

## Die Transitmethode

Wenn die Bahn eines Exoplaneten so orientiert ist, dass wir von der Erde aus auf die Kante der Bahnebene blicken, wird sich die Gesamthelligkeit des Zentralsterns periodisch um einen kleinen Betrag verringern. Der Planet wandert dann nämlich regelmäßig vor die Sternenscheibe und dunkelt sie etwas ab. Aus diesen Helligkeitsschwankungen lassen sich vielfältige Rückschlüsse auf die physikalischen Eigenschaften des Planeten ziehen.

### Aufgabe 1:

Die Helligkeitsschwankungen des Sternenlichts lassen sich mithilfe von Fernrohren und äußerst empfindlichen Sensoren aufzeichnen, wenn man den Stern lang genug beobachtet. Messungen mit erdgebundenen Teleskopen haben allerdings den Nachteil, dass die Luftbewegungen der Atmosphäre die Ergebnisse verschlechtern. Die meisten "Transit-Planeten" wurden daher mithilfe spezieller Satelliten aufgespürt.

Informieren Sie sich im Internet über die Satelliten COROT, KEPLER und TESS und fassen Sie ihre wesentlichen Eigenschaften mit eigenen Worten kurz zusammen.

### Aufgabe 2: Simulierte Helligkeitskurven:

- Ein kleines Computerprogramm "Transit.exe" soll Ihnen helfen, die Entstehung und die Form von typischen Helligkeitskurven (Transitkurven) zu verstehen<sup>1</sup>. Starten Sie das Programm „Transit.exe“ und machen Sie mit dessen Funktionen vertraut.
- Beschreiben Sie mit Worten und mit Skizzen (oder Übernahme von clipboard-Diagrammen), welchen Einfluss die Größe des Exoplaneten und seine Lage bezüglich des Sterns auf die Helligkeitskurve haben. Untersuchen und erklären Sie dann, inwieweit das Aussehen der Sternenscheibe (Randverdunkelung) die Helligkeitskurve verändert.
- Die Helligkeitskurve des Sterns TrES-1 weist eine Besonderheit auf. Die Delle im Kurvenverlauf entstand, weil der Planet bei seinem Transit vor der Sternenscheibe offenbar einen Sonnenfleck (Sternfleck) passierte. Stellen Sie eine solche Situation mithilfe der Simulation nach.

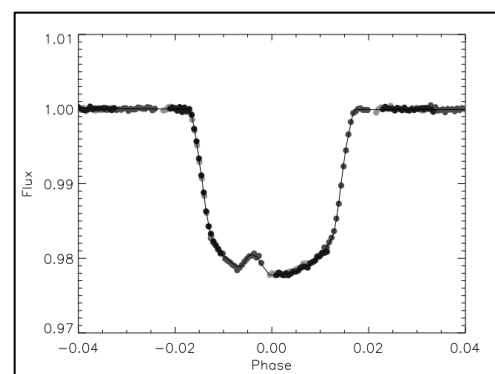


Abb. 1: Helligkeitskurve des Sterns TrES-1.  
Quelle: <https://arxiv.org/abs/0812.1799v1>

<sup>1</sup> <http://mabo-physik.de/transitmethode.html>

- d) Die Tiefe des Helligkeitseinbruchs bei einem Transit liefert eine Information über den Durchmesser (bzw. Radius) des Exoplaneten. Es gilt nämlich: Der Helligkeitsverlust entspricht der Relation zwischen der Fläche des Planetenscheibchens und der Fläche der Sternscheibe, also  $\Delta H = \frac{A_{\text{Planet}}}{A_{\text{Stern}}}$ .

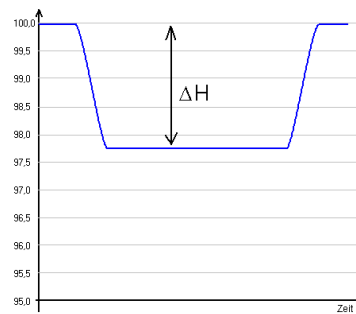
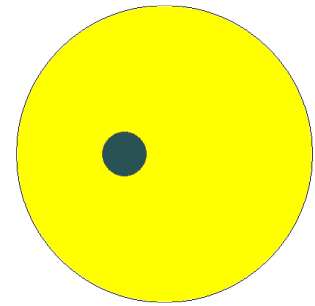


Abb. 2. Quelle: M. Borchardt



Leiten Sie damit und mithilfe der Formel für den Flächeninhalt eines Kreises die folgende Formel für den Radius des Exoplaneten her:  $r_{\text{Planet}} = r_{\text{Stern}} \cdot \sqrt{\Delta H}$ .

