

JUNGE

wissenschaft

JungforscherInnen publizieren
online | *peer reviewed* | original



Geo- & Raum-
wissenschaft

Exoplanet im Fokus

Erforschung des HD189733-Systems

In dieser Arbeit wurde der Planet HD189733b mit Hilfe der Transitmethode nachgewiesen und der Stern HD189733 mithilfe eines Spektrums näher betrachtet. Dadurch war es möglich, verschiedene Parameter des Sternensystems zu berechnen. Der Vergleich mit Literaturwerten zeigt, dass die Abweichungen nur gering sind. Daraus wird deutlich, welche Möglichkeiten ein erdgebundenes Teleskop bietet.

DIE JUNGFORSCHERIN



© Stiftung Jugend forscht e.V.

Anna Maria Weiß (2006)

Einstein-Gymnasium,
Neuenhagen

Eingang der Arbeit:

14.7.2023

Arbeit angenommen:

4.4.2024



Exoplanet im Fokus

Erforschung des HD189733-Systems

1. Einleitung

Die Frage, wie Planeten außerhalb unseres Sonnensystems aussehen und ob auf ihnen potentiell Leben existieren könnte, ist eine der spannendsten der Astronomie. Sie hängt mit der Frage zusammen, ob es in den Tiefen des Universums andere Planeten gibt, die wie unsere Erde in einer bestimmten Zeit um einen Stern kreisen. Ebenso interessant ist die Frage, welche Eigenschaften diese unbekannt Planeten und ihre Sternensysteme aufweisen.

Lange Zeit galten Objekte außerhalb unseres Sonnensystems als unerforscht und unerreichbar. Denn erst im Jahre 1995 wurde erstmals ein Exoplanet um einen sonnenähnlichen Stern nachgewiesen. Dies geschah am Haute-Provence Observatorium im südöstlichen Frankreich mithilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode [6]. Die

Untersuchung von Exoplaneten ist daher ein jüngerer Teil der Astronomie. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Exoplaneten entdeckt und nach den verschiedensten Eigenschaften untersucht. Es sind 5305 Exoplaneten [10] (Stand: 23.01.23) bekannt und durch die Arbeit der Weltraumteleskopmissionen sowie die der bodengebundenen Durchmusterungen werden es täglich mehr. Wie diese unbekannt Welten aussehen, kann ebenso von der Erde aus beobachtet werden.

Auch die folgende Arbeit hat zum Ziel, einen, allerdings bereits bekannten Exoplaneten nachzuweisen und sein Sternensystem näher zu betrachten, indem ein Planetentransit beobachtet und ein Spektrum des Sterns aufgenommen wird. Es handelt sich um das Sternensystem von HD189733.

2. Die Vermessung eines Sternensystems

2.1 Nachweis eines Exoplaneten mithilfe der Transitmethode

Zum Nachweis des Exoplaneten wird die Transitmethode verwendet. Diese basiert auf Helligkeitsabfällen, die durch einen Planetentransit hervorgerufen werden. Ein derartiger Transit erfolgt, wenn der zu beobachtende Planet zwischen seinem Stern und unserer Erde vorbeizieht. Dadurch kann mit einem geeigneten Teleskop und einer präzisen Kamera ein minimaler Helligkeitsabfall im Sternenlicht nachgewiesen werden. Um somit einen Exoplaneten nachzuweisen, werden über den Zeitraum des Transits in regelmäßigen Abständen Bilder des Sterns aufgenommen. Diese werden mithilfe geeigneter Programme ausgewertet und die Daten in einem Helligkeits-Zeit-Diagramm dargestellt. In diesem Diagramm ist eine Kurve zu erkennen, die den Helligkeitsabfall im Sternenlicht durch den Exoplaneten veranschaulicht (Prinzipbild siehe [Abb. 1](#)). Wie groß die Abdunkelung ist, hängt von der Größe des Sterns und des Planeten ab. Wichtig zu beachten ist bei den Messungen von der Erde aus, dass der Himmel möglichst klar ist. Außerdem muss die Umlaufbahn des Exoplaneten so verlaufen, dass er zwischen seinem Stern und unserer Erde vorbeizieht. Der Planet sollte im Verhältnis zu seinem Stern nicht zu klein sein, da sonst die Abdunkelung zu gering ist, um sie korrekt nachweisen zu können.

2.2 Vermessung eines Exoplaneten und Sternensystems

2.2.1 Planetenradius

Mit den Helligkeitsdaten aus der Auswertung des Transits wird der Radius des Planeten berechnet.

Dazu wird die relative Transittiefe $\Delta flux$ benötigt. Der Planet dunkelt im Transit einen Teil des Sterns ab (s. [Abb. 1](#)). Das

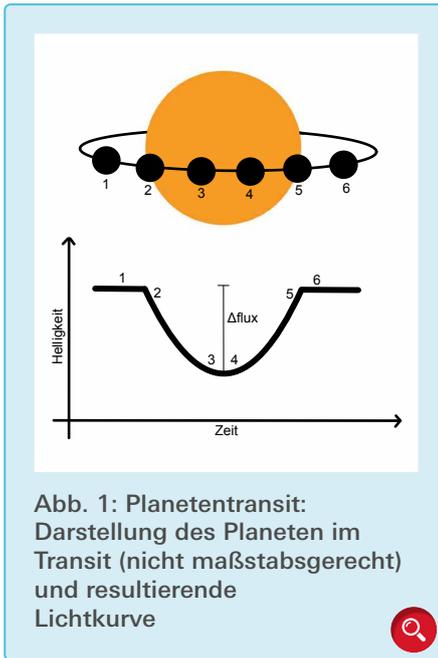


Abb. 1: Planetentransit: Darstellung des Planeten im Transit (nicht maßstabsgerecht) und resultierende Lichtkurve

Ausmaß der Abdunkelung relativ zur Ausgangshelligkeit des Sterns wird als Transittiefe bezeichnet. Mithilfe dieser Größe und den entsprechenden Überlegungen lässt sich der Planetenradius bestimmen (s. Formel 1).

Für die minimale (Punkte 3 und 4 in Abb. 1) und maximale Helligkeit (Punkte 1 und 6 in Abb. 1) werden Mittelwerte aus den Helligkeitswerten der jeweiligen Transitphasen gebildet.

$$\Delta flux = 1 - \frac{Helligkeit_{min}}{Helligkeit_{max}}$$

Um nun den Radius des Exoplaneten zu berechnen, wird der Radius des dazugehörigen Sterns benötigt. Dieser wird basierend auf der Leuchtkraft und der Masse des Sterns hergeleitet, die mithilfe des Spektrums bestimmt werden. In der Herleitung entspricht der Flächeninhalt des Sterns A_s 100 Prozent und der Flächeninhalt des Planeten A_p der Transittiefe $\Delta flux$. Für den Radius des Planeten R_p ergibt sich dann mit dem Radius des Sterns R_s :

$$\frac{\pi R_p^2}{\pi R_s^2} = \frac{\Delta flux}{100\%}$$

$$R_p = R_s \sqrt{\Delta flux} \quad (1)$$

2.2.2 Umlaufzeit

Die Umlaufzeit t des Planeten wird an-

hand von TESS-Daten, die über einen längeren Zeitraum aufgenommen wurden und somit mehrere Planetentransits enthalten, berechnet. Der Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) ist ein Weltraumteleskop der NASA, das den Nachthimmel in verschiedenen Sektoren beobachtet und frei zugängliche Lichtkurven unzähliger Sterne erstellt.

Mithilfe mehrerer selbstaufgenommener Datenreihen könnte das kleinste gemeinsame Vielfache der Abstände der Transitmittelpunkte gebildet und somit die Umlaufzeit berechnet werden. Da wetterbedingt nur eine Datenreihe aufgenommen werden konnte, wird auf TESS-Daten zurückgegriffen.

2.2.3 Grenzen der habitablen Zone

Die habitable Zone bezeichnet bestimmte Grenzen des Abstandes zum Mutterstern, in dem sich der Planet befinden muss, damit flüssiges Wasser auf diesem existieren kann. Zur Untersuchung der habitablen Zone wird davon ausgegangen, dass die absorbierte Strahlungsleistung des Sterns auf dem Planeten gleich der emittierten Strahlungsleistung des Planeten ist. Dabei wird von Schwarzsrahler in einem Strahlungsgleichgewicht ausgegangen, was eine starke Vereinfachung darstellt, da Sterne Unregelmäßigkeiten, wie beispielsweise Sternflecken, aufweisen können. σ beschreibt hierbei die Boltzmann-Konstante.

$$\pi R_p^2 \left(\frac{R_s}{d}\right)^2 \sigma T_s^4 = 4\pi R_p^2 \sigma T_p^4$$

$$d = \frac{R_s}{2} \left(\frac{T_s}{T_p}\right)^2 \quad (2)$$

Hier wird die Effektivtemperatur des Sterns T_s und die mittlere Oberflächentemperatur des Planeten T_p verwendet. Um den äußeren Rand ($d^a = d_{out}$) der habitablen Zone zu bestimmen, wird für T_p 273 K, also 0 °C eingesetzt. Für den inneren Rand ($d = d_{in}$) werden 373 K, also 100 °C genutzt. Eine Voraussetzung für Leben, wie es bekannt ist, ist flüssiges Wasser. Zwischen 0 und 100 °C

hat Wasser den Aggregatzustand flüssig, weswegen dieser als Kriterium verwendet wird. Die Siede- und Gefrierpunkte von Wasser variieren je nach Druck. Außerdem ist ein Planet nicht unbedingt habitabel, wenn er in der habitablen Zone liegt. Die Bewohnbarkeit ist beispielsweise abhängig von der Atmosphäre des Planeten, der Aktivität seines Sterns und der chemischen Bestandteile des Planeten. Dennoch ist die Berechnung eine geeignete Möglichkeit, um zu veranschaulichen, in welcher Zone sich der Planet befindet.

