree (Hrsg.), *Astronomical data analysis software and systems ix* (Bd. 216, S. 615).
- Duchêne, G., Bouvier, J. & Simon, T. (1999, März). Low-mass binaries in the young cluster IC 348: implications for binary formation and evolution. *Astronomy & Astrophysics*, 343, 831-840.
- Eastman, J., Siverd, R. & Gaudi, B. S. (2010, August). Achieving Better Than 1 Minute Accuracy in the Heliocentric and Barycentric Julian Dates. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 122 (894), 935. doi: 10.1086/655938
- Errmann, R. (2016). *Nachbeobachtungen von Transitkandidaten und jungen bedeckungsveränderlichen Doppelsternen in der scheinbaren Umgebung des offenen Sternhaufens Trumpler 37* (Dissertation). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland.
- Errmann, R., Torres, G., Schmidt, T. O. B., Seeliger, M., Howard, A. W., Maciejewski, G., ... Broeg, C. H. (2014, Januar). Investigation of a transiting planet candidate in Trumpler 37: An astrophysical false positive eclipsing spectroscopic binary star. *Astronomische Nachrichten*, 335 (4), 345. doi: 10.1002/asna.201412047
- Esplin, T. L. & Luhman, K. L. (2017, Oktober). A Survey For Planetary-mass Brown Dwarfs in the Taurus and Perseus Star-forming Regions. *The Astronomical Journal*, 154 (4), 134. doi: 10.3847/1538-3881/aa859b
- European Southern Observatory. (2013, Februar). *ESO-MIDAS: General tools for image processing and data reduction*.
- Flaherty, K. M., Muzerolle, J., Rieke, G., Gutermuth, R., Balog, Z., Herbst, W. & Megeath, S. T. (2013, März). Kinks and Dents in Protoplanetary Disks: Rapid Infrared Variability as Evidence for Large Structural Perturbations. *The Astronomical Journal*, 145 (3), 66.

doi: 10.1088/0004-6256/145/3/66

- Fritzewski, D. J., Kitze, M., Mugrauer, M., Neuhäuser, R., Adam, C., Briceño, C., ... Wolf, V. (2016, November). Long-term photometry of IC 348 with the Young Exoplanet Transit Initiative network. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 462 (3), 2396-2417. doi: 10.1093/mnras/stw1797
- Gaia Collaboration et al. (2016, November). The Gaia mission. *Astronomy & Astrophysics*, 595, A1. doi: 10.1051/0004-6361/201629272
- Gaia Collaboration et al. (2018, August). Gaia Data Release 2. Summary of the contents and survey properties. *Astronomy & Astrophysics*, 616, A1. doi: 10.1051/0004-6361/201833051
- Gaia Collaboration et al. (2021, Mai). Gaia Early Data Release 3. Summary of the contents and survey properties. *Astronomy & Astrophysics*, 649, A1. doi: 10.1051/0004-6361/202039657
- Garai, Z., Pribulla, T., Hambálek, L., Errmann, R., Adam, C., Buder, S., ... Wilson, R. W. (2016, März). Search for transiting exoplanets and variable stars in the open cluster NGC 7243. *Astronomische Nachrichten*, 337 (3), 261-285. doi: 10.1002/asna.201512310
- Getman, K. V., Feigelson, E. D., Kuhn, M. A., Bate, M. R., Broos, P. S. & Garmire, G. P. (2018, Mai). Intracluster age gradients in numerous young stellar clusters. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 476 (1), 1213-1223. doi: 10.1093/mnras/sty302
- Getman, K. V., Feigelson, E. D., Sicilia-Aguilar, A., Broos, P. S., Kuhn, M. A. & Garmire, G. P. (2012, November). The Elephant Trunk Nebula and the Trumpler 37 cluster: contribution of triggered star formation to the total population of an H II region. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 426 (4), 2917-2943. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.21879.x
- Ginski, C., Schmidt, T. O. B., Mugrauer, M., Neuhäuser, R., Vogt, N., Errmann, R. & Berndt, A. (2014, November). Astrometric follow-up observations of directly imaged sub-stellar companions to young stars and brown dwarfs. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 444 (3), 2280-2302. doi: 10.1093/mnras/stu1586
- Goldreich, P. & Ward, W. R. (1973, August). The Formation of Planetesimals. *The Astrophysical Journal*, 183, 1051-1062. doi: 10.1086/152291
- Green, G. M., Schlafly, E., Zucker, C., Speagle, J. S. & Finkbeiner, D. (2019, Dezember). A 3D Dust Map Based on Gaia, Pan-STARRS 1, and 2MASS. *The Astrophysical Journal*, 887 (1), 93. doi: 10.3847/1538-4357/ab5362
- Grosson, T. A. & Johns-Krull, C. M. (2021, November). Color Dependence of Planetary Transit Depths due to Large Starspots and Dust Clouds: Application to PTFO 8-8695. *Research Notes of the American Astronomical Society*, 5 (11), 264. doi: 10.3847/2515-5172/ac391d

- Günzel-Lingner, U. (1955). *Wie schwer sind die Himmelskörper?* Leipzig: Urania Verlag.
- Haferkorn, H. (1986). *Bewertung optischer Systeme*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Haswell, C. A. (2010). *Transiting Exoplanets*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Kapstadt, Singapur, São Paulo, Dehli, Dubai, Tokyo: Cambridge University Press.
- Hayano, Y., Takami, H., Oya, S., Hattori, M., Saito, Y., Watanabe, M., ... Iye, M. (2010, Juli). Commissioning status of Subaru laser guide star adaptive optics system. In B. L. Ellerbroek, M. Hart, N. Hubin & P. L. Wizinowich (Hrsg.), *Adaptive optics systems ii* (Bd. 7736, S. 77360N). doi: 10.1117/12.857567
- Heidt, J., Pramskiy, A., Thompson, D., Seifert, W., Gredel, R., Miller, D., ... Quirrenbach, A. (2018, Juli). Commissioning of the adaptive optics supported LUCI instruments at the Large Binocular Telescope: results. In C. J. Evans, L. Simard & H. Takami (Hrsg.), *Ground-based and airborne instrumentation for astronomy vii* (Bd. 10702, S. 107020B). doi: 10.1117/12.2313506
- Helminiak, K. G., Pyo, T.-S., Kim, J.-H. & Morris, M. (2015). *Infrared Camera and Spectrograph (IRCS) - User Manual Vers. 1.0.1*. Zugriff am 02. Dezember 2021 um 11:58 MEZ auf https://www.naoj.org/Observing/Instruments/IRCS/IRCSum_1.0.1.pdf
- Henden, A. A., Levine, S., Terrell, D. & Welch, D. L. (2015, Januar). APASS - The Latest Data Release. In *American astronomical society meeting abstracts #225* (Bd. 225, S. 336.16).
- Henry, G. W., Marcy, G. W., Butler, R. P. & Vogt, S. S. (2000, Januar). A Transiting "51 Peg-like" Planet. *The Astrophysical Journal*, 529 (1), L41-L44. doi: 10.1086/312458
- Herbst, W., Herbst, D. K., Grossman, E. J. & Weinstein, D. (1994, November). Catalogue of UBVRI Photometry of T Tauri Stars and Analysis of the Causes of Their Variability. *The Astronomical Journal*, 108, 1906. doi: 10.1086/117204
- Hobbs, D., Lindgren, L., Bastian, U., Klioner, S., Butkevich, A., Stephenson, C., ... Utrilla, E. (2021, März). *Gaia EDR3 documentation Chapter 4: Astrometric data*. Gaia EDR3 documentation.
- Howell, S. (2006). *Handbook of CCD Astronomy* (2. Aufl.). Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Kapstadt, Singapur, São Paulo, Dehli, Dubai, Tokyo, Mexiko Stadt: Cambridge University Press.
- Huang, P. C., Chen, W. P., Mugrauer, M., Bischoff, R., Budaj, J., Burkhonov, O., ... Zhang, Y. (2019, Februar). Diagnosing the Clumpy Protoplanetary Disk of the UXor Type Young Star GM Cephei. *The Astrophysical Journal*, 871 (2), 183. doi: 10.3847/1538-4357/aa7f93
- Iye, M., Karoji, H., Ando, H., Kaifu, N., Kodaira, K., Aoki, K., ... Yutani, M. (2004, April). Current Performance and On-Going Improvements of the 8.2 m Subaru Telescope. *Publi-*

