

Der Kampf um die Milli-Mags

Manfred Rätz

Vor nunmehr 16 Jahren konnte ich erfolgreich meinen ersten Exoplanetentransit nachweisen. Als im Jahr 1999 der erste Exoplanet mit der Transitmethode entdeckt wurde [1], beobachteten meine Frau und ich schon seit mehr als 20 Jahren visuell, und seit November 1998 auch mit CCD-Kamera, veränderliche Sterne. Obwohl mit der Nutzung der CCD-Technik der Nachweis von viel kleineren Lichtwechselamplituden möglich wurde, waren die Transitplaneten nur ein neuer, wenn auch interessanter Typ von Bedeckungssternen mit sehr kleiner Amplitude. Die ersten 16 Transitplaneten bekamen auch eine Bezeichnung als veränderlicher Stern und wurden im Generalkatalog für Veränderliche Sterne (GCVS) [2] als neuer Bedeckungssternotyp mit der Typenbezeichnung EP geführt. So bekam der erste mit der Transitmethode entdeckte Exoplanet HD209458 die Bezeichnung V0376 Peg. Aber auf Grund der sehr kleinen Amplituden war meine Meinung, dass Exoplaneten kein Beobachtungsobjekt für mich sind. Und so blieb es auch bis ins Jahr 2006.

In diesem Jahr hatte ich die Möglichkeit, an einem Vortrag von Dr. Guillermo Torres vom Center for Astrophysics der Harvard University Boston im Rahmen des astrophysikalischen Kolloquiums der Universitätssternwarte Jena teilzunehmen. In diesem stellte Dr. Torres Instrumente und die damit gewonnenen Lichtkurven von Transitplaneten vor. Meine Reaktion danach war: „Das kann ich auch“.

Der erste Exoplanet, den ich beobachten wollte, war TrES-2b. Dieser war das Thema der Diplomarbeit unserer Tochter und ich wollte auch etwas dazu beitragen. Beim dritten Versuch, am 16. September 2007, war ich dann erfolgreich. Dies führte zu der in Abbildung 1 gezeigten Grafik, die so in der Diplomarbeit und der anschließenden Veröffentlichung in den Astronomischen Nachrichten [3] erschien und drei Lichtkurven im Vergleich zeigt.

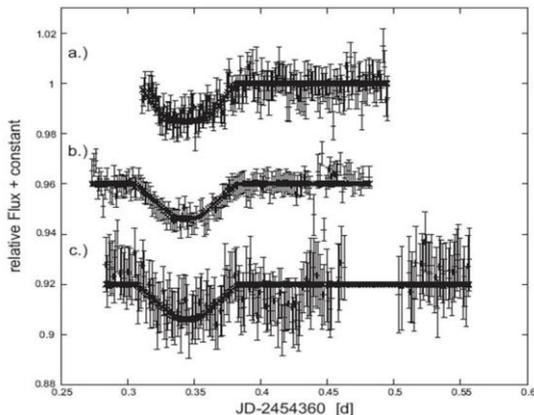


Abb. 1: TrES-2-Transit vom 16.09.2007 mit verschiedenen Teleskopen (aus [3])

- I-Band-Photometrie Universitäts-Sternwarte Jena
- R-Band-Photometrie Wendelstein
- I Ungefilterte eigene Photometrie

Der erste Schritt zur Steigerung der Genauigkeit war ein erzwungener. Im Jahr 2009 fiel die ST-6 mit einem Defekt aus. Ein Ersatz musste her und die Wahl fiel auf eine G2-1600 von Moravian Instruments. Diese Kamera ist wegen ihrer 9 Mikrometer großen Pixel sehr gut für die Fotometrie geeignet und lag auch im Rahmen des gesetzten Budgets. Mit der Kombination 8-Zoll-SCT und G2-1600 beobachtete ich dann sporadisch immer auch Exoplaneten. Höhepunkt dieser frühen Phase war dann der Reiff-Vortrag 2010, den meine Tochter und ich auf der BoHeTa zur Beobachtung der Transitplaneten aus Profi- und Amateursicht halten durften (siehe auch [4]). Bei diesem Vortrag habe ich die in Abbildung 2a dargestellte Beobachtung als die Grenze meiner Möglichkeiten vorgestellt.