2.2.4 Abstand Stern-Planet

Indem man die Radialkraft mit der Gravitationskraft gleichsetzt und nach d_{s-p} , der Entfernung der Massenmittelpunkte, umgestellt wird, ergibt sich Formel 3. Dieses dritte Keplersche Gesetz beschreibt eine Vereinfachung unter Vernachlässigung der sehr kleinen, zweiten Masse des Planeten. Dabei beschreibt t die Umlaufzeit des Planeten um seinen Stern, G die Gravitationskonstante und M_s die Masse des Sterns.

$$\frac{M_p 4\pi^2 d_{s-p}}{t^2} = G \frac{M_p M_s}{(d_{s-p})^2}$$

$$d_{s-p} = \sqrt[3]{\frac{G t^2 M_s}{4\pi^2}} \quad (3)$$

2.3 Spektroskopische Untersuchung eines Sterns

Mithilfe eines Spektroskops wird das Licht des Sterns in seine einzelnen Bestandteile zerlegt. Das Resultat ist das Spektrum des Sterns, in dem sich Absorptionslinien befinden, die auf chemische Elemente als Bestandteile der Chromosphäre hinweisen [14].

Durch die Darstellung in einem Lichtintensitäts-Wellenlängendiagramm kann festgestellt werden, auf welcher Wellenlänge das Sternenlicht die höchste Lichtintensität aufweist. Mithilfe des Wienschen Verschiebungsgesetzes besteht somit die Möglichkeit, die effektive Oberflächentemperatur des Sterns zu bestimmen, wobei von Schwarzsrahler ausgegangen wird. k beschreibt die



Abb. 2: Teleskop 17'' Plane Wave CDK



Abb. 3: Kamera FLI16200



Wiensche Verschiebungskonstante.

$$T_s = \frac{k}{\lambda_{max}}$$

Mithilfe der Temperatur kann der Stern in eine Spektralklasse eingeordnet werden und somit sind Rückschlüsse auf Eigenschaften wie die Leuchtkraft, die Masse oder den Radius möglich.

3. Datenaufnahme

Die Datenaufnahmen wurden an der Sternwarte des Einstein-Gymnasiums in Neuenhagen durchgeführt.

3.1 Aufbau

Zum Aufnehmen der Datenreihe für den Nachweis des Transits wurde das Teleskop 17'' Plane Wave CDK (Abb. 2) und die daran angeschlossene Kamera FLI 16200 (Abb. 3) genutzt. Die verwendete Kamera hat eine deutlich höhere Helligkeitsempfindlichkeit als herkömmliche Kameras und mit 16,2 Megapixel eine vergleichsweise hohe

Bildauflösung. Somit ist sie zur Aufnahme eines geringen Helligkeitsabfalls geeignet. Bei der Aufnahme des Planetentransits wurde ein L-Filter verwendet, der bestimmte Teile des Lichts absorbiert und somit durch eine Störfaktor-reduzierung die Datenqualität erhöht. Für die Aufnahme des Spektrums vom Stern wurde der DADOS-Spaltspektrograf an dem Teleskop verwendet.

3.2 Durchführung

Mithilfe der Internetseite Exoplanet Transit Database (ETD) [8] können die nächsten sichtbaren Planetentransits für den Standort Neuenhagen angezeigt werden. Diese Seite liefert unter anderem Informationen wie die Uhrzeiten der Transits, in welchen Koordinaten der Stern am Himmel steht, wie groß die scheinbare Helligkeit des Sterns ist und wie groß die Transittiefe ist.

Der Transit von HD189733b fand am 08.10.2022 von 20:53 Uhr bis 22:43 Uhr statt [8]. Bei der Wahl des Planeten-

transits ist zu beachten, dass der Stern nicht zu nah am Horizont steht, da die Aufnahme dadurch erschwert wird. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Höhe über 30° liegt. Die Helligkeit des Sterns ist vor allem für die Aufnahme des Spektrums wichtig, da diese am besten mit einem großen Lichteinfluss funktioniert. Deswegen wurde nach Sternen mit einer scheinbaren Helligkeit von unter 15 Magnitude gesucht. Die Transittiefe sollte mindestens 0,01 Magnitude betragen. Je größer sie ist, desto besser lässt sich der Transit von der Erde aus beobachten.

Zum Aufnehmen der Daten werden zuerst die Koordinaten des Sterns in die Sternwarte eingegeben. Diese richtet sich daraufhin automatisch aus. Danach wird angegeben, in welchen Abständen die Kamera Bilder aufnehmen soll. Während der Aufnahme dreht sich die Kuppel der Sternwarte und das Teleskop automatisch mit der durch die Erddrehung hervorgerufene Bewegung der Sterne mit. Die Aufnahmen be-

gannen um 21:04 Uhr und endeten um 00:48 Uhr. Es fehlen somit 11 min vom Anfang des Transits, was durch Aufnahmeschwierigkeiten begründbar ist. Die fundamentalen Phasen des Transits sind zwar enthalten, dennoch stellt das Fehlen des Transitbeginns eine Fehlerquelle dar.

Am Anfang des Transits stand der Stern bei 53 Grad Südwesten und am Ende bei 38 Grad Westen, also gerade-so hoch genug über dem Horizont und genau in die Richtung von Berlin, was einen zusätzlichen Störfaktor der Lichtverschmutzung darstellt. Der Sonnenuntergang erfolgte an diesem Tag um 18:30 Uhr, somit stellte die Sonne keinen entscheidenden Einflussfaktor dar. Während der Aufnahme des Transits ist eine Datenreihe entstanden, die 109 Bilder beinhaltet. Die Belichtungszeit jedes Bildes betrug eine Minute.

Die spektroskopischen Beobachtungen wurden am 17.01.2023 durchgeführt. Mithilfe des DADOS-Spaltenspektrografen mit einem Gitter von 800 Linien/mm (Abb. 4, weißes Gerät) und einer Spiegelreflexkamera (Abb. 4, schwarze Kamera oben) wurde das Spektrum

aufgenommen. Zuerst wurden wieder die Koordinaten des Sterns eingegeben. Somit richtet sich die Sternwarte und das Teleskop automatisch aus. Danach wurde mithilfe der roten Kamera an den Spalten des Spektrografen (Abb. 4, unten) der Stern in dem mittleren Spalt (25 μ m) positioniert. Das geschah mit einer Lichtquelle, um die Spaltöffnungen durch die rote Kamera am Computer erkennen zu können. Daraufhin wurden mit verschiedenen Belichtungszeiten mit der Spiegelreflexkamera mehrere Spektren aufgenommen. Die Position des Sterns stellte einige Schwierigkeiten dar. Er war nur in der ersten Nachthälfte knapp über dem Horizont zu sehen. Dazu kommt, dass er in Richtung Berlin am Himmel stand. Durch die Helligkeit Berlins wird die Aufnahme des Sternenlichts beeinflusst. Dennoch war es möglich, zwei Spektren in auswertbarer Qualität aufzunehmen.

4. Datenauswertung

4.1 Nachweis des Transits

Zur Erstellung einer Helligkeitskurve aus den aufgenommenen Bildern wird

die Bilderreihe in das Programm AstroImageJ importiert. Es ist empfehlenswert, vor der Auswertung eine aligned-Datenreihe zu erstellen. Mithilfe dieser werden alle Bilder an den Sternen orientiert übereinandergelegt. Das dient dazu, die Wackler durch das Neuausrichten der Sternwarte auszugleichen. Das Ergebnis ist ein neuer Ordner, der die ausgerichteten Bilder beinhaltet.

Diese Bilder werden im nächsten Schritt zur Erstellung der Lichtkurve verwendet. Anfangs werden sie in AstroImageJ importiert. Daraufhin wird ein in AstroImageJ enthaltendes Tool verwendet, welches nach der Methodik der Differenzphotometrie die Bilderreihe auswerten lässt. Die verwendete relative Photometrie erlaubt im Vergleich mit anderen Objekten auf dem Bild eine relative Helligkeitsdifferenz zu untersuchen. Eine absolute Photometrie, die zum Ziel hat, die absolute Helligkeit in Magnitude des Sterns zu bestimmen, findet im Zusammenhang mit Transitereignissen weniger Anwendung. Mithilfe der Differenzphotometrie werden im folgenden Schritt der zu beobachtende Stern HD189733 und die Vergleichsterne gewählt. Die Größe der Kreise zur