- cations of the Astronomical Society of Japan*, 56, 381-397. doi: 10.1093/pasj/56.2.381
- Jansen, F., Lumb, D., Altieri, B., Clavel, J., Ehle, M., Erd, C., ... Vacanti, G. (2001, Januar). XMM-Newton observatory. I. The spacecraft and operations. *Astronomy and Astrophysics*, 365, L1-L6. doi: 10.1051/0004-6361:20000036
- Jardine, M. & van Ballegooijen, A. A. (2005, August). Slingshot prominences above stellar X-ray coronae. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 361 (4), 1173-1179. doi: 10.1111/j.1365-2966.2005.09256.x
- Jilinski, E. G., Frolov, V. N., Ananjevskaja, J. K., Straume, J. & Drake, N. A. (2003, April). Memberships and CM diagrams of the open cluster NGC 7243. *Astronomy & Astrophysics*, 401, 531-541. doi: 10.1051/0004-6361:20030112
- Johns-Krull, C. M., Prato, L., McLane, J. N., Ciardi, D. R., van Eyken, J. C., Chen, W., ... Rebull, L. M. (2016, Oktober). H α Variability in PTF08-8695 and the Possible Direct Detection of Emission from a 2 Million Year Old Evaporating Hot Jupiter. *The Astrophysical Journal*, 830 (1), 15. doi: 10.3847/0004-637X/830/1/15
- Johnson, D. O. (2004, Dezember). Spectroscopic Binary Solver. *Journal of Astronomical Data*, 10, 3.
- Jönsson, H., Holtzman, J. A., Allende Prieto, C., Cunha, K., García-Hernández, D. A., Haselquist, S., ... Sobeck, J. (2020, September). APOGEE Data and Spectral Analysis from SDSS Data Release 16: Seven Years of Observations Including First Results from APOGEE-South. *The Astronomical Journal*, 160 (3), 120. doi: 10.3847/1538-3881/aba592
- Kaler, J. B. (1994). *Sterne und ihre Spektren. Astronomische Signale aus Licht*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akademischer Verlag.
- Kirk, H. & Myers, P. C. (2011, Februar). Young Stellar Groups and Their Most Massive Stars. *The Astrophysical Journal*, 727 (2), 64. doi: 10.1088/0004-637X/727/2/64
- Kobayashi, H., Kimura, H., Watanabe, S. i., Yamamoto, T. & Müller, S. (2011, Oktober). Sublimation temperature of circumstellar dust particles and its importance for dust ring formation. *Earth, Planets and Space*, 63 (10), 1067-1075. doi: 10.5047/eps.2011.03.012
- Kobayashi, N., Tokunaga, A. T., Terada, H., Goto, M., Weber, M., Potter, R., ... Warren, D. W. (2000, August). IRCS: infrared camera and spectrograph for the Subaru Telescope. In M. Iye & A. F. Moorwood (Hrsg.), *Optical and ir telescope instrumentation and detectors* (Bd. 4008, S. 1056-1066). doi: 10.1117/12.395423
- Koch, D. G., Borucki, W. J., Basri, G., Batalha, N. M., Brown, T. M., Caldwell, D., ... Wu, H. (2010, April). Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science. *The Astrophysical Journal Letters*, 713 (2), L79-L86. doi: 10.1088/2041-8205/713/2/L79
- Koen, C. (2015, Juli). Multicolour time series photometry of the T Tauri star CVSO 30.

- Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450 (4), 3991-3998. doi: 10.1093/mnras/stv906
- Koen, C. (2020, Mai). Properties of CVSO 30 from TESS measurements: probably a binary T Tauri star with complex light curves and no obvious planets. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 494 (3), 4349-4356. doi: 10.1093/mnras/staa1038
- Koen, C. (2021, März). Starspot modelling of the TESS light curve of CVSO 30. *Astronomy & Astrophysics*, 647, L1. doi: 10.1051/0004-6361/202140400
- Konacki, M. & Wolszczan, A. (2003, Juli). Masses and Orbital Inclinations of Planets in the PSR B1257+12 System. *The Astrophysical Journal Letters*, 591 (2), L147-L150. doi: 10.1086/377093
- Kotredes, L., Charbonneau, D., Looper, D. L. & O'Donovan, F. T. (2004, Juni). Sherlock: An Automated Follow-Up Telescope for Wide-Field Transit Searches. In S. S. Holt & D. Deming (Hrsg.), *The search for other worlds* (Bd. 713, S. 173-176). doi: 10.1063/1.1774519
- Kounkel, M., Covey, K., Moe, M., Kratter, K. M., Suárez, G., Stassun, K. G., ... Oravetz, A. (2019, Mai). Close Companions around Young Stars. *The Astronomical Journal*, 157 (5), 196. doi: 10.3847/1538-3881/ab13b1
- Kounkel, M., Covey, K., Suárez, G., Román-Zúñiga, C., Hernandez, J., Stassun, K., ... Nitschelm, C. (2018, September). The APOGEE-2 Survey of the Orion Star-forming Complex. II. Six-dimensional Structure. *The Astronomical Journal*, 156 (3), 84. doi: 10.3847/1538-3881/aad1f1
- Kozai, Y. (1962, November). Secular perturbations of asteroids with high inclination and eccentricity. *The Astronomical Journal*, 67, 591-598. doi: 10.1086/108790
- Kuiper, G. P. (1951, Juli). On the Evolution of the Protoplanets. *Proceedings of the National Academy of Science*, 37 (7), 383-393. doi: 10.1073/pnas.37.7.383
- Lada, C. J., Muench, A. A., Luhman, K. L., Allen, L., Hartmann, L., Megeath, T., ... Young, E. (2006, März). Spitzer Observations of IC 348: The Disk Population at 2-3 Million Years. *The Astronomical Journal*, 131 (3), 1574-1607. doi: 10.1086/499808
- Lee, C.-H. & Chiang, P.-S. (2018, Januar). Evidence that the Planetary Candidate CVSO30c is a Background Star from Optical, Seeing-limited Data. *The Astrophysical Journal Letters*, 852 (2), L24. doi: 10.3847/2041-8213/aaa40b
- Leggett, S. K., Currie, M. J., Varricatt, W. P., Hawarden, T. G., Adamson, A. J., Buckle, J., ... Wold, T. (2006, Dezember). JHK observations of faint standard stars in the Mauna Kea Observatories near-infrared photometric system. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 373 (2), 781-792. doi: 10.1111/j.1365-2966.2006.11069.x
- Léna, P., Lebrun, F. & Mignard, F. (1998). *Observational astrophysics* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York, Barcelona, Budapest, Hong Kong, London, Mailand, Paris, Singapur,

