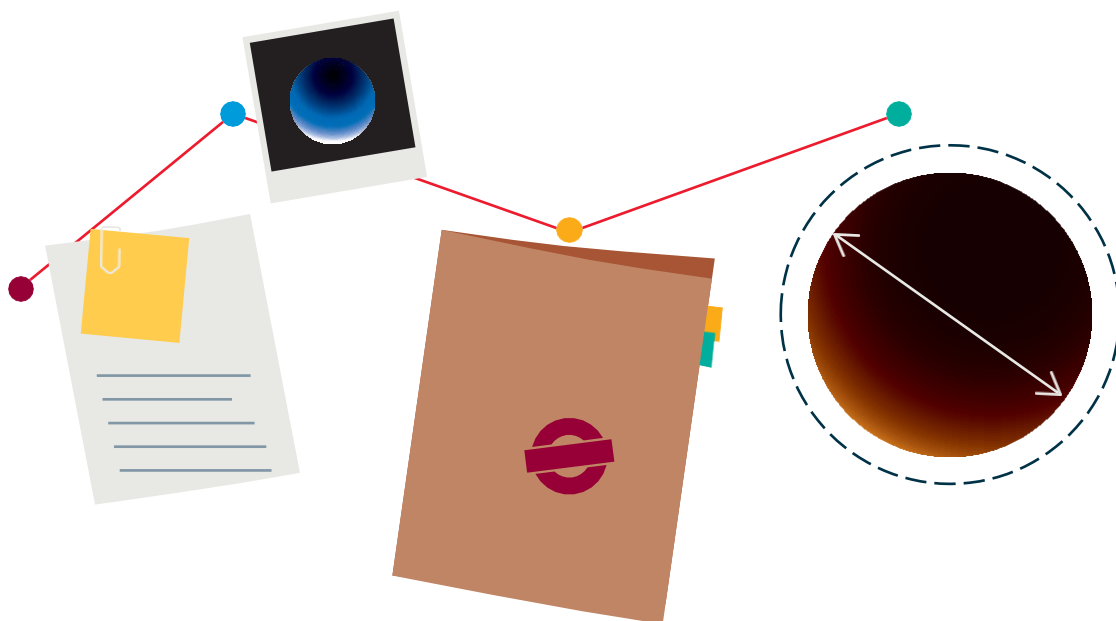


leren met de ruimte

→ HACK EEN EXOPLANEET

Een ruimtedetective worden





DOCENTENHANDLEIDING

<i>Snelle feiten</i>	03
<i>Inleiding</i>	04
<i>Activiteit</i>	05
<i>Uitdaging 1: Analyse van de KELT-3b-gegevens</i>	07
<i>Uitdaging 2: Analyse van TOI-560c-gegevens</i>	13
 <i>Links</i>	 14
<i>Bijlagen</i>	15

leer met de ruimte - hack een exoplaneet | P39
www.esa.int/education

Het ESA Education Office verwelkomt feedback en opmerkingen
teachers@esa.int

Een ESA-onderwijsproductie in samenwerking met ESA Science
 Copyright 2023 © Europees Ruimteagentschap

→ HACK EEN EXOPLANEET

Een ruimtedetective worden

Snelle feiten

Onderwerp: Natuurkunde, Wiskunde, Astronomie

Leeftijdscategorie: 14 - 19 jaar

Type: studentenactiviteit en/of hackathon

Complexiteit: gemiddeld

Vorbereidingstijd leraar: 1 uur

Benodigde lestijd: 90 minuten per uitdaging (3 uur totaal)

Kosten: laag (0-10 euro)

Locatie: klaslokaal

Maakt gebruik van: computer (indien niet mogelijk wordt een alternatief voorgesteld)

Trefwoorden: Natuurkunde, Wiskunde, Astronomie Exoplaneet, Transit

Korte beschrijving

In deze activiteit gaan de leerlingen twee exoplaneten karakteriseren door gegevens te analyseren die door de Cheops-satelliet van ESA zijn verkregen. De leerlingen werken als echte wetenschappers en passen een model toe op de gegevens om de best passende parameters te vinden.

De activiteit kan worden voltooid in een begeleide vorm of in een vorm van projectmatig leren, bijvoorbeeld in een hackathon. De docentenhandleiding presenteert beide opties.

De activiteiten worden aangevuld met video-uitleg van deskundigen op het gebied van exoplaneten.