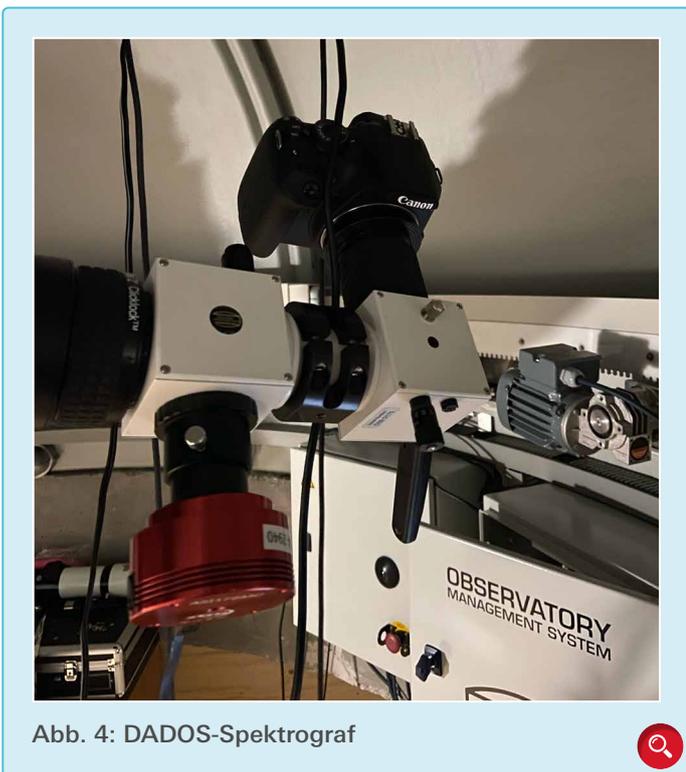


Abb. 4: DADOS-Spektrograf

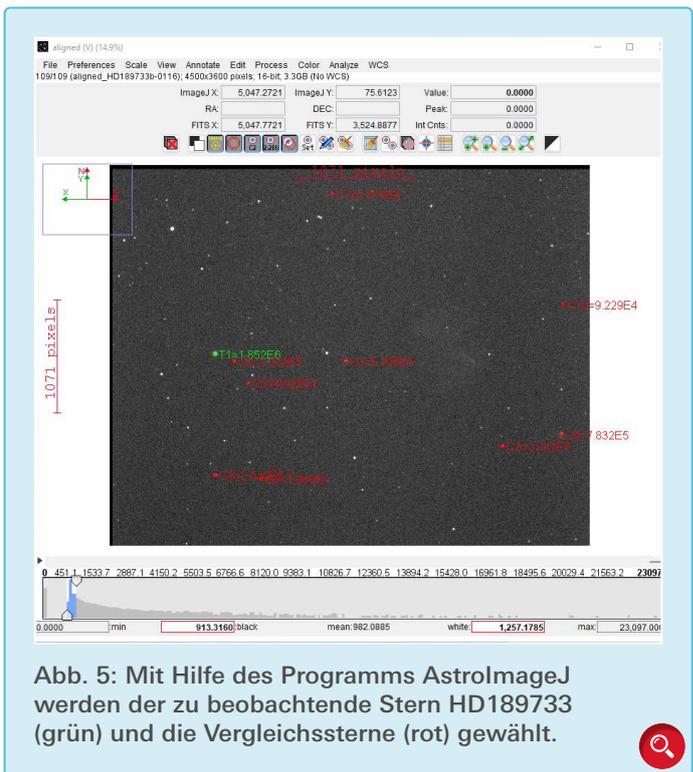


Abb. 5: Mit Hilfe des Programms AstroImageJ werden der zu beobachtende Stern HD189733 (grün) und die Vergleichsterne (rot) gewählt.

Tab. 1: Scheinbare Helligkeiten des zu beobachtenden Sterns und der Vergleichsterne [3]

Stern	Scheinbare Helligkeit in mag	Abgekürzte Bezeichnung
HD189733	7,65	T1
HD345464	8,93	C2
HD345468	9,87	C3
HD345467	9,16	C4
HD345461	11,32	C5
TYC 2141-1346-1	10,89	C6
HD345454	11,10	C7
HD345470	10,81	C8
HD345471	10,14	C9
HD345449	10,60	C10

Auswahl der Sterne werden individuell angepasst. HD189733 wurde über die Internetseite Simbad [13] auf dem Bild lokalisiert. Simbad bietet eine Vielzahl an Informationen über jeden registrierten Stern. Mithilfe dieser Internetseite wurden ebenso die Vergleichsterne lokalisiert und gewählt. Diese sollten ungefähr die gleiche scheinbare Helligkeit wie der Zielstern besitzen. Außerdem dürfen sie keine hellkeitsveränderlichen Sterne sein, da diese Eigenschaft die Auswertung verfälscht, da die Ver-

änderungen im Licht des Zielsterns im Vergleich zu den möglichst konstanten Vergleichssterne ermittelt werden.

In Abb. 5 ist der gewählte zu beobachtende Stern in grün und die gewählten Vergleichsterne in Rot mit der jeweiligen Beschriftung zu erkennen. In Tab. 1 sind die scheinbaren Helligkeiten, der gewählten Sterne aufgelistet, die aus [3] entnommen wurden. Diese Webseite verwendet Gaia-Daten. In der Umgebung von HD189733 gibt es keine

Sterne, deren scheinbare Helligkeiten besser mit der von HD189733 übereinstimmen. Das stellt in der Auswertung einen gewissen Nachteil dar.

Nach der Auswahl der Sterne ermittelt das Programm die Helligkeit der gewählten Sterne in Abhängigkeit der Zeit. Für HD189733 wird eine Lichtkurve erstellt, die die Helligkeitsveränderung im Vergleich zu den anderen Sternen, die ihre Helligkeit nicht verändern, darstellt. Die Vergleichsterne sollten eine möglichst konstante Helligkeit besitzen. Um das zu überprüfen, werden die Helligkeitswerte von ihnen ebenso betrachtet.

Abb. 6 und 7 zeigt die Helligkeit von HD189733 im Vergleich zu den Sternen C2 bis C5 bzw. C6 bis C10. Es ist zu erkennen, dass zu Beginn des Beobachtungszeitraums die Helligkeit von HD189733 abfällt. Diese Abdunkelung im Sternenlicht wurde durch den Transit von HD189733b hervorgerufen. Bis auf die Ausreißer am Ende der Kurve sind die Helligkeiten der Vergleichsterne konstant, sie sind also gut geeignet. Da die Ausreißer und die Streuungen der Datenpunkte insbesondere im letzten Abschnitt der Datenreihe in jeder einzelnen Helligkeitskurve zu erkennen sind, sind sie auf Fehlerquellen wie beispielsweise atmosphärische

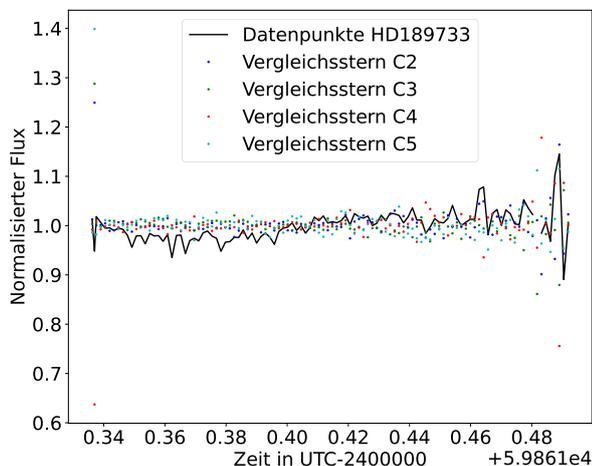


Abb. 6: Helligkeit von HD189733 im Vergleich zu den Sternen C2 bis C5

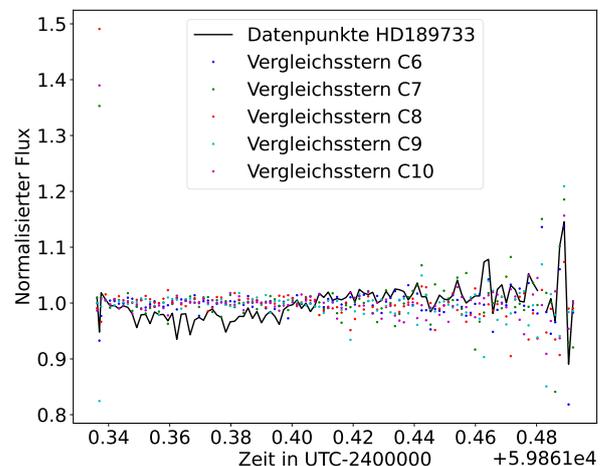


Abb. 7: Helligkeit von HD189733 im Vergleich zu den Sternen C6 bis C10

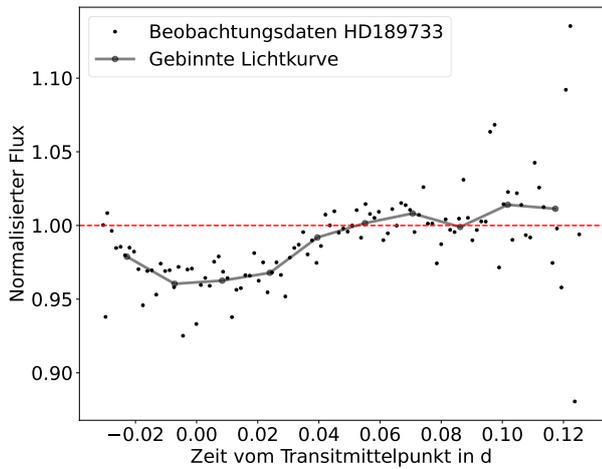


Abb. 8: Beobachtungsdaten und gebinte Lichtkurve, Out-of-Transit-Werte nach roter Orientierungslinie bei $y=1$ verschoben