- Tokyo: Springer-Verlag.
- Lidov, M. L. (1962, Oktober). The evolution of orbits of artificial satellites of planets under the action of gravitational perturbations of external bodies. *Planetary and Space Science*, 9 (10), 719-759. doi: 10.1016/0032-0633(62)90129-0
- Luhman, K. L., Esplin, T. L. & Loutrel, N. P. (2016, August). A Census of Young Stars and Brown Dwarfs in IC 348 and NGC 1333. *The Astrophysical Journal*, 827 (1), 52. doi: 10.3847/0004-637X/827/1/52
- Luhman, K. L., Rieke, G. H., Lada, C. J. & Lada, E. A. (1998, November). Low-Mass Star Formation and the Initial Mass Function in IC 348. *The Astrophysical Journal*, 508 (1), 347-369. doi: 10.1086/306393
- Lux, O., Neuhäuser, R., Mugrauer, M. & Bischoff, R. (2021, März). A search for runaway stars in 12 Galactic supernova remnants. *Astronomische Nachrichten*, 342 (3), 553-577. doi: 10.1002/asna.202113860
- Majewski, S. R., Schiavon, R. P., Frinchaboy, P. M., Allende Prieto, C., Barkhouser, R., Bizyaev, D., ... Zamora, O. (2017, September). The Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE). *The Astronomical Journal*, 154 (3), 94. doi: 10.3847/1538-3881/aa784d
- Mann, A. W., Feiden, G. A., Gaidos, E., Boyajian, T. & von Braun, K. (2015, Mai). How to Constrain Your M Dwarf: Measuring Effective Temperature, Bolometric Luminosity, Mass, and Radius. *The Astrophysical Journal*, 804 (1), 64. doi: 10.1088/0004-637X/804/1/64
- Manzo-Martínez, E., Calvet, N., Hernández, J., Lizano, S., Hernández, R. F., Miller, C. J., ... D'Alessio, P. (2020, April). The Evolution of the Inner Regions of Protoplanetary Disks. *The Astrophysical Journal*, 893 (1), 56. doi: 10.3847/1538-4357/ab7ead
- Mayer, L., Quinn, T., Wadsley, J. & Stadel, J. (2004, Juli). The Evolution of Gravitationally Unstable Protoplanetary Disks: Fragmentation and Possible Giant Planet Formation. *The Astrophysical Journal*, 609 (2), 1045-1064. doi: 10.1086/421288
- Mayor, M. & Queloz, D. (1995, November). A Jupiter-mass companion to a solar-type star. *Nature*, 378 (6555), 355-359. doi: 10.1038/378355a0
- Meisenheimer, K. (1998). User Guide to the CAFOS 2.2, Version 1998 February 1 [Software-Handbuch].
- Moro, D. & Munari, U. (2000, Dezember). The Asiago Database on Photometric Systems (ADPS). I. Census parameters for 167 photometric systems. *Astronomy & Astrophysics Supplement Series*, 147, 361-628. doi: 10.1051/aas:2000370
- Mugrauer, M. & Berthold, T. (2010, April). STK: A new CCD camera at the University Observatory Jena. *Astronomische Nachrichten*, 331 (4), 449. doi: 10.1002/asna.201011349
- Mugrauer, M. & Ginski, C. (2015, Juli). High-contrast imaging search for stellar and substellar

- companions of exoplanet host stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450 (3), 3127-3136. doi: 10.1093/mnras/stv771
- Mugrauer, M., Schlagenhauf, S., Buder, S., Ginski, C. & Fernández, M. (2022, März). Follow-up observations of the binary system γ Cep. *arXiv e-prints*, arXiv:2203.04128.
- Murray, C. D. & Dermott, S. F. (1999). *Solar system dynamics*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Kapstadt, Singapur, São Paulo, Dehli, Dubai, Tokyo, Mexiko Stadt: Cambridge University Press.
- Neuhäuser, R. (1997, Januar). Low-mass pre-main sequence stars and their X-ray emission. *Science*, 276, 1363-1370. doi: 10.1126/science.276.5317.1363
- Neuhäuser, R., Errmann, R., Berndt, A., Maciejewski, G., Takahashi, H., Chen, W. P., ... Pandey, A. K. (2011, Juli). The Young Exoplanet Transit Initiative (YETI). *Astronomische Nachrichten*, 332 (6), 547. doi: 10.1002/asna.201111573
- Neuhäuser, R., Torres, G., Frink, S., Covino, E. & Alcalá, J. M. (1997, Januar). P1724 and RX J0511.2+1031 - run-away T Tauri stars ? *Memorie della Societa Astronomica Italiana*, 68, 1061-1064.
- Ochsenbein, F., Bauer, P. & Marcout, J. (2000, April). The VizieR database of astronomical catalogues. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, 143, 23-32. doi: 10.1051/aas:2000169
- Ohta, Y., Taruya, A. & Suto, Y. (2005, April). The Rossiter-McLaughlin Effect and Analytic Radial Velocity Curves for Transiting Extrasolar Planetary Systems. *The Astrophysical Journal*, 622 (2), 1118-1135. doi: 10.1086/428344
- Onitsuka, M., Fukui, A., Narita, N., Hirano, T., Kusakabe, N., Ryu, T. & Tamura, M. (2017, April). Multi-color simultaneous photometry of the T-Tauri star with planetary candidate, CVSO 30. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 69 (2), L2. doi: 10.1093/pasj/psx004
- Ortiz, J. L., Gutiérrez, P. J., Santos-Sanz, P., Casanova, V. & Sota, A. (2006, März). Short-term rotational variability of eight KBOs from Sierra Nevada Observatory. *Astronomy & Astrophysics*, 447 (3), 1131-1144. doi: 10.1051/0004-6361:20053572
- Palumbo, E. K., Montet, B. T., Feinstein, A. D., Bouma, L. G., Hartman, J. D., Hillenbrand, L. A., ... Banks, K. A. (2022, Januar). Evidence for Centrifugal Breakout around the Young M Dwarf TIC 234284556. *The Astrophysical Journal*, 925 (1), 75. doi: 10.3847/1538-4357/ac38a5
- Pecaut, M. J. & Mamajek, E. E. (2013, September). Intrinsic Colors, Temperatures, and Bolometric Corrections of Pre-main-sequence Stars. *The Astrophysical Journal Supplement*, 208 (1), 9. doi: 10.1088/0067-0049/208/1/9
- Perryman, M. (2011). *The Exoplanet Handbook*. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Kapstadt, Singapur, São Paulo, Dehli, Dubai, Tokyo, Mexiko Stadt: Cambridge Univer-