Leerdoelen

- Wetenschappelijk werken met echte satellietgegevens.
- Pas wiskundige gegevensanalysetechnieken toe door een model te passen op echte gegevens.
- Leer over de derde wet van Kepler en baanmechanica.
- Begrijpen wat een exoplaneet transit is.
- Teamwerkvaardigheden opbouwen onder tijdsdruk.

Je moet ook

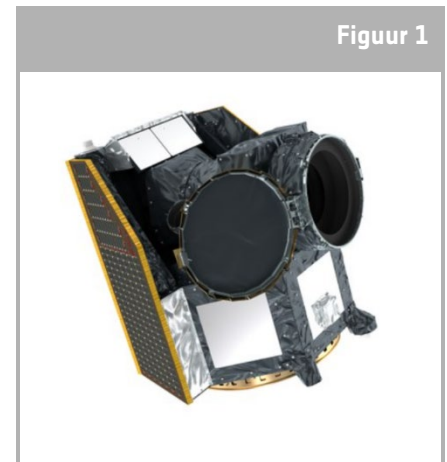
Ondersteunend videomateriaal. Zie sectie Links.

- Inleiding tot Hack een Exoplaneet - word een exoplaneetdetective
- *Allesfitter* minitutorial - stap-voor-stap gids over hoe het beste model op de gegevens te passen
- Hoe bepaal je de grootte van een exoplaneet?
- De omlooptijd en afstand van een exoplaneet, met behulp van de derde wet van Kepler
- Kunnen exoplaneten bewoonbaar zijn?
- Waar zijn exoplaneten van gemaakt?

→ Inleiding

Deze educatieve activiteit is ontwikkeld in het kader van de allereerste ESA Education hackathon voor middelbare scholieren: "**Hack een Exoplaneet**". Deze uitdagingen stellen leerlingen in staat echte satellietgegevens te gebruiken om vreemde werelden te onderzoeken en voor één dag exoplaneetdetectives te worden.

In januari 2023 neemt ESA's Cheops (CHaracterising ExOPlanet Satellite) speciaal voor deze activiteit twee exoplaneten waar, KELT-3b en TOI-560c. Door de Cheops-gegevens te analyseren, kunnen leerlingen samen met de ESA-wetenschappers op zoek gaan naar antwoorden en hen helpen deze twee mysterieuze buitenaardse werelden te begrijpen.



Figuur 1

↑ Artist impression van Cheops.

De uitdagingen zijn praktische activiteiten waarbij de leerlingen de gegevens van de Cheops-satelliet van ESA moeten analyseren. De leerlingen moeten de belangrijkste eigenschappen van de exoplaneten karakteriseren, gebruikmakend van het ondersteunende materiaal en de educatieve versie van het pasinstrument, *allesfitter*, dat speciaal voor deze datasets is gemaakt. De activiteiten gaan vergezeld van zowel schriftelijke als video-uitleg en voorbeelden, voorbereid door deskundigen op het gebied van exoplaneten.

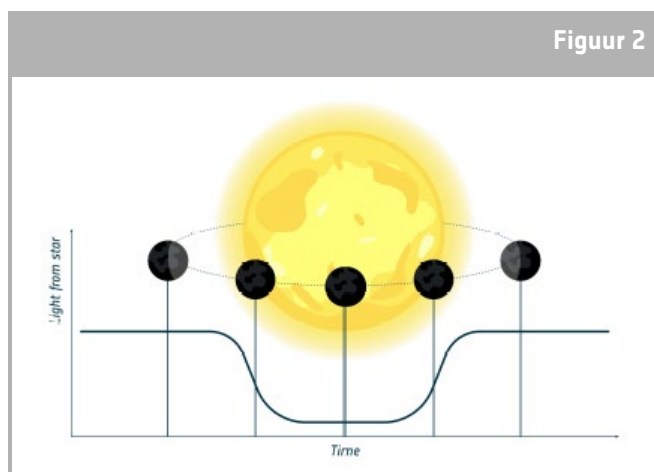
De activiteiten kunnen worden gepresenteerd in een geleide vorm of in een projectmatige leervorm, bijvoorbeeld in een hackathon. De docentenhandleiding presenteert beide opties.

Wat is een exoplaneet?

Exoplaneten, of extrasolaire planeten, zijn planeten buiten ons eigen zonnestelsel die om een andere ster dan onze zon draaien.