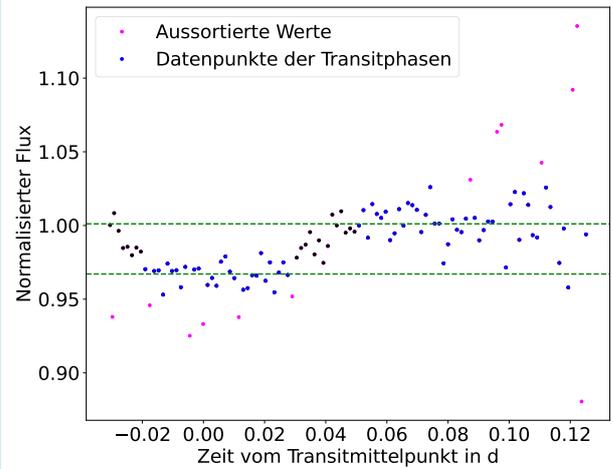


Abb. 9: Transitphasen und aussortierte Ausreißer der Lichtkurve

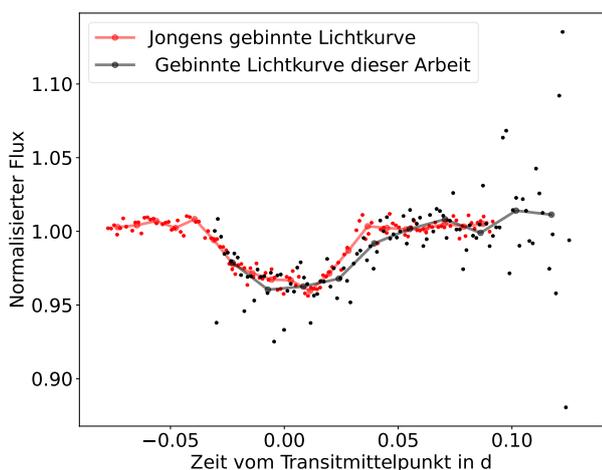


Abb. 10: Vergleich der Lichtkurven aus dieser Arbeit und von Yves Jongen

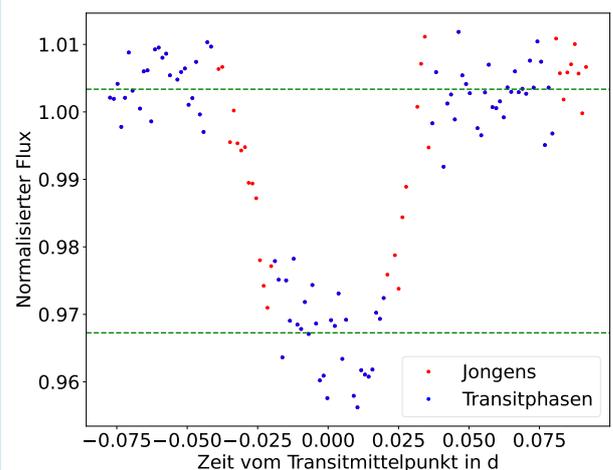


Abb. 11: Transitphasen der Lichtkurve von Yves Jongen

Schwankungen zurückzuführen, auf die genauer in der Fehlerbetrachtung eingegangen wird. Es wurden einzelne Beispielbilder betrachtet, von denen die Ausreißer-Datenpunkte stammen. Dabei konnten keine großen Unterschiede in der Datenqualität festgestellt werden. Auffällig war ein leicht unterschiedliches Rauschen in den verschiedenen Bildern, was die Vermutung auf atmosphärische Schwankungen bestätigt.

Gut an dieser Datenreihe ist, dass nach dem Transit die Messungen weiterliefen und somit mehr Datenpunkte der Out-

of-Transit-Werte zur Verfügung stehen. Diese werden bei der Berechnung der Transittiefe benötigt.

4.2 Auswertung des Transits

Die Auswertung der Helligkeitsdaten von HD189733 erfolgte in Python. [Abb. 8](#) zeigt die Lichtkurve. Hierfür wurde die y -Achse mithilfe der Lightcurve-Bibliothek in Python normalisiert, wobei die Out-of-Transit-Werte auf ca. 1 angepasst wurden. Zudem wurden alle Punkte um $-0,1$ Einheiten an der y -Achse verschoben, da die Out-

of-Transit-Werte dennoch nicht genau auf 1 lagen. Die rote Linie zeigt an, wo sich die konstanten Out-of-Transit-Werte befinden sollten. Diese Verschiebung wird im Vergleich mit anderen Daten relevant. Die Verschiebung ist möglich, da die Flux-Werte als relative Einheit betrachtet werden. Die Zeitachse wurde so transformiert, dass sie die Tage vom Transitmittelpunkt darstellt. Der Wert Null steht also für den Transitmittelpunkt. Die graue Linie stellt die gebinte Lichtkurve anhand von zehn Mittelwerten in gleichen Abständen der gesamten Datenreihe dar.

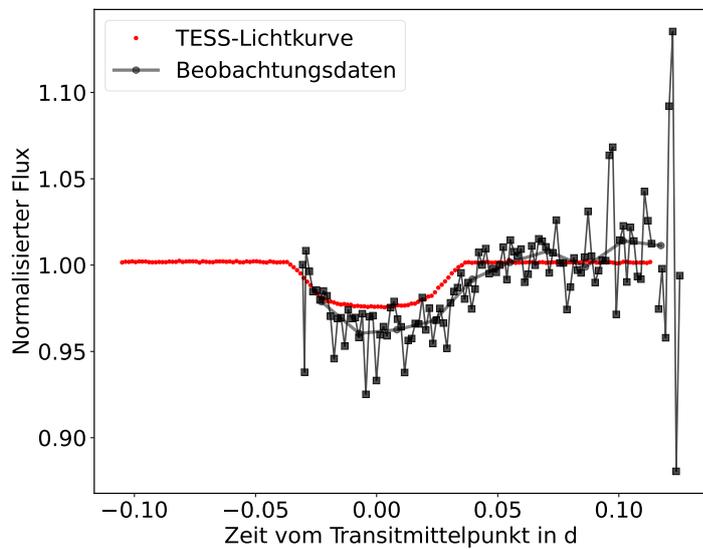


Abb. 12: TESS-Lichtkurve und Lichtkurve dieser Arbeit im Vergleich



In Python wurden für die $\Delta flux$ -Berechnung große Ausreißer grob entfernt, da diese vermutlich durch Messungenauigkeiten entstanden sind und somit die Berechnung der Parameter verfälschen können. Mithilfe der Funktion `remove_outliers` der `Lightkurve`-Bibliothek wurde das mit $\sigma = 2$ durchgeführt. Die aussortierten Datenpunkte sind in [Abb. 9](#) in Magenta hervorgehoben.

Im nächsten Schritt wurde anhand der Mittelwerte der In-Transit- und der Out-of-Transit-Werte die relative Transittiefe berechnet. Dazu konnten 29 In-Transit-Werte und 44 Out-of-Transit-Werte genutzt werden. Anhand der entstandenen Mittelwerte ([Abb. 9](#), grüne Linien) wurde $\Delta flux$ bestimmt:

$$\Delta flux_A = 1 - \frac{0,9670739307169136}{1,0011073676218436}$$

$$\Delta flux_A \approx 0,034$$

4.3 Vergleich mit anderen Transitaufnahmen

Das Aussortieren von Datenpunkten ist eine Möglichkeit, Fehlerquellen zu minimieren. Da diese Methode auf Vermutungen basiert und es versehentlich auch zum Löschen wichtiger Datenpunkte kommen kann, sollte damit vor-

sichtig umgegangen werden. Eine weitere Möglichkeit, die Abweichungen in der Datenreihe zu identifizieren, ist der Vergleich mit anderen Transitaufnahmen. [Abb. 10](#) zeigt die gebinnete Lichtkurve dieser Arbeit verglichen mit einer Kurve, die von Yves Jongen in Chile aufgenommen wurde. Für diese Beobachtungen wurde das gleiche Teleskop wie in dieser Arbeit verwendet. Für die Aufnahmen wurde die Kamera Moravian 4G mit einem V-Filter und einer Belichtungszeit von 120 s verwendet. Der Vergleich der Kurven zeigt, dass die Kurve dieser Arbeit mehr Ausreißer und Messungenauigkeiten beinhaltet und dass die Werte vor dem Transit fehlen.

Aus der Lichtkurve von Yves Jongen wird ebenfalls ein $\Delta flux$ -Wert berechnet. Die Auswahl der Datenpunkte ist in [Abb. 11](#) in Blau veranschaulicht. Die grünen Linien zeigen die Mittelwerte der Transitphasen. Die In-Transit-Phase umfasst 29 Datenpunkte und die Out-of-Transit-Phase 57 Datenpunkte.

$$\Delta flux_Y = 1 - \frac{0,96726184296555}{1,0033628489351918}$$

$$\Delta flux_Y \approx 0,036$$

Für die weiteren Berechnungen wird der Mittelwert aus den $\Delta flux$ -Werten dieser Arbeit und den Beobachtungen von Yves Jongen berechnet. Dieser beträgt:

$$\Delta flux_{gesamt} \approx 0,035$$

Nun wird die Lichtkurve dieser Arbeit mit einem Ausschnitt einer Lichtkurve vom Weltraumteleskop TESS [\[5\]](#) verglichen. Hier wurde ebenso eine Belichtungszeit von 120 s verwendet. In [Abb. 12](#) sind die Lichtkurven im direkten Vergleich zu erkennen. Es ist auffällig, dass die Lichtkurve dieser Arbeit in der In-Transit-Phase eine etwas höhere Abdunkelung aufweist. Das kann damit zusammenhängen, dass in verschiedenen Spektralbereichen beobachtet wird. TESS beobachtet im nahen Infrarot, wodurch beispielsweise andere Bereiche der Sternatmosphäre betrachtet werden.