- sity Press.
- Poddaný, S., Brát, L. & Pejcha, O. (2010, März). Exoplanet Transit Database. Reduction and processing of the photometric data of exoplanet transits. *New Astronomy*, 15 (3), 297-301. doi: 10.1016/j.newast.2009.09.001
- Pollack, J. B., Hubickyj, O., Bodenheimer, P., Lissauer, J. J., Podolak, M. & Greenzweig, Y. (1996, November). Formation of the Giant Planets by Concurrent Accretion of Solids and Gas. *Icarus*, 124 (1), 62-85. doi: 10.1006/icar.1996.0190
- Preibisch, T. & Zinnecker, H. (2002, März). X-Ray Properties of the Young Stellar and Substellar Objects in the IC 348 Cluster: The Chandra View. *The Astronomical Journal*, 123 (3), 1613-1628. doi: 10.1086/338851
- Preibisch, T., Zinnecker, H. & Herbig, G. H. (1996, Juni). ROSAT X-ray observations of the young cluster IC 348. *Astronomy & Astrophysics*, 310, 456-473.
- Prsa, A., Matijevic, G., Latkovic, O., Vilardell, F. & Wils, P. (2011, Juni). *PHOEBE: PHysics Of Eclipsing BinariEs*.
- Prša, A., Harmanec, P., Torres, G., Mamajek, E., Asplund, M., Capitaine, N., ... Stewart, S. G. (2016, August). Nominal Values for Selected Solar and Planetary Quantities: IAU 2015 Resolution B3. *The Astronomical Journal*, 152 (2), 41. doi: 10.3847/0004-6256/152/2/41
- Puget, P., Stadler, E., Doyon, R., Gigan, P., Thibault, S., Luppino, G., ... Hodapp, K. W. (2004, September). WIRCam: the infrared wide-field camera for the Canada-France-Hawaii Telescope. In A. F. M. Moorwood & M. Iye (Hrsg.), *Ground-based instrumentation for astronomy* (Bd. 5492, S. 978-987). doi: 10.1117/12.551097
- Queiroz, A. B. A., Anders, F., Chiappini, C., Khalatyan, A., Santiago, B. X., Steinmetz, M., ... Zamora, O. (2020, Juni). From the bulge to the outer disc: StarHorse stellar parameters, distances, and extinctions for stars in APOGEE DR16 and other spectroscopic surveys. *Astronomy & Astrophysics*, 638, A76. doi: 10.1051/0004-6361/201937364
- Raetz, S., Schmidt, T. O. B., Czesla, S., Klocová, T., Holmes, L., Errmann, R., ... Neuhäuser, R. (2016, August). YETI observations of the young transiting planet candidate CVSO 30 b. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 460 (3), 2834-2852. doi: 10.1093/mnras/stw1159
- Reinhold, T. & Gizon, L. (2015, November). Rotation, differential rotation, and gyrochronology of active Kepler stars. *Astronomy & Astrophysics*, 583, A65. doi: 10.1051/0004-6361/201526216
- Reinhold, T., Reiners, A. & Basri, G. (2013, Dezember). Rotation and differential rotation of active Kepler stars. *Astronomy & Astrophysics*, 560, A4. doi: 10.1051/0004-6361/201321970
- Ricker, G. R., Winn, J. N., Vanderspek, R., Latham, D. W., Bakos, G. Á., Bean, J. L., ...

- Villasenor, J. (2015, Januar). Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS). *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 1, 014003. doi: 10.1117/1.JATIS.1.1.014003
- Riello, M., De Angeli, F., Evans, D. W., Montegriffo, P., Carrasco, J. M., Busso, G., ... Yoldas, A. (2021, Mai). Gaia Early Data Release 3. Photometric content and validation. *Astronomy & Astrophysics*, 649, A3. doi: 10.1051/0004-6361/202039587
- Rodríguez-Barrera, M. I., Helling, C., Stark, C. R. & Rice, A. M. (2015, Dezember). Reference study to characterize plasma and magnetic properties of ultracool atmospheres. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454 (4), 3977-3995. doi: 10.1093/mnras/stv2090
- Rothberg, B., Kuhn, O., Power, J., Hill, J. M., Veillet, C., Edwards, M., ... Wagner, R. M. (2018, Juli). Current status of the facility instruments at the Large Binocular Telescope Observatory. In C. J. Evans, L. Simard & H. Takami (Hrsg.), *Ground-based and airborne instrumentation for astronomy vii* (Bd. 10702, S. 1070205). doi: 10.1117/12.2314005
- Safronov, V. S. & Zvjagina, E. V. (1969, Januar). Relative Sizes of the Largest Bodies during the Accumulation of Planets. *Icarus*, 10 (1), 109-115. doi: 10.1016/0019-1035(69)90013-X
- Santerne, A., Fressin, F., Díaz, R. F., Figueira, P., Almenara, J. M. & Santos, N. C. (2013, September). The contribution of secondary eclipses as astrophysical false positives to exoplanet transit surveys. *Astronomy & Astrophysics*, 557, A139. doi: 10.1051/0004-6361/201321475
- Saurin, T. A., Bica, E. & Bonatto, C. (2012, April). The embedded cluster or association Trumpler 37 in IC 1396: a search for evolutionary constraints. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 421 (4), 3206-3216. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.20541.x
- Schmidt, T. O. B., Neuhäuser, R., Briceño, C., Vogt, N., Raetz, S., Seifahrt, A., ... Schmitt, J. H. M. M. (2016, September). Direct Imaging discovery of a second planet candidate around the possibly transiting planet host CVSO 30. *Astronomy & Astrophysics*, 593, A75. doi: 10.1051/0004-6361/201526326
- Seager, S. & Mallén-Ornelas, G. (2003, März). A Unique Solution of Planet and Star Parameters from an Extrasolar Planet Transit Light Curve. *The Astrophysical Journal*, 585 (2), 1038-1055. doi: 10.1086/346105
- Seeliger, M. (2015). *Die Suche nach Transitzeitvariationen mittels bodengebundener Beobachtungen* (Dissertation). Friedrich-Schiller-Universität Jena, Deutschland.
- Sicilia-Aguilar, A., Hartmann, L. W., Hernández, J., Briceño, C. & Calvet, N. (2005, Juli). Cepheus OB2: Disk Evolution and Accretion at 3-10 Myr. *The Astronomical Journal*, 130 (1), 188-209. doi: 10.1086/430748