Bemerkung:

Wie man an der Formel erkennt, reicht die Kenntnis des Helligkeitseinbruchs alleine nicht aus. Vielmehr benötigt man auch den Radius des Sterns. Dieser ist aber in der Regel aus anderen Untersuchungen (zum Beispiel Sternspektrum) bekannt.

**Aufgabe 3:** Reale Helligkeitskurven

Im Anhang finden Sie die Helligkeitskurven zweier Exoplaneten. Mithilfe dieser Kurven sollen Sie die Radien (beziehungsweise Durchmesser) dieser Exoplaneten bestimmen.

Als Hilfestellung wird im Folgenden ein Beispiel Schritt für Schritt vorgerechnet. Es handelt sich um die Lichtkurve des Exoplaneten *Corot-1 b* (Abb. 3).

Vorweg noch eine Bemerkung zur Schreibweise: In den Naturwissenschaften ist es üblich, Unterschiede oder Differenzen einer Größe mit dem griechischen Buchstaben  $\Delta$  zu kennzeichnen. So bedeutet  $\Delta H$  (sprich: delta H) den Helligkeitsunterschied.

### Beispiel:

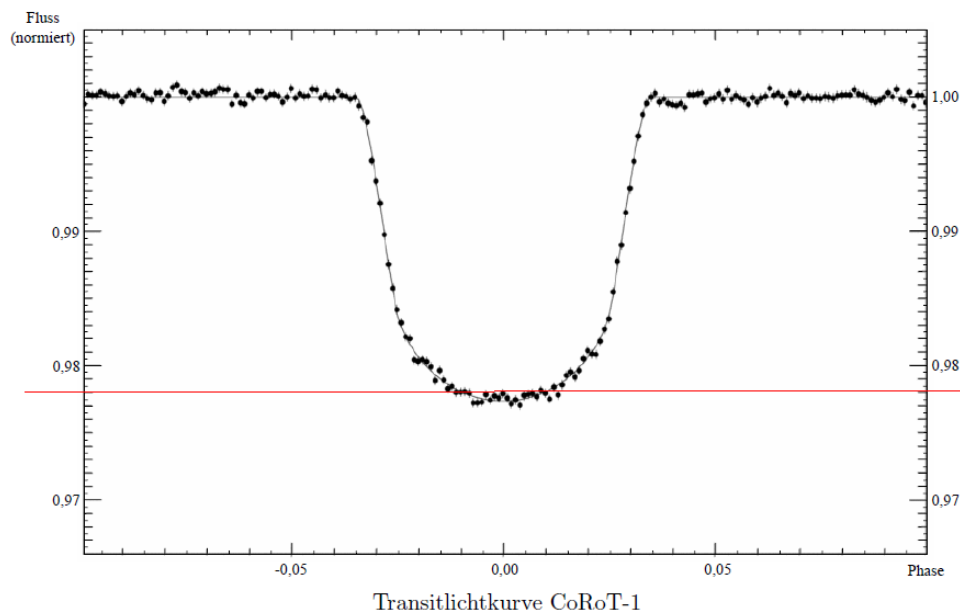


Abb. 3: Lichtkurve des Exoplaneten Corot-1b. Quelle: <https://arxiv.org/pdf/0803.3202.pdf>

Das Minimum der Kurve liegt bei einer Helligkeit von etwa 0,978 (in Prozent: 97,8 %). Der Helligkeitseinbruch beträgt also:  $\Delta H = 1 - 0,978 = 0,022$  (entsprechend 2,2 %). Aus spektralen Untersuchungen des Sterns ist bekannt, dass er einen Radius von  $r_{\text{Stern}} = 732.267 \text{ km}$  hat. Damit ergibt sich für den Radius des Exoplaneten:

$$r_{\text{Planet}} = r_{\text{Stern}} \cdot \sqrt{\Delta H} = 732.267 \text{ km} \cdot \sqrt{0,022} = 108.613 \text{ km}.$$

Es ist üblich, den Radius eines Exoplaneten mit dem Radius des Planeten Jupiter zu vergleichen. Daher rechnen wir:  $\frac{r_{\text{Planet}}}{r_{\text{Jupiter}}} = \frac{108.613 \text{ km}}{71.492 \text{ km}} = 1,52$ .