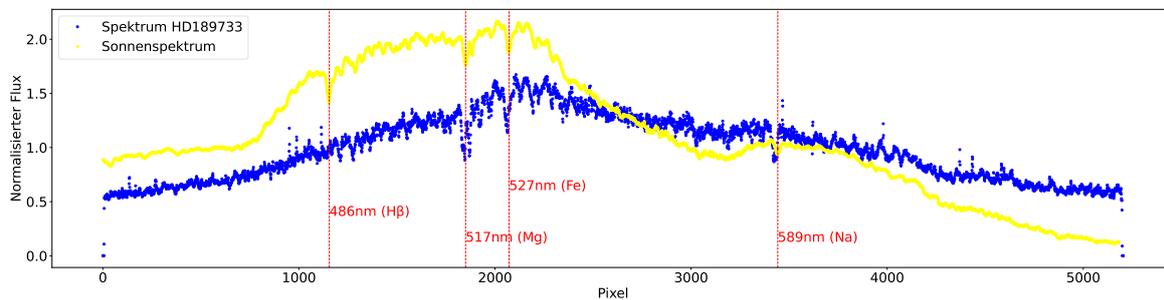
Allgemein betrachtet liefert die TESS-Lichtkurve sehr genaue Werte. Anhand dieser Werte wird kein $\Delta flux$ -Wert gebildet, da sich diese Arbeit auf Daten von erdgebundenen Teleskopen beschränkt.

4.4 Auswertung des Spektrums

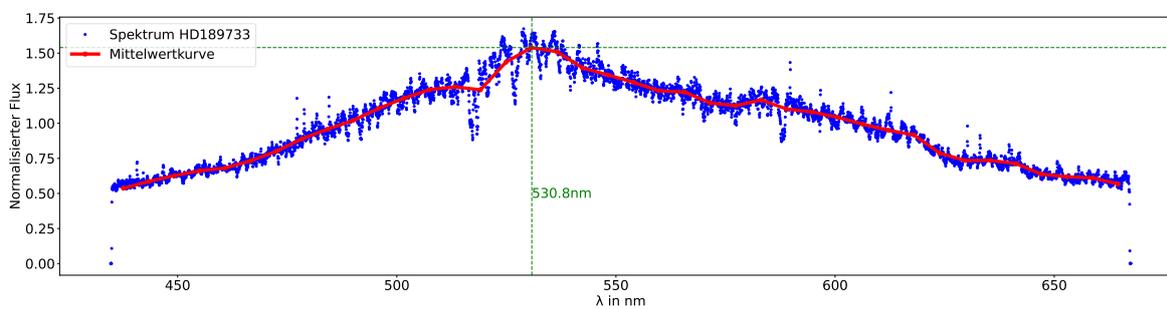
Zur Auswertung der zwei aufgenommenen Spektren von HD189733 wurden die Spektren mithilfe des Programms `Fitswork4` gestackt.

Außerdem wurde das gestackte Bild in ein Schwarz-Weiß-Bild und in eine `.fits`-Datei umgeformt, damit es im nächsten Schritt in `Visual Spec` importieren werden kann.

In `Visual Spec` wurde die Lichtintensitätsverteilung auf den Pixeln des Bildes von links nach rechts geplottet. Die gleichen Schritte (ausgenommen des Stackens) wurden für ein Referenzspektrum der Sonne durchgeführt. Die Helligkeits- und dazugehörigen Pixelwerte wurden anschließend in Form von `Excel`-Dateien exportiert. Die unterschiedlichen Helligkeitsempfindlichkeiten der Spiegelreflexkamera auf verschiedenen



a)



b)

Abb.13: a) Diagramm des Spektrums von HD189733 (mit gerundeten, bekannten Wellenlängenwerten in rot)
 b) Kalibriertes Spektrum von HD189733 mit bestimmtem λ_{max} -Wert



Pixeln wurden nicht betrachtet, was durchaus eine Fehlerquelle darstellt.

In Python wurden nun die beiden Spektren normalisiert, übereinander ge-

plottet und anhand bekannter Wellenlängenwerte der Absorptionslinien im Sonnenspektrum kalibriert (Abb. 13).

In Abb. 13b ist das kalibrierte Spektrum von HD189733 dargestellt. Anhand einer Mittelwertkurve der Lichtintensitätskurve wurde der Wellenlängenwert der maximalen Strahlungsintensität bestimmt.

Mithilfe dieses Wellenlängenwertes λ_{max} und des Wienschen Verschiebungsgesetzes wird die Effektivtemperatur des Sterns berechnet:

$$T_s = \frac{k}{\lambda_{max}} \approx 5459 \text{ K}$$

Anhand der berechneten Effektivtemperatur kann HD189733 in die Spektralklasse G eingestuft werden. Da der Stern etwas kühler als die typischen G-Sterne ist, wird er als sehr kühler G9-Stern eingestuft. In der Literatur wird er als Stern der Klasse K2 beschrieben, die

einen etwas kühleren Stern als einen G-Stern beschreibt.

Geht man davon aus, dass HD189733 ein Hauptreihenstern ist, was in dieser Spektralklasse von hoher Wahrscheinlichkeit ist, kann er anhand der Effektivtemperatur in das Hertzsprung-Russell-Diagramm auf der Hauptreihe eingeordnet werden (Abb. 14, schwarzes X) und die ungefähre Leuchtkraft abgeleitet werden.

$$L_s \approx 0,4 L_{Sun}$$

Über die Masse-Leuchtkraft-Beziehung [4] wird anhand der Leuchtkraft die Masse des Sterns hergeleitet:

$$M_s^{3,8} \sim L_s$$

$$M_s \sim \sqrt[3,8]{0,4 L_{Sun}}$$

$$M_s \approx 0,79 M_{Sun}$$

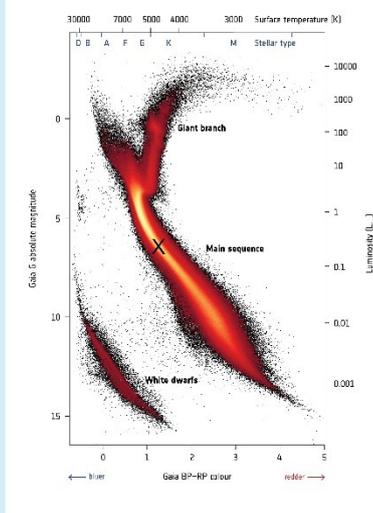


Abb. 14: Gaias Hertzsprung-Russell Diagramm [2]



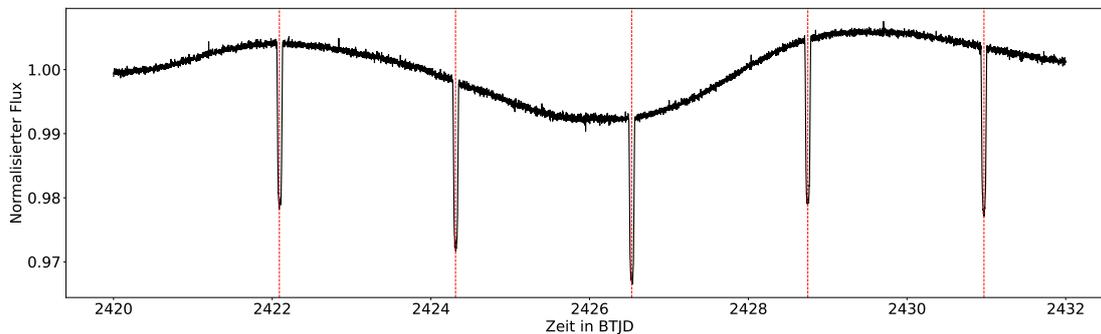


Abb. 15: Markierte Transitmittelpunkte in der TESS-Lichtkurve (120 s Belichtungszeit)

Mithilfe der Radius-Masse-Beziehung [15] wird außerdem der Radius des Sterns hergeleitet:

$$R_s = R_{Sun} \cdot 1,06 \cdot \left(\frac{M_s}{M_{Sun}} \right)^{0,945}$$

$$R_s = R_{Sun} \cdot 1,06 \cdot 0,79^{0,945}$$

$$R_s = 0,85 R_{Sun}$$

4.5 Berechnung weiterer Parameter

4.5.1 Umlaufzeit des Planeten HD189733b

Zur Berechnung der Umlaufzeit des Planeten wird ein Ausschnitt einer TESS-Lichtkurve genutzt und die Abstände der Transitmittelpunkte bestimmt (siehe Abb. 15).

Dafür wurden alle fünf Transitkurven in Abb. 15 vergrößert angesehen und jeweils ein x-Wert festgelegt, der durch die roten Linien gekennzeichnet ist. Das wurde auf zwei Kommastellen genau per Auge durchgeführt. Dabei ergaben sich die in Tab. 2 gelisteten Werte. Die Abstände betragen jeweils 2,22 d. Somit benötigt der Planet HD189733b 2,22 d, um seinen Stern einmal zu umrunden.

Den gesamten TESS-Lichtkurven in Abb. 16 kann entnommen werden, dass der Stern eine hohe Aktivität aufweist. Da die über mehrere Tage andauernden Veränderungen unperiodisch sind,

kann es sich um Sternflecken handeln. In Abb. 16 oben sind einige Ausbrüche in das Positive wahrzunehmen, die bei einer kürzeren Belichtungszeit noch deutlicher werden (Abb. 16, unten). Das liegt daran, dass diese Ausbrüche so kurz zu sehen sind, dass sie in einer länger belichteten Aufnahme schwierig wahrzunehmen sind. Es könnte sich um Flares handeln, die eine hohe Sternaktivität bestätigen würden.