Hoe bestuderen we exoplaneten?

Er zijn momenteel meer dan 5000 bevestigde exoplaneten in ongeveer 4000 stelsels, maar exoplaneten zijn moeilijk te detecteren. Het signaal dat wij van een exoplaneet ontvangen is zeer klein in vergelijking met het veel grotere signaal van hun grotere, helderdere gastheersterren, meestal veel minder dan 1%.



Figuur 2

↑ Weergave van de transitfotometriemethode.

Er zijn verschillende methoden om exoplaneten op te sporen en te karakteriseren, in deze activiteit gebruiken we de **transitfotometermethode**. Dit is de meest gebruikelijke methode om exoplaneten te vinden.

Fotometrie - het woord fotometrie komt van het Grieks: foto "licht" en metry "meten". Het is een techniek die in de astronomie wordt gebruikt om het licht van sterren kwantitatief te meten.

Transit - de exoplaneet wordt gedetecteerd door een dimmer in het licht van de ster te meten.

→ Activiteit

De activiteit *Hack an Exoplanet* bestaat uit twee uitdagingen. De eerste uitdaging is de analyse van de lichtkromme van de reuzenexoplaneet KELT-3b. Door de instructies in het ondersteunende materiaal en/of de informatie in de instructievideo's te volgen, zullen de leerlingen de eigenschappen van KELT-3b kunnen afleiden.

De tweede uitdaging is de analyse van de lichtkromme van de mini-Neptunus-exoplaneet TOI-560c. Nadat zij het proces voor KELT-3b hebben voltooid, moeten de leerlingen in staat zijn de gegevensanalyse van TOI-560c zelfstandig uit te voeren door een soortgelijk proces te volgen.

Apparatuur

- Computer met toegang tot het internet voor toegang tot de browsersoftware *allesfitter*. Indien deze stap niet mogelijk is, kunnen de teams gebruik maken van de best passende parameters in **bijlage 1** - Lichtkromme van de exoplaneet KELT-3b en **bijlage 2** - Lichtkromme van de exoplaneet TOI-560c.
- Werkblad voor elke groep, inclusief:
 - Onderzoekskaart voor exoplaneten
 - Dossiers KELT-3b en TOI-560c
 - Informatie over de planeten van het zonnestelsel
 - Stap-voor-stap *allesfitter* gids
- Rekenmachine (optioneel)
- Bij deze activiteit horen ook zes ondersteunende video's om de teams te begeleiden (zie rubriek Links):
 - Inleiding tot Hack een Exoplaneet - word een exoplaneetdetective
 - *Allesfitter* minitutorial - stap-voor-stap gids over hoe het beste model op de gegevens te passen
 - Hoe bepaal je de grootte van een exoplaneet?
 - De omlooptijd en afstand van een exoplaneet, met behulp van de derde wet van Kepler
 - Kunnen exoplaneten bewoonbaar zijn?
 - Waar zijn exoplaneten van gemaakt?

De informatie in de video's wordt ook gepresenteerd in deze docentenhandleiding.

Oefening:

De gegevenssets voor de twee doelen zijn op 22 en 23 januari 2023 door de Cheops-satelliet van ESA verkregen, speciaal voor deze onderwijsactiviteit. De gegevens zijn verwerkt door ESA-deskundigen en zijn klaar voor gebruik door de leerlingen.

Deze activiteit kan worden gepresenteerd in een begeleide vorm of in een vorm van projectmatig leren, bijvoorbeeld in een hackathon. De docentenhandleiding presenteert beide opties.

Wij raden aan deze activiteit uit te voeren in teams van 3 tot 4 leerlingen. Zo kunnen de leerlingen discussiëren over de beste aanpak voor elke uitdaging en de resultaten bespreken.

Opmerking: als de analyse van de gegevens te complex is, kunnen de teams het dossier ook aanvullen door de informatie online op te zoeken.