- Siwak, M., Drózdź, M., Gut, K., Winiarski, M., Ogłóza, W. & Stachowski, G. (2019, September). Mount Suhora High Cadence Photometric Survey of T Tauri-Type Stars. *Acta Astronomica*, 69 (3), 227-260. doi: 10.32023/0001-5237/69.3.2
- Skrutskie, M. F., Cutri, R. M., Stiening, R., Weinberg, M. D., Schneider, S., Carpenter, J. M., ... Wheelock, S. (2006, Februar). The Two Micron All Sky Survey (2MASS). *The Astronomical Journal*, 131 (2), 1163-1183. doi: 10.1086/498708
- Soderblom, D. R., Hillenbrand, L. A., Jeffries, R. D., Mamajek, E. E. & Naylor, T. (2014, Januar). Ages of Young Stars. In H. Beuther, R. S. Klessen, C. P. Dullemond & T. Henning (Hrsg.), *Protostars and planets vi* (S. 219). doi: 10.2458/azu_uapress_9780816531240-ch010
- Spiegel, D. S. & Burrows, A. (2012, Februar). Spectral and Photometric Diagnostics of Giant Planet Formation Scenarios. *The Astrophysical Journal*, 745 (2), 174. doi: 10.1088/0004-637X/745/2/174
- Stassun, K. G. (2019, November). VizieR Online Data Catalog: TESS Input Catalog - v8.0 (TIC-8) (Stassun+, 2019). *VizieR Online Data Catalog*, IV/38.
- Stassun, K. G. & Torres, G. (2021, Februar). Parallax Systematics and Photocenter Motions of Benchmark Eclipsing Binaries in Gaia EDR3. *The Astrophysical Journal Letters*, 907 (2), L33. doi: 10.3847/2041-8213/abdaad
- Stauffer, J., Collier Cameron, A., Jardine, M., David, T. J., Rebull, L., Cody, A. M., ... Pinsonneault, M. (2017, April). Orbiting Clouds of Material at the Keplerian Co-rotation Radius of Rapidly Rotating Low-mass WTTs in Upper Sco. *The Astronomical Journal*, 153 (4), 152. doi: 10.3847/1538-3881/aa5eb9
- Stauffer, J., Rebull, L., David, T. J., Jardine, M., Collier Cameron, A., Cody, A. M., ... Briceño, C. (2018, Februar). More Rapidly Rotating PMS M Dwarfs with Light Curves Suggestive of Orbiting Clouds of Material. *The Astronomical Journal*, 155 (2), 63. doi: 10.3847/1538-3881/aaa19d
- Stauffer, J., Rebull, L. M., Jardine, M., Collier Cameron, A., Cody, A. M., Hillenbrand, L. A., ... Powell, B. P. (2021, Februar). Even More Rapidly Rotating Pre-main-sequence M Dwarfs with Highly Structured Light Curves: An Initial Survey in the Lower Centaurus-Crux and Upper Centaurus-Lupus Associations. *The Astronomical Journal*, 161 (2), 60. doi: 10.3847/1538-3881/abc7c6
- Stelzer, B., Preibisch, T., Alexander, F., Mucciarelli, P., Flaccomio, E., Micela, G. & Sciortino, S. (2012, Januar). X-ray view of IC 348 in the light of an updated cluster census. *Astronomy & Astrophysics*, 537, A135. doi: 10.1051/0004-6361/201118118
- Straizys, V., Liubertas, R. & Valiauga, G. (1997, Dezember). Kurucz Model Flux Distributions: a Comparison with Real Stars. *Baltic Astronomy*, 6, 601-636. doi: 10.1515/astro-1997-0405

- Tanimoto, Y., Yamashita, T., Ui, T., Uchiyama, M., Kawabata, M., Mori, H., ... Kawabata, K. S. (2020, April). Evidence for planetary hypothesis for PTFO 8-8695 b with five-year optical/infrared monitoring observations. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 72 (2), 23. doi: 10.1093/pasj/psz145
- Tetzlaff, N., Neuhäuser, R. & Hohle, M. M. (2011, Januar). A catalogue of young runaway Hipparcos stars within 3 kpc from the Sun. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 410 (1), 190-200. doi: 10.1111/j.1365-2966.2010.17434.x
- Tody, D. (1993, Januar). IRAF in the Nineties. In R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden & J. Barnes (Hrsg.), *Astronomical data analysis software and systems ii* (Bd. 52, S. 173).
- Toomre, A. (1964, Mai). On the gravitational stability of a disk of stars. *The Astrophysical Journal*, 139, 1217-1238. doi: 10.1086/147861
- Unsöld, A. & Baschek, B. (2005). *Der neue Kosmos. Einführung in die Astronomie und Astrophysik* (7. Aufl.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Valdes, F., Gupta, R., Rose, J. A., Singh, H. P. & Bell, D. J. (2004, Juni). The Indo-US Library of Coudé Feed Stellar Spectra. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 152 (2), 251-259. doi: 10.1086/386343
- van Eyken, J. C., Ciardi, D. R., von Braun, K., Kane, S. R., Plavchan, P., Bender, C. F., ... Surace, J. A. (2012, August). The PTF Orion Project: A Possible Planet Transiting a T-Tauri Star. *The Astrophysical Journal*, 755 (1), 42. doi: 10.1088/0004-637X/755/1/42
- Vogt, S. S., Allen, S. L., Bigelow, B. C., Bresee, L., Brown, B., Cantrall, T., ... Wei, M. Z. (1994, Juni). HIRES: the high-resolution echelle spectrometer on the Keck 10-m Telescope. In D. L. Crawford & E. R. Craine (Hrsg.), *Instrumentation in astronomy viii* (Bd. 2198, S. 362). doi: 10.1117/12.176725
- Voigt, H.-H. (2012). *Abriss der Astronomie* (6. Aufl.). Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Wang, S. & Chen, X. (2019, Juni). The Optical to Mid-infrared Extinction Law Based on the APOGEE, Gaia DR2, Pan-STARRS1, SDSS, APASS, 2MASS, and WISE Surveys. *The Astrophysical Journal*, 877 (2), 116. doi: 10.3847/1538-4357/ab1c61
- Wolszczan, A. & Frail, D. A. (1992, Januar). A planetary system around the millisecond pulsar PSR1257 + 12. *Nature*, 355 (6356), 145-147. doi: 10.1038/355145a0
- Wu, Z.-Y., Zhou, X., Ma, J. & Du, C.-H. (2009, November). The orbits of open clusters in the Galaxy. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 399 (4), 2146-2164. doi: 10.1111/j.1365-2966.2009.15416.x
- Yang, F., Long, R. J., Liu, J.-f., Shan, S.-s., Guo, R., Zhang, B., ... Zhao, Z.-C. (2021, Juni). An Empirical Bayesian Approach to Limb Darkening in Modeling WASP-121b Transit Light Curves. *The Astronomical Journal*, 161 (6), 294. doi: 10.3847/1538-3881/abf92f
- Yao, Y. et al. (2018, Dezember). IN-SYNC. VIII. Primordial Disk Frequencies in NGC 1333,