4.5.2 Weitere Parameter des Planeten HD189733b

Mit den Formeln 1, 2 und 3 können nun weitere Parameter von HD189733 und seinem Planeten berechnet werden. Tab. 3 zeigt eine Zusammenstellung aller ermittelten Werte dieser Arbeit.

5. Ergebnisse

Als Ergebnis werden alle berechneten bzw. hergeleiteten Ergebnisse in der Tab. 3 mit jeweiligen Referenzwerten aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen dargestellt und die jeweilige Abweichung angegeben.

Die Abweichungen lassen sich vor allem durch die Fehlerquellen eines erdgebundenen Teleskops und durch die Arbeit mit hergeleiteten Werten in der Betrachtung des Sterns erklären, worauf in der Fehlerbetrachtung näher eingegangen wird.

Der anhand von Yves Jongs Datenrei-

he berechnete $\Delta flux$ -Wert weicht trotz der sauberen Lichtkurve etwas stärker ab, als der $\Delta flux$ -Wert dieser Arbeit. Das kann damit zusammenhängen, dass in der Berechnung des $\Delta flux$ -wertes dieser Arbeit einzelne Datenpunkte nicht betrachtet wurden und somit der Fehlerbereich der Datenreihe dieser Arbeit verkleinert wurde. Bei Yves Jongs Datenreihe können zudem die gleichen Fehlerquellen wie bei der Datenreihe dieser Arbeit auftreten, da auch dort mit einem erdgebundenen Teleskop gearbeitet wurde.

In der Betrachtung der Spektralklasse existieren leichte Abweichungen. Die Spektralklasse G9 beschreibt einen kühlen G-Stern und K2 einen warmen K-Stern. Das „V“ im Referenzwert steht für die Leuchtkraftklasse V, die im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht wurde.

Tab. 2: Zeitliche Lage der Transitmittelpunkte aus der TESS Lichtkurve

Linie von links	Zeitliche Lage in BTJD days
1	2422,09
2	2424,31
3	2426,53
4	2428,75
5	2430,97

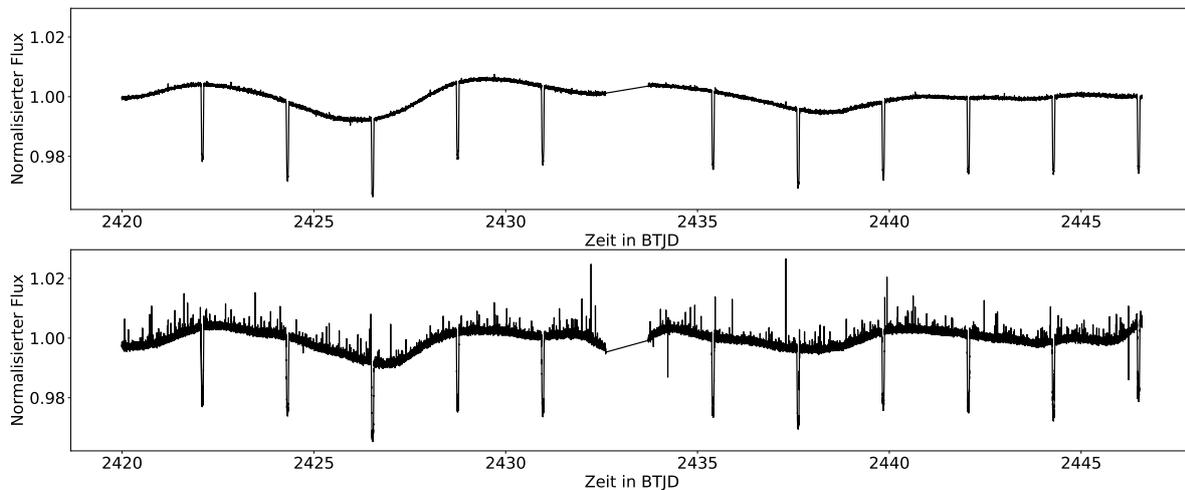


Abb. 16: TESS-Lichtkurven: 120 s Belichtungszeit (oben); 20 s Belichtungszeit (unten)

Im Exoplanetenkatalog (von exoplanet.eu) sind alle bekannten Exoplaneten aufgelistet. Um eine bessere Vorstellung von HD189733b zu bekommen, wurde er anhand der Parameter Radius und Umlaufzeit in den Katalog eingeordnet (Abb. 17, rot). Zum Vergleich wurde die Erde dargestellt (Abb. 17, grün). Es ist deutlich zu erkennen, dass HD189733b nicht erdähnlich ist. Sein Radius ist im Vergleich zur Erde größer und die Umlaufzeit kleiner. Dem Exoplaneten-Katalog kann außerdem entnommen werden, dass die meisten bekannten Exoplaneten einen größeren Radius aufweisen und größtenteils eine geringere Umlaufzeit als die Erde besitzen. Das muss aber nicht daran liegen, dass es nur wenige erdähnlichen Planeten gibt. Eine wahrscheinlichere Ursache ist, dass Exoplaneten mit einer hohen Umlaufzeit und gleichzeitig geringen Transittiefe über die bekannten Methoden erschwert nachgewiesen werden können.

Anhand der kleinen Entfernung von rund 0,03 AU zum Stern und der einhergehenden kurzen Umlaufzeit von 2,22 d des Planeten HD189733b kann geschlossen werden, dass der Planet aufgrund der Nähe zum Stern eine hohe Oberflächentemperatur aufweisen muss. Die Größe des Planeten ähnelt

mit rund 1,55 R_J dem Jupiter des Sonnensystems. Somit kann er zu den sogenannten „Hot Jupiters“ gezählt werden. Die tatsächliche Oberflächentemperatur des Planeten könnte nur annähernd bestimmt werden, da sie von vielen Faktoren, wie der hohen Aktivität des Sterns, beeinflusst werden kann.

Aus der geringen Entfernung von Stern und Planet kann geschlossen werden, dass der Stern einen Einfluss auf

den Planeten haben könnte. Durch die hochenergetische Strahlung, die vom Stern ausgeht und ununterbrochen über eine kurze Distanz auf den Planeten einwirkt, können Interaktionen wie zum Beispiel ein Massenverlust des Planeten vermutet werden. Diese Vermutung wurde unter anderem in der Forschungsarbeit von Poppenhäger et al. mithilfe von Beobachtungen im Röntgenbereich bestätigt [9]. Ebenso ist in den Röntgenbildern zu erkennen, dass

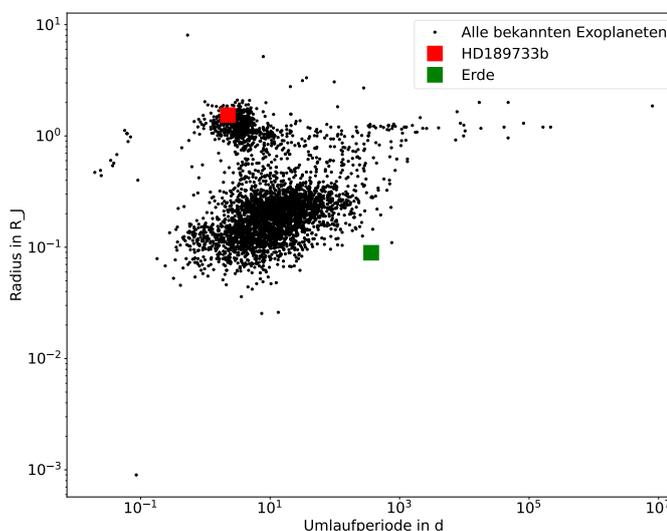


Abb. 17: Einordnung von HD189733b in den Exoplanetenkatalog [10]

Tab. 3: Vergleich der in dieser Arbeit ermittelten Werte mit der Literatur

Parameter	Wert	Referenzdaten	Quelle	Abweichung
Transittiefe dieser Arbeit	$\Delta\text{flux}_A \approx 3,4\%$	2,4 %	Stassun et al. [12]	41,7%
Transittiefe aus Daten Jongen	$\Delta\text{flux}_Y \approx 3,6\%$	2,4 %	Stassun et al. [12]	50%
Mittelwert der Transittiefe	$\Delta\text{flux}_{\text{gesamt}} \approx 3,5\%$	2,4 %	Stassun et al. [12]	45,8%
Effektivtemperatur von HD189733	$T_s \approx 5459\text{ K}$	$T_s \approx 5012,5\text{ K} \pm 67,8\text{ K}$	Rosenthal et al. [11]	8,9%
Masse von HD189733	$M_s \approx 0,79 M_{\text{Sun}}$	$M \approx 0,83 M_{\text{Sun}} \pm 0,03 M_{\text{Sun}}$	Rosenthal et al. [11]	4,8%
Radius von HD189733	$R_s \approx 0,84 R_{\text{Sun}}$	$R_s \approx 0,78 R_{\text{Sun}} \pm 0,01 R_{\text{Sun}}$	Rosenthal et al. [11]	7,7%
Leuchtkraft von HD189733	$L_s \approx 0,4 L_{\text{Sun}}$	$L_s \approx 0,355 L_{\text{Sun}}$	Addison et al. [1]	12,7%
Radius von HD189733b	$R_p \approx 1,55 R_J$	$R_p \approx 1,13 R_J \pm 0,01 R_J$	Stassun et al. [12]	37,2%
Umlaufzeit von HD189733b	$t \approx 2,22\text{ d}$	$t \approx 2,219\text{ d}$	Stassun et al. [12]	0,05%
Grenzen der habitablen Zone von HD189733	$d_{\text{in/out}} \approx 0,42/0,79\text{ AU}$	$d_{\text{in/out}} \approx 0,33/0,61\text{ AU}$	berechnet aus [11]	27,3% / 29,5%
Abstand von HD189733b zum Stern	$d_{\text{s-p}} \approx 0,03\text{ AU}$	$d_{\text{s-p}} \approx 0,03\text{ AU}$	Addison et al. [1]	0%
Spektralklasse	G9	K2V	Paredes et al. [7]	

es sich um ein Doppelsternsystem handelt. Vermutlich konnte dieses in dieser Arbeit nicht erkannt werden, da die Sterne so umeinanderkreisen, dass sie von der Erde aus betrachtet in jedem Zeitpunkt nebeneinander sind. Wenn die beiden Sterne so umeinanderkreisen, dass sie sich zeitweise gegenseitig jeweils verdecken, wäre das in der TESS-Lichtkurve in Form einer periodischen Veränderung wahrzunehmen.