Begeleid formaat

- Begin met het onderwerp exoplaneten aan de klas voor te stellen. Wij stellen voor deze inleidende video te gebruiken: *Introduction to Hack an Exoplanet*.
- Verdeel de klas in teams van 3 tot 4 leerlingen.
- Leg de uitdaging aan de leerlingen voor. Elk team moet de belangrijkste eigenschappen van de exoplaneet KELT-3b karakteriseren door het dossier in te vullen dat beschikbaar is in hun werkbladen. De teams moeten de grootte, de baanperiode, de baanafstand, de temperatuur en de samenstelling van KELT-3b bepalen en de eigenschappen vergelijken met die van de planeten in ons zonnestelsel. De onderzoekskaart voor exoplaneten geeft meer informatie over elke genoemde eigenschap.
- Deel de bewijsstukken uit aan de teams en geef ze enkele minuten de tijd om ze te analyseren.
- Bepaal een tijd voor de teams om elke eigenschap van een exoplaneet te bepalen. Voordat de teams beginnen met hun werk om elke eigenschap te bepalen, laat hen de desbetreffende ondersteunende video zien. De ondersteunende video's bevatten informatie over het bepalen van elke eigenschap en de oplossing voor KELT-3b.
- Zorg ervoor dat de teams begrijpen hoe ze elke parameter moeten bepalen voordat ze naar de volgende gaan.
- Nadat alle parameters zijn bepaald, moeten de teams hun conclusies presenteren en bespreken met de klas.
- Als volgende stap kunt u voorstellen uitdaging 2 te voltooien en de kenmerken van de exoplaneet TOI-560c te bepalen.

Projectgebaseerd formaat - hackathon

- Verdeel de klas in teams van 3 tot 4 leerlingen.
- Begin met het introduceren van het hackathonconcept aan de leerlingen met behulp van deze introductievideo: *Inleiding tot Hack een Exoplaneet*
- U kunt de teams de uitdagingen autonoom laten uitvoeren (bijvoorbeeld als huiswerk of als project in de klas) of het doen in een gezamenlijke klas of een schoolevenement.
- Versterk zo nodig het concept van de uitdaging voor de leerlingen. Elk team moet de belangrijkste eigenschappen van de exoplaneet KELT-3b karakteriseren door het dossier in te vullen dat beschikbaar is in hun werkbladen. De teams moeten de grootte, de baanperiode, de baanafstand, de temperatuur en de samenstelling van KELT-3b bepalen en de eigenschappen vergelijken met die van de planeten in ons zonnestelsel. De onderzoekskaart voor exoplaneten geeft meer informatie over elke genoemde eigenschap.
- Deel de ondersteunende documentatie uit aan de teams en geef hen een tijdsbestek om de volledige uitdaging te voltooien; wij stellen ongeveer 90 minuten voor voor de analyse van KELT-3b.
- Om ervoor te zorgen dat de teams een gestage vooruitgang boeken, kunt u een tijdschema instellen voor de bepaling van elke eigenschap of de relevante ondersteunende video laten zien en op specifieke momenten tips geven. De ondersteunende video's bevatten informatie over het bepalen van elke eigenschap en de oplossing voor KELT-3b.
- Nadat alle parameters zijn bepaald, moeten de teams hun conclusies presenteren en bespreken met de hele groep.
- Als volgende stap kunt u voorstellen uitdaging 2 te voltooien en de kenmerken van de exoplaneet TOI-560c te bepalen.

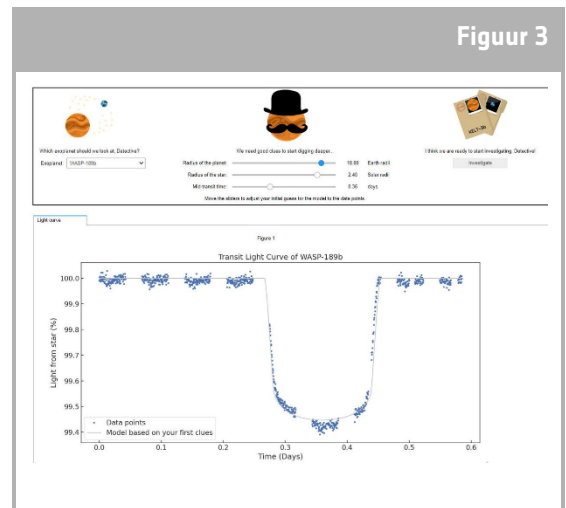
→ Uitdaging 1 - Analyse van KELT-3b-gegevens

Toegang tot en aanpassing van de satellietgegevens

De gegevens zijn toegankelijk via deze link: hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Deze versie van *allesfitter* is een online applicatie die gemakkelijk en gratis toegang biedt tot Cheops-satellietgegevens, waarmee meerdere exoplaneten kunnen worden gemodelleerd op basis van transitmetingen. Het is toegankelijk via een desktop browser.