Im September 2017 hatte ich mich dann dazu durchgerungen, den 8-Zoll-SCT und die AP-400-Montierung abzulösen (beide waren eine Leihgabe von W. Moschner). Auf der AME habe ich mir ein C11 und eine EQ-6 gekauft. Diese Technik hatte im November 2017 ihr „First Light“. Den Zuwachs an Genauigkeit zeigt die Abbildung 2b.

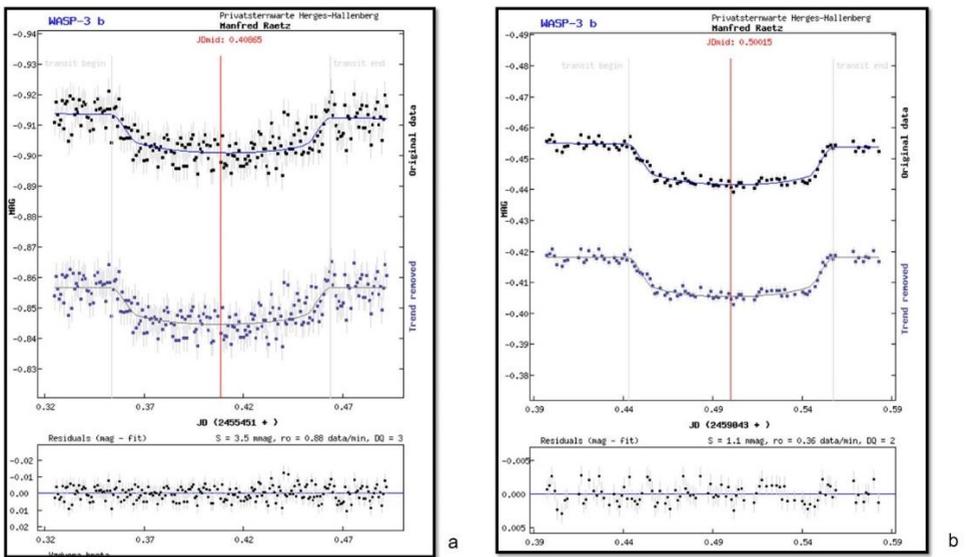


Abb. 2: Beobachtung von WASP-3b am 11.09.2010 (a) und vom 17.07.2020 (b)

WASP-3b ist ein Transitplanet im Sternbild Leier und das System hat eine Helligkeit im V-Bereich von 10.63 mag. Die Amplitude der Bedeckung beträgt 0.0136 mag und gehörte zu den ersten Transitplaneten, welche ich beobachtet habe.

Doch nicht nur neue Technik führte zur Steigerung der Genauigkeit. Es zeigte sich zum Beispiel, dass eine längere Belichtungszeit sich positiv auf die Streuung der Messwerte auswirkt. Es wird nicht nur das Signal-Rausch-Verhältnis besser, sondern auch kurzzeitige Störungen der Atmosphäre werden gedämpft. Als Standardbelichtungszeit nutze ich 120 s mit einem Astrodon ExoPlanet-Filter (V – IR). Sollte der Stern mit dieser

Kombination in die Sättigung geraten, nutze ich eher einen anderen Filter (I, R, V), bevor ich die Belichtungszeit verkürze. Selbst wenn der Stern so hell ist, dass ich nur 15 s belichten kann, stacke ich im Nachgang bis zu acht Aufnahmen, um eine längere Belichtungszeit zu erreichen.