- IC 348, and the Orion A Molecular Cloud. *The Astrophysical Journal*, 869 (1), 72. doi: 10.3847/1538-4357/aaec7a
- Yep, A. C. & White, R. J. (2020, Januar). Young Stars near Cometary Globule CG 30 in the Tumultuous Gum Nebula. *The Astrophysical Journal*, 889 (1), 50. doi: 10.3847/1538-4357/ab6333
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J., John E., Anderson, S. F., Annis, J., Bahcall, N. A., ... SDSS Collaboration (2000, September). The Sloan Digital Sky Survey: Technical Summary. *The Astronomical Journal*, 120 (3), 1579-1587. doi: 10.1086/301513
- Yu, L., Winn, J. N., Gillon, M., Albrecht, S., Rappaport, S., Bieryla, A., ... Triaud, A. H. M. J. (2015, Oktober). Tests of the Planetary Hypothesis for PTFO 8-8695b. *The Astrophysical Journal*, 812 (1), 48. doi: 10.1088/0004-637X/812/1/48
- Zasche, P. (2016, März). PHOEBE - step by step manual. *Open European Journal on Variable Stars*, 176, 10.
- Zieliński, P., Janík, J., Neuhäuser, R., Mugrauer, M., Garai, Z., Pribulla, T., ... YETI Team (2018, November). Search for young transiting exoplanets within YETI project. *arXiv e-prints*, arXiv:1811.06993.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Menschen ganz herzlich bedanken, die mich im Laufe der Promotion sowie dem Erstellen dieser Doktorarbeit begleitet und unterstützt haben.

Ich danke Prof. Dr. Ralph Neuhäuser, der mir die Promotion am Astrophysikalischen Institut in Jena ermöglicht hat, für die sehr gute Betreuung. Bei Fragen oder Problemen konnte ich mich immer an ihn wenden und erhielt stets Hilfe sowie konstruktive Hinweise. Weiterhin danke ich ihm für die Konzipierung eines interessanten Promotionsthemas sowie dem Ermöglichen der Teilnahme an mehreren Konferenzen und Vorträgen, bei denen ich wertvolle Erfahrungen sammeln konnte.

Mein Dank gilt Dr. Markus Mugrauer, der mich zuvor während meiner Examensarbeit betreute, für eine erfolgreiche Zusammenarbeit, seine kompetenten Ratschläge und die Organisation des Beobachtungsbetriebs an der Universitäts-Sternwarte, welche für die Aufnahme und Prozessierung der Daten innerhalb dieser Doktorarbeit essenziell war.

Des Weiteren danke ich Jürgen Weiprecht und Dr. Frank Gießler für die Betreuung der IT-Infrastruktur, welche sie durch Wartungen und Kontrollen am Laufen halten und dass sie mir bei Computer-Problemen zur Seite standen.

Darüber hinaus gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Astrophysikalischen Instituts, die eine positive und konstruktive Arbeitsatmosphäre schufen. Ich habe mich in den vergangenen Jahren hier sehr wohl gefühlt und das Institut ist zu einem zweiten Zuhause für mich geworden. Die gemeinsamen Besuche des Theatercafes nach Feierabend oder des Physikerballs sind nicht selbstverständlich und spiegeln das positive Betriebsklima wider.

Ich bedanke mich bei B.Sc. Saskia Schlagenhaut für die Berechnung der Detektionsgrenzen in den Hochkontrastaufnahmen im Infrarot sowie viele unterhaltsame Mittagspausen zusammen mit B.Sc. Wolfgang Stenglein.

Für die vielen gemeinsam absolvierten Beobachtungsnächte in Großschwabhausen danke ich M.Sc. Therese Heyne, Dr. Oliver Lux, M.Sc. Kai-Uwe Michel, Dr. Markus Mugrauer, B.Sc. Wolfgang Stenglein und Dr. Daniel Wagner. Außerdem gilt mein Dank allen Beobachtern des YETI-Netzwerkes, insbesondere Dr. Matilde Fernández, Dr. Zoltan Garai, Dr. Po-Chien Huang,

Dr. Theo Pribulla und Dr. Pawel Zieliński, für die Aufnahme einer Vielzahl an Daten.

Ich danke vielmals Dr. Ronny Errmann für die Bereitstellung, Modifikation und der Beantwortung vieler Fragen bzgl. seiner Photometrie-Programme, die ein unentbehrliches Werkzeug für diese Dissertation waren.

Außerdem danke ich Dr. Stefanie Rätz für ihre Unterstützung bei der Analyse der Datensätze von CVSO 30.

Diese Dissertation basiert teilweise auf Daten, die mit dem Subaru-Teleskop gesammelt wurden, das vom Nationalen Astronomischen Observatorium Japans betrieben wird.

Ich fühle mich geehrt und bin dankbar für die Möglichkeit, das Universum vom Maunakea aus zu beobachten, der auf Hawaii eine kulturelle, historische und natürliche Bedeutung hat.

Ich danke dem LBT, welches eine internationale Zusammenarbeit zwischen Einrichtungen in den Vereinigten Staaten, Italien und Deutschland ist. Partner der LBT Kooperation sind: Die Universität von Arizona im Namen des Universitätssystems von Arizona; das Istituto Nazionale di Astrofisica, Italien; die LBT Beteiligungsgesellschaft in Deutschland: die Max-Planck-Gesellschaft, das Astrophysikalische Institut Potsdam und die Universität Heidelberg; die Ohio State University und die Research Corporation im Namen der University of Notre Dame, der University of Minnesota und der University of Virginia. Für die Beobachtung meiner Transitkandidatenmuttersterne mit LUCI 1 am LBT danke ich Prof. Dr. Jochen Heidt.