Om de best passende parameters van de gegevens te verkrijgen, moeten de leerlingen de *allesfitter* stap-voor-stap handleiding in het werkblad voor leerlingen volgen of de videohandleiding volgen. Deze handleiding geeft instructies voor het gebruik van de educatieve browserversie van de *allesfitter*-tool. In deze versie van het gereedschap zijn de gegevensreeksen al geüpload, en kunnen alleen specifieke parameters worden onderzocht: planeetstraal, sterstraal en middentijd.



↑ *Allesfitter* interface.

Opmerking: Indien deze stap niet mogelijk is, kunnen de teams gebruik maken van de best passende parameters in **bijlage 1** - Lichtdoorgangscurve van de exoplaneet KELT-3b en **bijlage 2** - Lichtdoorgangscurve van de exoplaneet TOI-560c.

Hoe bepaal je de grootte van een exoplaneet?

Bij de transitfotometriemethode meet de telescoop de hoeveelheid sterlicht over een bepaalde periode. Wetenschappers passen modellen toe op de gegevens om te proberen variaties in het sterlicht te ontdekken die door een exoplaneet zouden kunnen worden veroorzaakt.

Bij de transitfotometriemethode detecteren we de exoplaneet niet rechtstreeks (behalve in zeer specifieke gevallen). In plaats daarvan meten we de hoeveelheid sterlicht die de exoplaneet tegenhoudt wanneer hij tussen de ster en de telescoop door beweegt.

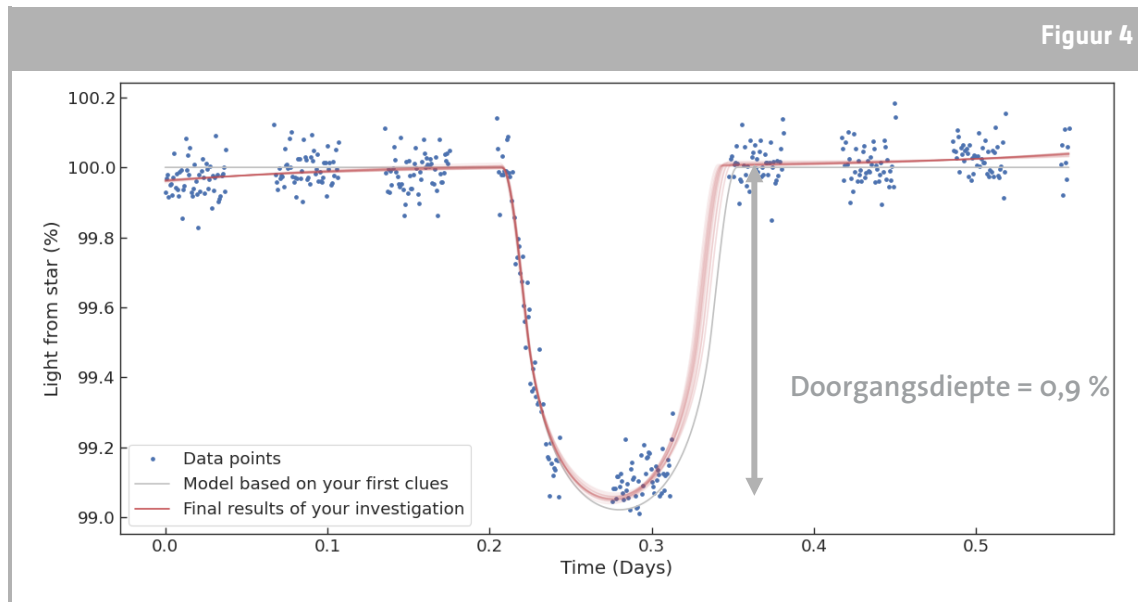
De hoeveelheid sterlicht die de exoplaneet tegenhoudt, wordt gewoonlijk de transitdiepte genoemd. En deze waarde is evenredig met de geprojecteerde oppervlakte van de exoplaneet.

De straal van de exoplaneet (R_p) kan worden bepaald als de straal van de ster (R_s) en de transitdiepte bekend zijn:

$$\text{transit depth (\%)} \approx \frac{\pi \cdot R_p^2}{\pi \cdot R_s^2} \times 100$$

KELT-3b voorbeeld:

Laten we nu de gegevens van KELT-3b als voorbeeld analyseren.