Der vorerst letzte Schritt bei der Steigerung der Genauigkeit war der Wechsel der Auswertesoftware. Bis zum März 2022 habe ich zur Fotometrie das Programm MuniWin unter Verwendung mehrerer Vergleichssterne (Ensemble photometry) benutzt. Die Daten der erzeugten Lichtkurve lassen sich als Textdatei speichern und können somit auf der Webseite der Exoplanet Transit Database (ETD) [5] zur Bestimmung der Parameter des Transits (Zeit, Tiefe und Dauer des Transits) verwendet werden. Seit März 2022 nutze ich nun zur Fotometrie das Programm AstrolmageJ. AstrolmageJ hat einen Modul, der speziell für die Auswertung von Exoplanetentransits erstellt wurde. Die Dark- und Flatkorrektur führe ich weiter mit MuniWin durch und nutze die dabei erzeugten FITS-Dateien als Eingangsdateien von AstrolmageJ. Nach der Fotometrie habe ich in diesem Programm die Möglichkeit, die Daten selber zu fitten und die Parameter des Transits zu bestimmen. Außerdem sind diverse Möglichkeiten implementiert, die es erlauben, Trends im Normallicht zu eliminieren (z.B. Airmass). Auch hier erhalte ich am Ende eine Textdatei die ich bei der ETD verwenden kann.

Mit welcher Genauigkeit es mir nun möglich ist, Exoplaneten zu beobachten, möchte ich an dem folgenden Beispiel zeigen.

Es handelt sich dabei um das Exoplanetensystem TOI-4010, welches von dem TESS-Satelliten 2020 entdeckt wurde. Der Stern selbst ist ein K-Zwerg mit 0.85 Sonnenradien und 0.89 Sonnenmassen. Der Stern hat eine V-Helligkeit von 12.29 und mit den Koordinaten 01h20m51.5s +66°04'29" ist er für mich gut beobachtbar. Der Stern wird von 4 Planeten umkreist. Davon erzeugen 3 Planeten einen Transit. Der vierte ist nur durch die Variation der Radialgeschwindigkeit nachweisbar.

TOI-4010 b hat einen Radius von ca. 3 Erdradien und eine Masse von 11 Erdmassen. Er umkreist seinen Mutterstern mit einer Periode von 1.3 Tagen. Er ist somit ein heißer Sub-Neptun und mit seinen Bahnparametern einer der wenigen Planeten dieser Größe in der sogenannten „hot Neptune desert“.

TOI-4010 c und TOI-4010 d sind sogenannte Sub-Saturne. TOI-4010 c hat einen Radius von 5.9 Erdradien bei einer Masse von 20.3 Erdmassen und eine Periode von 5.4 Tagen. TOI-4010 d ist der schwerste bisher entdeckte Sub-Saturn in einem System, welches aus mindestens drei Planeten besteht. Seine Daten sind: 6.2 Erdradien, 38 Erdmassen und eine Periode von 14.7 Tagen.

TOI-4010 e ist ein langperiodischer Riesenplanet, der bei den Radialgeschwindigkeitsbeobachtungen entdeckt wurde. Seine Umlaufperiode beträgt ca. 762 Tage. Allerdings beruht dieser Wert nur auf einem Beobachtungszeitraum von 900 Tagen. Alle diese genannten Daten sind der Arbeit Kunimoto [6] entnommen.

Für die Transit-Tiefe sind bei der ETD die folgenden Werte angegeben:

TOI-4010 b 0.0012 mag

TOI-4010 c 0.0046 mag

TOI-4010 d 0.0050 mag

Für die Nacht vom 23. zum 24. August 2023 war nun ein Transit von TOI-4010 c vorhergesagt. Bei einer Amplitude von 0.0046 mag war der Nachweis zwar anspruchsvoll, sollte aber kein Problem sein. Mir fiel dann auf, dass in der zweiten Nachthälfte noch ein Transit von TOI-4010 b stattfinden sollte. Die Amplitude von 0.0012 mag war eigentlich viel zu gering, als dass ich erwarten konnte, diesen Transit nachzuweisen. Aber da ja in der ersten Nachthälfte der Transit von TOI-4010 c war, ließ ich die Serie einfach bis zur Dämmerung durchlaufen. Das Ergebnis, das ich nach einer längeren Auswertung erhalten habe, hat mich aber dann doch überrascht. Der Transit von TOI-4010 b war eindeutig nachzuweisen (Abb.3)