In [9] wurde außerdem nachgewiesen, dass der Planet eine weitere, noch größere Schicht besitzt (vermutlich aus Gas) und mit dieser eine rund 6 bis 8 Prozent große Transittiefe aufweist. Diese Schicht absorbiert das sichtbare

Licht, welches in dieser Arbeit betrachtet wurde, nicht. Deswegen konnte sie in diesen Beobachtungen nicht wahrgenommen werden. Da diese im sichtbaren Licht nicht wahrnehmbare Schicht in der Literatur nicht als Planetenradius betrachtet wird, ist es für die Untersuchung des tatsächlichen Planetenradius in diesem Fall weniger relevant. Interessant ist sie aber, weil sie einen Bestandteil des Planeten darstellt und sie nachweislich durch Einflüsse des Sterns an Masse verliert [9].

Der Stern HD189733 ist ein veränderlicher Stern, der von Sternenflecken und Flares geprägt ist, was den TESS-Lichtkurven zu entnehmen ist. Abgesehen

von der hohen Aktivität unterscheidet sich HD189733 von der Sonne in Bezug auf die Parameter Radius, Masse und Temperatur nur leicht.

HD189733b befindet sich mit rund 0,03 AU zu nah am Stern, um in der habitablen Zone von rund 0,42 AU bis 0,79 AU zu liegen. Daraus kann geschlossen werden, dass auf diesem Planeten kein Leben möglich ist. Die vermutlich extreme Hitze macht es unmöglich, Organismen lebensnotwendige Bedingungen zu gewährleisten. Es ist trotzdem von Bedeutung, derartige Planeten zu untersuchen. Denn in unserem Sonnensystem gibt es keinen Planeten, der HD189733b in allen Parametern ähnelt.

Demzufolge ist die Betrachtung solcher unbekannter Welten interessant, auch wenn sie keine Voraussetzungen für Leben bieten.

6. Fehlerbetrachtung

Da sich das genutzte Teleskop auf der Erde befindet, können die Aufnahmen von atmosphärischen Schwankungen und allgemein von den in der Erdatmosphäre enthaltenen Molekülen beeinflusst werden. Aufgrund der Wetterverhältnisse, wie zum Beispiel dem Auftreten von Wolken oder Nebel, kann es zu Ungenauigkeiten kommen. Durch eine höhere Anzahl an Datenreihen können derartige Fehlerquellen minimiert werden.

Es kann auch zu systematischen Fehlern kommen. Die größeren Ausreißer der Lichtkurve ins Positive könnten sich dadurch erklären lassen, dass eventuell einzelne Pixel der Kamera in kurzen Zeiträumen überbelichtet wurden.

In den Aufnahmen zum Planetentransit wurden nur Wellenlängen des sichtbaren Lichtes betrachtet. In anderen Bereichen des Lichts können andere Eigenschaften betrachtet werden, wie das Beispiel im Röntgenbereich zeigt. Es kann demzufolge sein, dass in dieser Arbeit einige Eigenschaften gar nicht nachweisbar sind, da sie in den betrachteten Wellenlängenbereichen nicht erkenntlich werden können.

Die Helligkeit der Umgebung in Neuenhagen kann die Messungen des Transits sowie des Spektrums zusätzlich beeinflussen.

Das Spektrum des Sterns enthält ebenso Fehlerquellen. Der Stern stand nah über dem Horizont, also passierte das Licht mehr Erdatmosphäre, bevor es zum Teleskop kam. Weitergehend stand der Stern in Richtung Berlin am Himmel. Somit werden die Daten aufgrund der Helligkeit Berlins beeinflusst. Der Spektrograph besitzt unterschiedliche Helligkeitsempfindlichkeiten auf ein-

zelnen Wellenlängen. Mithilfe einer Ausgleichskurve können diese minimalen Unterschiede zukünftig rausgerechnet werden. Der Transit fand zudem im Herbst statt (s. Kapitel 3.2), wodurch die Abluft von Heizungen in der stark besiedelten Umgebung einen Einfluss haben kann.

Dadurch, dass teilweise mit hergeleiteten Werten und gerundeten Ergebnissen gearbeitet und weitergerechnet wird, können die Abweichungen der Ergebnisse zunehmen. Die verwendeten Sternparameterbeziehungen sind stark verallgemeinert und können zu Abweichungen führen.

Kosmischer Staub kann ebenso einzelne Bestandteile des Lichts auf dem Weg zur Erde absorbieren.

7. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde der Planet HD189733b mit Hilfe der Transitmethode nachgewiesen und der Stern HD189733 mithilfe eines Spektrums näher betrachtet. Dadurch war es möglich verschiedene Parameter des Sternensystems zu berechnen. Der Vergleich mit Literaturwerten zeigt, dass die Abweichungen nur gering sind. Daraus wird deutlich, welche Möglichkeiten ein erdgebundenes Teleskop bietet.

Für den Python-Code wurde auf die Python-Libraries pandas, numpy, lightkurve, batman, matplotlib, astropy zurückgegriffen. Somit ist ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ein Code, mit dem in Zukunft weitere Planetentransits effizient ausgewertet werden können. Dies gilt insbesondere für die TESS-Planetenkandidaten, die bisher weniger bis gar nicht erforscht sind.

Für die Zukunft ist es interessant, von einem Planetentransit mehrere Datenreihen aufzunehmen, um möglichst kleine Abweichungen in den Messwerten zu erzielen und die Umlaufdauer anhand selbst gemessener Datenreihen

zu berechnen. Das war aufgrund der Wetterverhältnisse in diesem Fall nicht möglich. Die Aufnahme von mehreren Spektren bei besseren Wetterverhältnissen und in besser geeigneten Koordinaten am Himmel werden angestrebt. Mithilfe einer Messung der atmosphärischen Schwankungen können diese für den Zeitraum eines Transits gemessen und anschließend in der Transitkurve berücksichtigt werden.

Ein weiteres Ziel ist, die chemische Zusammensetzung des Planeten bzw. der lichtdurchlässigen Schicht zu untersuchen. Dafür könnte ein Spektrum, wenn der Planet im Transit ist, mit einem Spektrum, wenn der Stern ohne Planetentransit zu sehen ist, verglichen werden.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich aufrichtig bei Olaf Hofschulz bedanken, da er mich als Projektbetreuer besonders unterstützt und mir die Datenaufnahme in der Sternwarte ermöglicht hat.

Des Weiteren geht mein Dank an Tobias Eckert, weil er mich vor zwei Jahren im Rahmen meiner Facharbeit für das Thema gewonnen hat und mich im letzten Jahr bei meiner ersten Jugend forscht Arbeit unterstützt hat.

Einen wichtigen Beitrag leistete auch Laura Ketzer vom Leibniz Institut für Astrophysik in Potsdam, da ich bei ihr ein Praktikum in der Forschungsgruppe „Exoplaneten und Sternphysik“ absolvieren durfte. Somit habe ich einen Einblick in den Arbeitsalltag einer Forscherin erhalten. Ebenso wurde mir die wissenschaftliche Datenauswertung mit Python nähergebracht, was für mich einen Fortschritt in der Bearbeitung des Themas darstellte und meine Motivation war, mich in diesem Bereich weiterzubilden und die Methodik an meinen eigenen Daten anzuwenden.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei Yves Jungen bedanken, der mir seine Datenreihe zum Vergleich zur Verfügung stellte.