In dieser Arbeit werden Ergebnisse der Weltraummission Gaia der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) vorgestellt. Die Gaia-Daten werden vom Gaia Data Processing and Analysis Consortium (DPAC) verarbeitet. Die Finanzierung des DPAC erfolgt durch nationale Institutionen, insbesondere durch die am Gaia MultiLateral Agreement (MLA) beteiligten Institutionen. Für diese Dissertation wurden die SIMBAD-Datenbank und das Vizier-Katalogzugriffstool genutzt, welche vom CDS in Straßburg in Frankreich betrieben werden.

Für die Bereitstellung und den einfachen Zugang zu diesen Daten danke ich allen dafür verantwortlichen Personen und Institutionen.

Für das ausführliche Korrekturlesen dieser Dissertation bedanke ich mich ganz herzlich bei Eleen Hammer, Dr. Robert Hampe, Dr. Oliver Lux, Barbara Mießner, M.Sc. Anna Julia Poser und Dr. Daniel Wagner für viele wertvolle Hinweise.

Ich danke der Abteilung Judo des Polizeisportverein Meiningen 90 e.V., dem Universitäts-sportverein Jena e. V. und der Fitnessarena Jena für den sportlichen Ausgleich während der Promotion. Für die Produktion der erforderlichen Rohstoffe meines Lieblingskaffees bedanke ich mich bei den verantwortlichen Bauern und Röstereien.

Die vergangenen Jahre waren arbeitsintensiv und nicht immer stressfrei. Daher trug der Rückhalt im Privatem dazu bei, dass auch diese Herausforderungen zu stemmen waren. Ich danke ganz besonders Sven Bischoff, B.Sc. Michael Kirsch und B.A. Tony Müller dafür, dass sie mir Mut gemacht haben und dazu beitrugen in anstrengenden Situationen einen kühlen Kopf zu bewahren.

Des Weiteren gilt meine tiefe Dankbarkeit meinen Eltern, Eva und Joachim Bischoff, dafür, dass sie mich auf meinem gesamten bisherigen Lebensweg begleitet haben. Ohne ihre Unterstützung wären die Promotion sowie das vorangegangene Studium nicht möglich gewesen und ich verdanke ihnen, dass ich derjenige geworden bin, der ich heute bin.

Ich danke der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung dieser Promotion, innerhalb des Schwerpunktprogramm SPP 1992 „Exploring the Diversity of Extrasolar Planets“, durch die Finanzierung der Projekte NE 515/58-1 und MU 2695/27-1.

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:

- *Prof. Dr. Ralph Neuhäuser*: In beratender Weise.
- *Dr. Markus Mugrauer*: PSF-Subtraktion der überblendeten Sterne NGC 7243 JFA 1310:1 und NGC 7243 JFA 1310:2 in der K_s -Band-Aufnahme sowie in beratender Weise.
- *Dr. Ronny Errmann*: Bereitstellung bzw. Modifikation der Programme `automat.py` und `einzeldateien_aus_dphot.py`.
- *Dr. Stefanie Rätz*: Erstellung der Lichtkurven von CVSO 30 aus den Beobachtungen der Observatorien GSH, IAAT, LOT, OGS und OSN im Zeitraum von Oktober 2014 bis Dezember 2018.
- *Prof. Dr. Jochen Heidt*: Durchführung der Beobachtungen mit LUCI 1 am LBT.
- *Dr. Zoltán Garai*: Beobachtung von IC 348 LRL 47 am 01.10.2020 sowie Erstellung der Lichtkurve.
- *Dr. Theo Pribulla*: Beobachtung von IC 348 LRL 47 am 06.11.2020 sowie Erstellung der Lichtkurve.
- *B.Sc. Saskia Schlagenhauf*: Messung der Detektionsgrenzen in den Infrarotaufnahmen mit adaptiver Optik.
- Die Beobachtungen an Teleskopen innerhalb des YETI-Netzwerkes wurden von lokalen Astronomen vor Ort ausgeführt und insbesondere von M. Mugrauer, M. Fernández, P. C. Huang und P. Zieliński koordiniert.

- Die Beobachtungen am Subaru Teleskop wurden von den dort angestellten Astronomen im Servicemodus durchgeführt.

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 (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

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

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.

Jena, 6. April 2022

Richard E. H. Bischoff

Veröffentlichungen und Vorträge

Veröffentlichungen

- [Bischoff et al., 2017] R. Bischoff, M. Mugrauer, T. Zehe, D. Wöckel, A. Pannicke, O. Lux, D. Wagner, T. Heyne, C. Adam und R. Neuhäuser (2017). Radial velocity measurements and orbit determination of eight single-lined spectroscopic binary systems. *Astronomische Nachrichten*, Volume 338, Issue 6, pp. 671 - 679.
- [Zehe et al., 2018] T. Zehe, M. Mugrauer, R. Neuhäuser, A. Pannicke, O. Lux, R. Bischoff, D. Wöckel und D. Wagner (2018). The radial and rotational velocity of ζ Ophiuchi. *Astronomische Nachrichten*, Volume 339, Issue 1, pp. 46 - 52.
- [Maciejewski et al., 2018] G. Maciejewski, M. Fernández, F. Aceituno, S. Martín-Ruiz, J. Ohlert, D. Dimitrov, K. Szyszka, C. von Essen, M. Mugrauer, R. Bischoff, K.-U. Michel, M. Mallonn, M. Stangret und D. Moździerski (2018). Planet-Star Interactions with Precise Transit Timing. I. The Refined Orbital Decay Rate for WASP-12 b and Initial Constraints for HAT-P-23 b, KELT-1 b, KELT-16 b, WASP-33 b and WASP-103 b. *Acta Astronomica*, Volume 68, Issue 4, pp. 371 - 401.
- [Huang et al., 2019] P. C. Huang, W. P. Chen, M. Mugrauer, R. Bischoff, J. Budaj, O. Burkhonov, S. Ehgamberdiev, R. Errmann, Z. Garai, H. Y. Hsiao, C. L. Hu, R. Janulis, E. L. N. Jensen, S. Kiyota, K. Kuramoto, C. S. Lin, H. C. Lin, J. Z. Liu, O. Lux, H. Naito, R. Neuhäuser, J. Ohlert, E. Pakštienė, T. Pribulla, J. K. T Qvam, S. Raetz, S. Sato, M. Schwartz, E. Semkov, S. Takagi, D. Wagner, M. Watanabe und Y. Zhang (2019). Diagnosing the Clumpy Protoplanetary Disk of the UXor Type Young Star GM Cephei. *The Astrophysical Journal*, Volume 871, Issue 2, id. 183.
- [Heyne et al., 2020 a] T. Heyne, M. Mugrauer, R. Bischoff, D. Wagner, S. Hoffmann, O. Lux, V. Munz, M. Geymeier und R. Neuhäuser (2020). Spectroscopic characterization of nine binary star systems as well as HIP 107136 and HIP 107533. *Astronomische Nachrichten*, Volume 341, Issue 1, pp. 99 - 117.