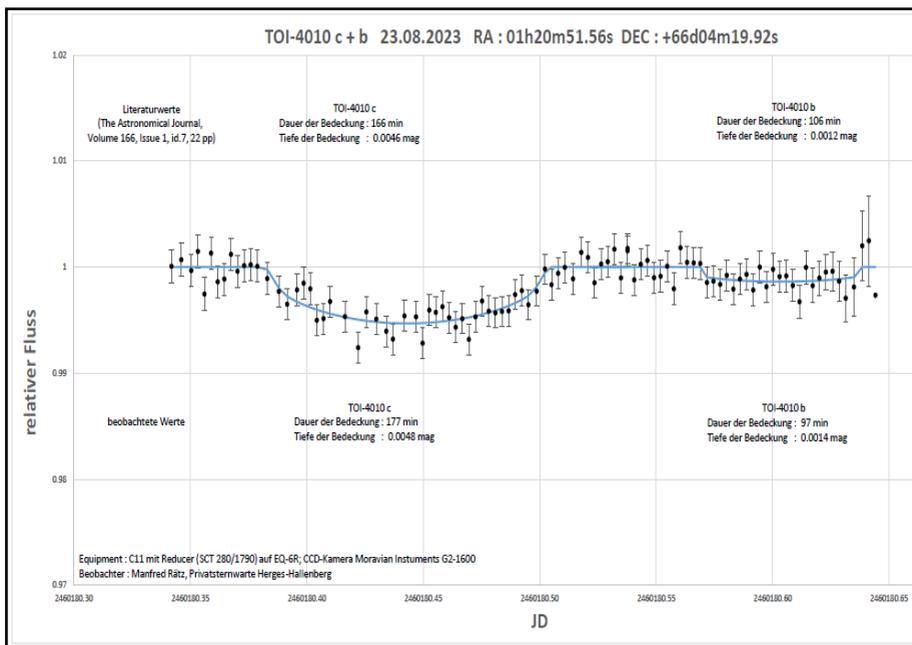


Abb.3 : Transit von TOI-4010 c und TOI-4010 b am 23. / 24. August 2023

Der ermittelte Fehler der einzelnen Messpunkte lag bei 1.5 mmag (0.0015 mag), und das bei einem Stern 12. Größe. Ich denke, dass ich mit dieser Beobachtung, die Möglichkeiten meiner Ausrüstung ausgeschöpft habe. Aber dies habe ich vor 13 Jahren beim Reiff-Vortrag auf der BoHeTa auch schon mal gesagt...

Literatur

- [1] Castellano, J. Jenkins, D. E. Trilling, L. Doyle, D. Koch, 2000, AJ, 532, Issue 1, pp. L51-L53.
Detection of Planetary Transits of the Star HD 209458 in the Hipparcos Data Set
- [2] Samus N.N., Kazarovets E.V., Durlevich O.V., Kireeva N.N., Pastukhova E.N.,
Astronomy Reports, 2017, vol. 61, No. 1, pp. 80-88
General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1
<http://www.sai.msu.su/gcvs/gcvs/>
- [3] Raetz, S., Mugrauer, M., Schmidt, T. O. B., et al. 2009, Astronomische Nachrichten, 330, 475
Planetary Transit Observations at the University Observatory Jena: TrES-2.
- [4] Raetz, St. & Raetz, M. 2011, Sterne und Weltraum, 10, 78
Planeten bei fremden Sonnen
- [5] Poddany S., Brat L., Pejcha O., New Astronomy 15 (2010), pp. 297-301,
Exoplanet Transit database. Reduction and processing of the photometric data of
exoplanet transits
- [6] Kunimoto, M., et al. 2023, The Astronomical Journal, Volume 166, Issue 1, id.7, 22 pp
TOI-4010: A System of Three Large Short-Period Planets With a Massive Long-Period
companion

Manfred Rätz
Privatsternwarte Herges-Hallenberg
Stiller Berg 6
98587 Steinbach-Hallenberg OT Herges-Hallenbeg
mraetz.herges@stiller-berg.de