Quellenverzeichnis

- [1] Addison et al: Minerva-Australis I: Design, Commissioning, & First Photometric Results. <https://arxiv.org/abs/1901.11231> [Stand: 23.01.23].
- [2] Babusiaux, Carine: Gaia's Hertzsprung-Russell Diagram. <https://sci.esa.int/web/gaia/-/60198-gaia-hertzsprung-russell-diagram> [Stand: 23.01.23].
- [3] Chereau, Fabien: Stellarium. <https://stellarium-web.org/> [Stand: 21.01.23].
- [4] Kunst, Sabine: Masse-Leuchtkraft-Beziehung. <https://www.leifiphysik.de/astrophysik/fixsterne/grundwissen/masse-leuchtkraft-beziehung> [Stand: 23.01.23].
- [5] Latham, David: Target List. (davon genutzt habe ich: TESS Sector 41 2021 (exptime 20s; 120s) target name: 256364928) https://tess.mit.edu/public/target_lists/target_lists.html [Stand: 21.01.23].
- [6] Palesch, Kathrin: Erster Exoplanet wird entdeckt. <https://www.history.de/heute-vor/detail/erster-exoplanet-wird-entdeckt.html> [Stand: 21.01.23].
- [7] Paredes et al: The Solar Neighborhood XLIX: Nine Giant Planets Orbiting Nearby K Dwarfs, and the CHIRON Spectrograph's Radial Velocity Performance. <https://arxiv.org/abs/2111.15028> [Stand: 23.01.23].
- [8] Poddany S., Brat L., Pejcha O.: ETD – Exoplanet Transit Database. <http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php> [Stand: 21.01.23].
- [9] Poppenhaeger, K.; Schmitt, J.H.M.M.; Wolk, S.J.: Transit observations of the Hot Jupiter HD 189733b at X-ray wavelengths. <https://arxiv.org/abs/1306.2311> [Stand: 21.01.23].
- [10] Roques, Françoise: Catalog. <http://exoplanet.eu/catalog/> [Stand: 21.01.23].
- [11] Rosenthal et al: The California Legacy Survey I. A Catalog of 178 Planets from Precision Radial Velocity Monitoring of 719 Nearby Stars over Three Decades. <https://arxiv.org/abs/2105.11583> [Stand: 23.01.23].
- [12] Stassun et al: Accurate, Empirical Radii and Masses of Planets and their Host Stars with Gaia Parallaxes. <https://arxiv.org/abs/1609.04389> [Stand: 23.01.23].
- [13] Wenger et al.: SIMBAD database. <https://simbad.unistra.fr/simbad/> [Stand: 21.01.23].
- [14] Willig, Hans Peter: Astrospektroskopie. <https://www.cosmos-indirekt.de//Physik-Schule/Astrospektroskopie> [Stand: 21.01.23].
- [15] Willig, Hans-Peter: Masse-Radius-Beziehung. <https://www.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Masse-Radius-Beziehung> [Stand: 23.01.23].

Als Schüler*in wissenschaftlich publizieren

Wie aus deiner Wettbewerbsarbeit eine zitierfähige Veröffentlichung wird

Was ist eine wissenschaftliche Veröffentlichung?

Wissenschaftliche Publikationen, sogenannte Papers, sind ein zentrales Element wissenschaftlichen Arbeitens. In Papers werden nicht nur Zeitpunkt und Stand einer Erkenntnis öffentlich dokumentiert, sondern auch mit der Wissenschafts-Community geteilt. So lässt man Kolleg*innen derselben Fachrichtung an Ergebnissen teilhaben oder zeigt progressive Forschungsansätze auf.

Was kostet die Veröffentlichung?

Für die Autor*innen fallen keinerlei Veröffentlichungsgebühren (*page charges*) an. Alle Kosten z. B. für Redaktion, Lektorat, Layout, Website und App tragen Verlag und Sponsoren. Verlag ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt PTB, die das Projekt seit Gründung begleitet.

Was ist besonders an einer wissenschaftlichen Veröffentlichung?

Die Besonderheit eines echten, wissenschaftlichen Papers ist, dass es *peer reviewed* ist. Der Begriff setzt sich zusammen aus den englischen Wörtern *peer* für „Kolleg*in“ und *reviewed* für „überprüft“ (*review* = die Überprüfung). Die Arbeit wird also von einem / einer meist anonymen Fachkolleg*in, der oder dem *referee*, auf Schlüssigkeit überprüft. Die Arbeit ist somit gecheckt und kann als Basis für weitere Forschungsvorhaben genutzt werden.

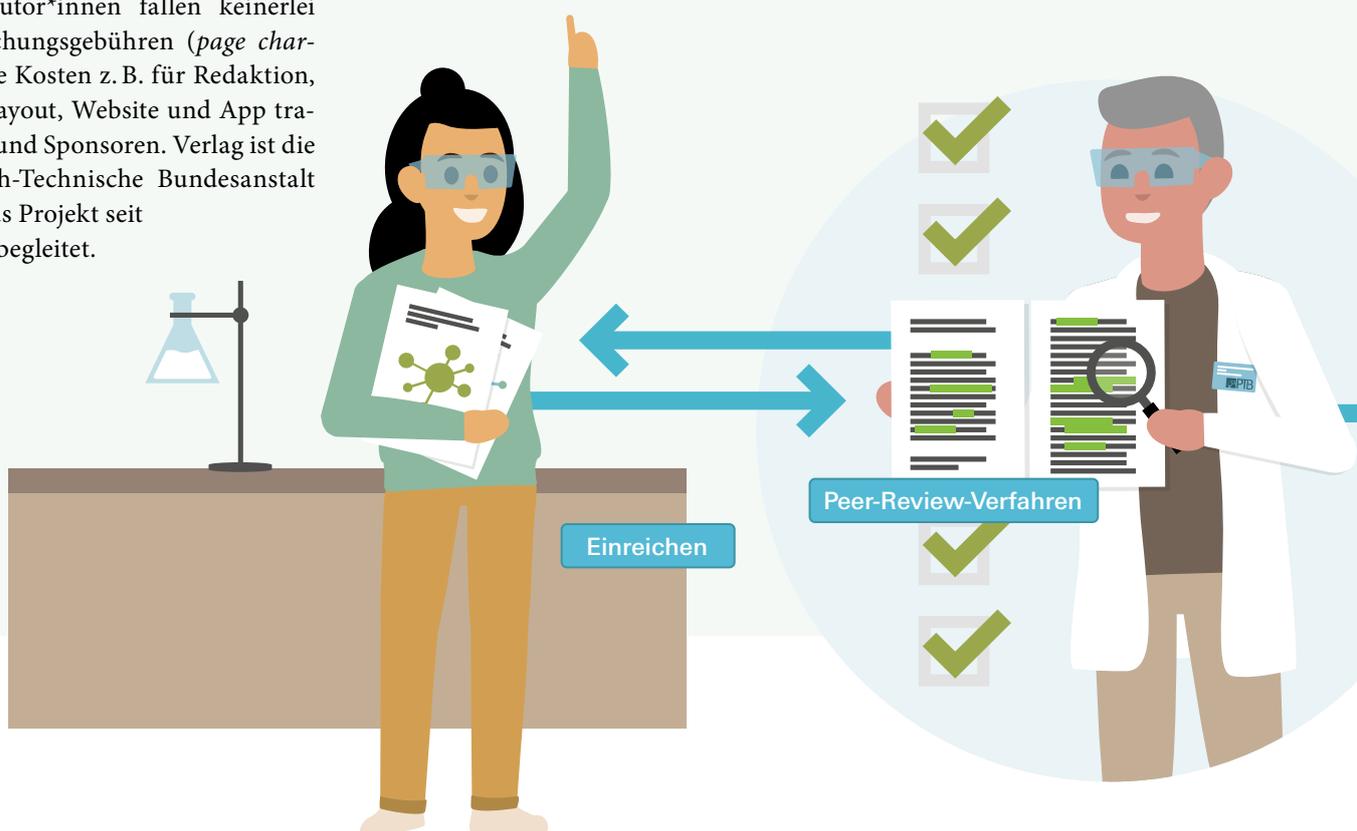


Hast du Fragen? In den FAQs auf der Seite „Für Autor*innen“ findest du Antworten.

www.junge-wissenschaft.ptb.de/fuer-autorinnen

Wieso wissenschaftlich publizieren?

Diese Papers dienen nicht nur dem fachlichen Austausch, sondern auch als Nachweis der erbrachten Leistungen im jeweiligen Spezialgebiet. Wie ein Lebenslauf informiert die Veröffentlichungsliste über den beruflichen Werdegang und wissenschaftlichen Erfolg.



Wie geht das und wie viel Arbeit muss ich investieren?

Die Junge Wissenschaft (JuWi) ist die einzige Plattform, auf der bereits Schüler*innen ein erstes Paper, *peer reviewed*, veröffentlichen können. Das von der JuWi-Chefredaktion eingeleitete und begleitete Peer-Review-Verfahren macht aus deinem Wettbewerbsbeitrag eine zitierfähige Veröffentlichung. Ein JuWi-Paper ist der Startschuss für deine persönliche Veröffentlichungsliste. Und als erfolgreiche Teilnehmer*in eines Forschungswettbewerbs hast du den Löwenanteil der Arbeit bereits erledigt.

Sende deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung an:

Chefredaktion
Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter
Paul-Ducros-Straße 7
30952 Ronnenberg

Tel: 05109 / 561508
Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de



Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter*in, der bzw. die, die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird dir zugeschickt und du erhältst die Möglichkeit, Hinweise des oder der Fachgutachter*in oder eigene Änderungen einzuarbeiten. Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie Jugend forscht die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen. Bis hierhin hast du keinerlei Arbeit investiert.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und nach der Freigabe als Open-Access-Beitrag, also für jedermann zugänglich, veröffentlicht.

Was bringt es mir?

JuWi-Autor*innen erwerben in der engen Zusammenarbeit mit der Redaktion Kenntnis über den Aufbau einer wissenschaftlichen Arbeit, über wissenschaftlichen Schreibstil, worauf zu achten ist und welche Schritte wann notwendig sind. Autor*innen eines JuWi-Papers haben so sehr früh einen bedeutenden Teil wissenschaftlichen Publizierens erlernt, noch bevor sie an die Hochschule gehen.

Impressum

Junge Wissenschaft
c/o Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)
www.junge-wissenschaft.ptb.de

Redaktion

Dr.-Ing. Sabine Walter,
Chefredaktion Junge Wissenschaft
Paul-Ducros-Str. 7
30952 Ronnenberg
E-Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de
Tel.: 05109 / 561 508



Sabine Siems, Verlag
E-Mail: sabine.siems@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 8202



Design & Satz

Sebastian Baumeister
Art Director / stilsicher.design
E-Mail: baumeister@stilsicher.design
Tel.: 05142 / 98 77 89



Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,
Pressesprecher der PTB
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
E-Mail: jens.simon@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 3006
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