↑ KELT-3b-gegevens van Cheops met het best passende transitlichtcurve-model van *allesfitter*.

De straal van de ster KELT-3 is bekend en is opgenomen in het dossier: $R_s = 1,70 R_{Sun}$

Door analyse van de Cheops-gegevens kunnen we de transitdiepte meten op ongeveer 0,9% (figuur 4).

Met de bovenstaande vergelijking: $R_p = \sqrt{R_s^2 \times \frac{\text{transit depth}}{100}} = \sqrt{1.70^2 \times \frac{0,9}{100}} = 0,161 R_{Sun}$

Omrekenen naar eenheden van aardstralen: $R_p = 0,161 \times 109 = \mathbf{17.5 R_{Earth}}$

Wanneer de leerlingen de allesfitter-software gebruiken, krijgen zij een best passende waarde voor de straal. Deze waarde kan aanzienlijk afwijken van deze eenvoudige schatting. Op de interface kunnen de leerlingen slechts drie parameters variëren, maar de allesfitter-software past op de gegevens met een complex model met verscheidene verborgen parameters die een meer volledige pasvorm aan de gegevens kunnen geven.

Hoe bepaal je de omlooptijd en afstand met behulp van de derde wet van Kepler?

De omlooptijd, T , van een planeet is de tijd die de planeet nodig heeft om één volledige baan om zijn ster te voltooien. Deze kan worden gemeten door de middentijd (het midden van de doorgang) van twee opeenvolgende doorgangen van dezelfde exoplaneet te vinden en het tijdsinterval daartussen te meten.

Voor deze waarnemingen hebben we slechts één transit, maar we kunnen de omlooptijd extrapoleren

door de huidige waarnemingsgegevens te vergelijken met eerdere waarnemingsgegevens in het gegevensarchief.

Als we de omlooptijd van de exoplaneet kennen, kunnen we de Derde Wet van Kepler gebruiken om de gemiddelde baanafstand, d , tussen de planeet en de ster af te leiden.

$$T^2 = \left(\frac{4\pi^2}{GM_s} \right) d^3$$

Waarbij G de gravitatieconstante is en M_s de massa van de ster.

KELT-3b voorbeeld:

Laten we nu de gegevens van KELT-3b analyseren als voorbeeld. In deze oefening moeten de leerlingen goed letten op de eenheden.

- De zwaartekrachtconstante in SI-eenheden is $G = 6,67430 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$
- De massa van de ster KELT-3 is bekend: $M_s = 1,96 M_{\text{Sun}}$
- We moeten zijn massa omrekenen naar SI-eenheden: $M_s = 3,90 \times 10^{30} \text{ kg}$
- Uit de modelpassing hebben we geleerd dat de omlooptijd, $T = 2,70339 \text{ dagen}$. Als we de omlooptijd omrekenen naar seconden: $T = 233\,573 \text{ s}$

We hebben nu alle informatie om de afstand tussen de ster en de exoplaneet te bepalen.

$$d = \sqrt[3]{\frac{GM_s}{4\pi^2} T^2} = \sqrt[3]{\frac{6,67430 \times 10^{-11} \times 3,90 \times 10^{30}}{4\pi^2} 233\,573^2} = 7,112 \times 10^9 \text{ m} = \mathbf{0,048 \text{ au}}$$

Laten we nu de periode en de gemiddelde baanafstand van KELT-3b vergelijken met de planeten in ons zonnestelsel:

Tabel 1		
Planeet	Periode (dagen)	Gemiddelde baanafstand (au)
KELT-3b	2,70339	0,048
Kwik	87,97	0,4
Aarde	365,25	1
Neptunus	60 266,25	30

↑ Vergelijking van de periode en gemiddelde baanafstand voor KELT-3b en planeten in het zonnestelsel