Das Ergebnis lautet also:  $r_{\text{Planet}} = 1,52 \cdot r_{\text{Jupiter}}$ . Unser Exoplanet ist also etwa eineinhalb Mal so groß wie der Planet Jupiter.

Bestimmen Sie nun – so wie oben gezeigt – die Größe der Exoplaneten *Kepler-5 b* und *Kepler-17 b* (siehe Material im Anhang).

Mit dem Programm „Transit.exe“ könne Sie die Helligkeitskurven auch simulieren. Führen Sie diese Simulationen durch und drucken Sie die Ergebnisse für Ihre Unterlagen aus.

### Material zu Aufgabe 3:

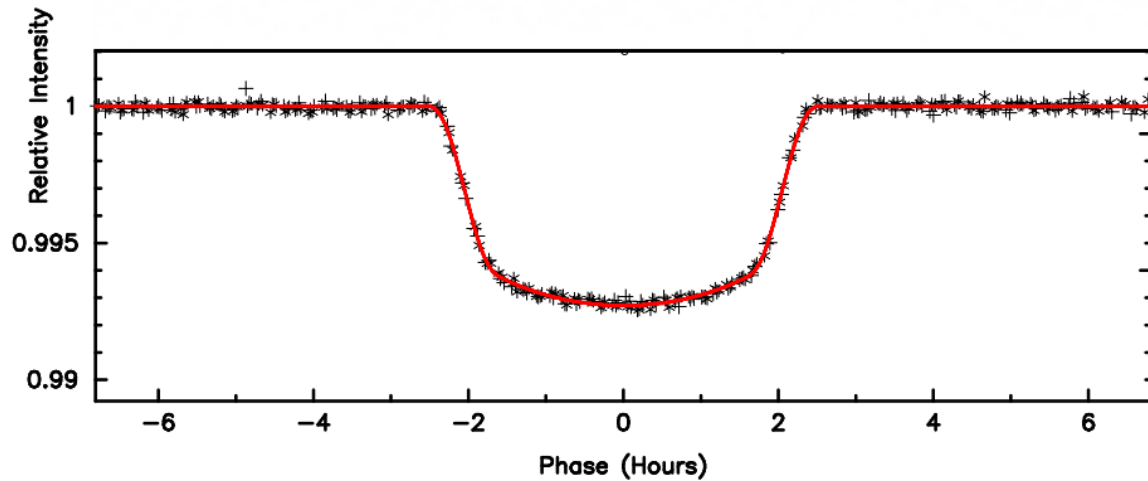


Abb. 4: Lichtkurve des Sterns Kepler-5. Quelle: <https://arxiv.org/abs/1001.0913v1>

Radius des Sterns Kepler-5:  $r_{\text{Stern}} = 1.248.541\text{km}$

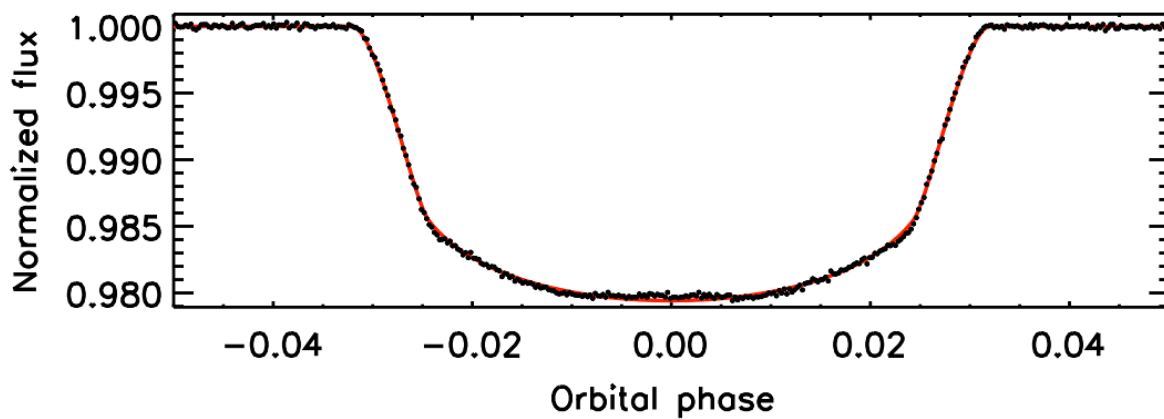


Abb. 5: Lichtkurve des Sterns Kepler-17. Quelle: <https://arxiv.org/abs/1107.5750v2>

Radius des Sterns Kepler-17:  $r_{\text{Stern}} = 731.160\text{km}$