- [Mugrauer et al., 2020] M. Mugrauer, R. Bischoff, S. Stenglein, J. Trautmann, B. Baghdasaryan und S. Schlagenhauf (2020). Follow-up imaging observation of comet 2I/Borisov. *Astronomische Nachrichten*, Volume 341, Issue 3, pp. 258 - 272.
- [Heyne et al., 2020 b] T. Heyne, M. Mugrauer, R. Bischoff, D. Wagner, R. Neuhäuser, S. Hoffmann und O. Lux (2020). Radial Velocity Measurements of the Runaway Stars AE Aur and ι Ori. *Astronomische Nachrichten*, Volume 341, Issue 6-7, pp. 645 - 650.
- [Szegedi-Elek et al., 2020] E. Szegedi-Elek, P. Ábrahám, Ł Wyrzykowski, M. Kun, Á Kóspál, L. Chen, G. Marton, A. Moór, C. Kiss, A. Pál, L. Szabados, J. Varga, E. Varga-Verebélyi, C. Andreas, E. Bachelet, R. Bischoff, A. Bódi, E. Breedt, U. Burgaz, T. Butterley, J. M. Carrasco, V. Čepas, G. Damjanovic, I. Gezer, V. Godunova, M. Gromadzki, A. Gurgul, L. Hardy, F. Hildebrandt, S. Hoffmann, M. Hundertmark, N. Ihanec, R. Janulis, Cs. Kalup, Z. Kacmarek, R. Könyves-Tóth, M. Krezinger, K. Kruszyńska, S. Littlefair, M. Maskoliūnas, L. Mészáros, P.; Mikołajczyk, M. Mugrauer, H. Netzel, A. Ordasi, E. Pakštienė, K. A. Rybicki, K. Sárneczky, B. Seli, A. Simon, K. Šiškauskaitė, A. Sódor, K. V. Sokolovsky, W. Stenglein, R. Street, R. Szakáts, L. Tomasella, Y. Tsapras, K. Vida, J. Zdanavičius, M. Zieliński, P. Zieliński und O. Ziółkowska (2020). Gaia 18dvy: A New FUor in the Cygnus OB3 Association. *The Astrophysical Journal*, Volume 899, Issue 2, id. 130.
- [Bischoff et al., 2020 a] R. Bischoff, M. Mugrauer, G. Torres, T. Heyne, O. Lux, V. Munz, R. Neuhäuser, S. Hoffmann und A. Trepanovski (2020). Identification of young nearby runaway stars based on Gaia data and the lithium test. *Astronomische Nachrichten*, Volume 341, Issue 9, pp. 908 - 942.
- [Bischoff et al., 2020 b] R. Bischoff, M. Mugrauer, O. Lux, T. Zehe, T. Heyne, D. Wagner und M. Geymeier (2020). Spectroscopic orbit determination of the long-periodic binary system θ Cep. *Astronomische Nachrichten*, Volume 341, Issue 10, pp. 989 - 995.
- [Lux et al., 2021] O. Lux, R. Neuhäuser, M. Mugrauer und R. Bischoff (2021). A search for runaway stars in twelve Galactic supernova remnants. *Astronomische Nachrichten*, Volume 342, Issue 3, pp. 553 - 577.
- [Bischoff & Mugrauer, 2021] R. Bischoff und M. Mugrauer (2021). Follow-up spectroscopy of comet C/2020 F3 (NEOWISE). *Astronomische Nachrichten*, Volume 342, Issue 6, pp. 833 - 839.

- [Bischoff et al., 2021] R. Bischoff, M. Mugrauer, G. Torres, M. Geymeier, R. Neuhäuser, W. Stenglein und K.-U. Michel (2021). Identification of additional young nearby runaway stars based on Gaia data release 2 observations and the lithium test. *Astronomische Nachrichten*, Volume 342, Issue 7-8, pp. 960 - 974.
- [Hambaryan et al., 2022] V. Hambaryan, K. A. Stoyanov, M. Mugrauer, R. Neuhäuser, W. Stenglein, R. Bischoff, K.-U. Michel, M. Geymeier, A. Kurtenkov und A. Kostov (2022). The origin of the high-mass X-ray binary 4U 2206+54/BD+53 2790. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 511, Issue 3, pp. 4123 - 4133.
- [Bischoff et al., 2022 a] R. Bischoff, St. Raetz, M. Fernández, M. Mugrauer, R. Neuhäuser, P. C. Huang, W. P. Chen, A. Sota, J. Jiménez Ortega, V. V. Hambaryan, P. Zieliński, M. Drózdź, W. Ogłóza, W. Stenglein, E. Hohmann und K.-U. Michel (2022). Young Exoplanet Transit Initiative follow-up observations of the T Tauri star CVSO 30 with transit-like dips. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 511, Issue 3, pp. 3487 - 3500.
- [Bischoff et al., 2022 b] R. Bischoff, M. Fernández, P. Zieliński, T. Pribulla, Z. Garai, S. Schlagenhauf, M. Kitze und J. Schmidt (2022). Follow-up observations of the young grazing eclipsing binary IC 348 LRL 47. *Astronomische Nachrichten*, in Vorbereitung.

Vorträge und Poster

- Vortrag: „Radial velocity measurements and analysis of binaries“
Heraeus Summer School - Astronomy from four perspectives: IV Origins of stars and planets, Florenz/Italien, 23.08. - 30.08.2016
- Vortrag: „Rotation curves of galaxies“
zusammen mit M. Dimmler, M. Kölsch und L. Penno
Heraeus Summer School - Astronomy from four perspectives: V The Dark Universe, Heidelberg/Deutschland, 27.08. - 02.09.2017
- Vortrag: „Observing and modelling young transiting planets“
zusammen mit A. J. Poser
SPP 1992 Exoplanet Diversity Kick-off Meeting, Berlin/Deutschland, 21.02. - 01.03.2018
- Vortrag: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
Workshop - Low mass planets, Rostock/Deutschland, 06.08. - 07.08.2018
- Vortrag: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
YETI - Workshop, Jena/Deutschland, 18.10. - 19.10.2018
- Poster: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
Planet Formation and Evolution, Rostock/Deutschland, 27.02. - 01.03.2019
- Vortrag: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
SPP 1992 Young Researchers Retreat, Göttingen/Deutschland, 15.04. - 17.04.2019
- Vortrag: „Observing and modelling young transiting planets“
zusammen mit A. J. Poser
SPP 1992 All-hands-on-deck meeting, Hamburg/Deutschland, 04.09. - 06.09.2019
- Poster: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
Exoplanets III, Heidelberg/Deutschland (online), 27.07. - 31.07.2020
- Vortrag: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
SPP 1992 Webinar, (online), 21.03.2021
- Vortrag: „Follow-up observations of YETI planet candidates“
SPP 1992 All-hands-on-deck meeting, (online), 06.10. - 07.10.2021