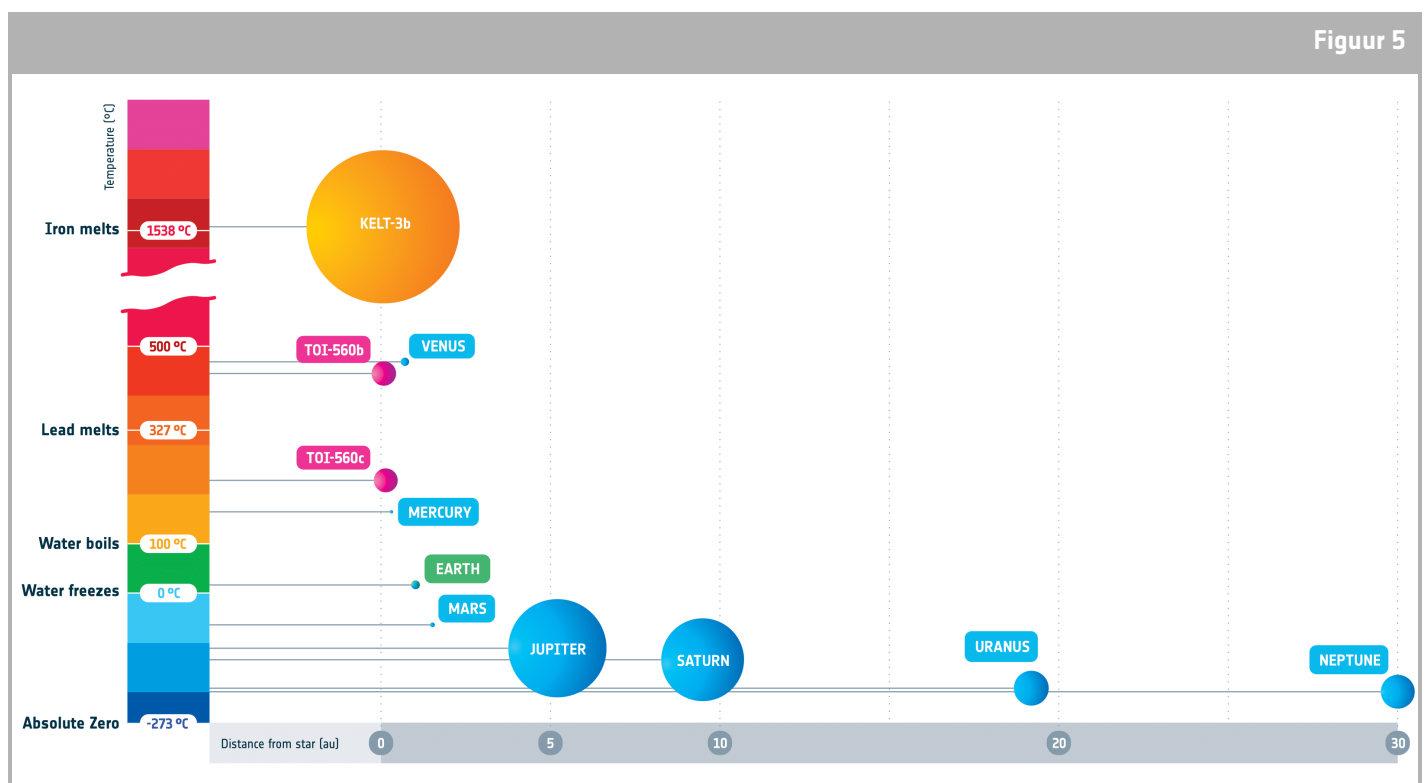
KELT-3b heeft een veel kortere omlooptijd dan Mercurius, de planeet die in ons zonnestelsel het dichtst

bij de zon staat, vanwege de geringe afstand van de exoplaneet tot zijn gastheerster. De transitfotometriemethode identificeert planeten in dit soort banen gemakkelijker dan planeten in ons zonnestelsel.

Hoe weten we of een exoplaneet bewoonbaar is?

Tot op heden is de aarde de enige plaats in het heelal waarvan bekend is dat er leven is. Het is ook onbekend of leven zich zou kunnen ontwikkelen en bestaan in omstandigheden die sterk verschillen van die op onze planeet. Bij het onderzoeken van exoplaneten en het bepalen van de mogelijke voorwaarden voor bewoonbaarheid, proberen wetenschappers vast te stellen welke omstandigheden vergelijkbaar zijn met die op aarde, zoals de temperatuur.

Een belangrijke factor voor bewoonbaarheid is de temperatuur. De temperatuur van een planeet wordt meestal bepaald door de afstand tot zijn gastheerster. Wanneer een planeet rond een ster draait op een afstand waarop **vloeibaar water** op zijn oppervlak aanwezig kan zijn, bevindt de planeet zich in de **bewoonbare zone** van zijn gastheerster.



↑ Diagram met de grootte en de temperatuur van de planeten versus de afstand tot zijn gastheerster. De grootte en afstand van de planeten worden weergegeven met twee verschillende schalen.

Venus: de uitzondering in het zonnestelsel

De temperatuur aan het oppervlak van een planeet wordt ook beïnvloed door zijn atmosfeer. In het zonnestelsel is Venus een extreem voorbeeld. Haar dikke atmosfeer werkt als een broeikas en verwarmt het oppervlak tot boven het smeltpunt van lood, waardoor zij warmer is dan Mercurius, hoewel zij verder van de zon af staat.

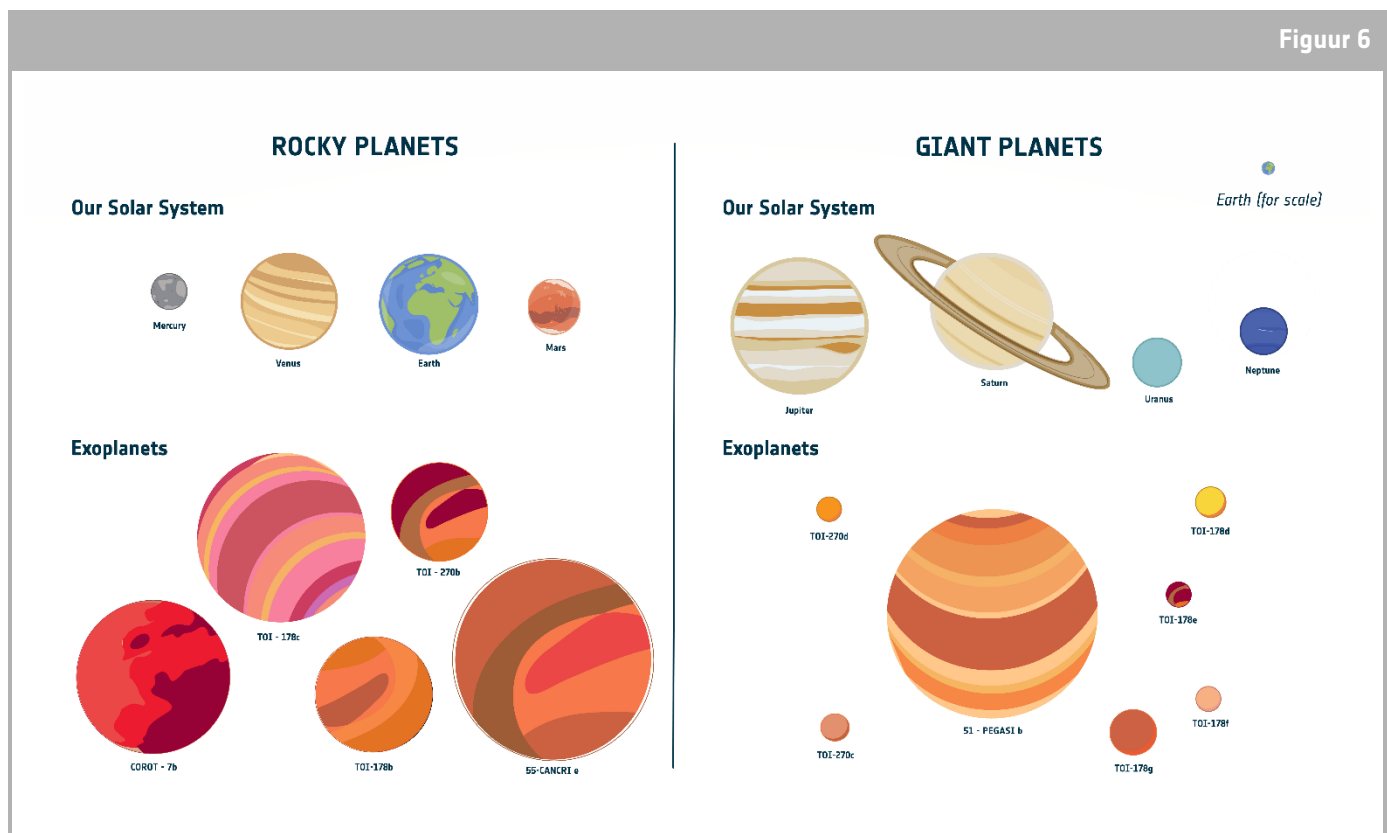
KELT-3b voorbeeld:

Laten we nu KELT-3b als voorbeeld nemen. Het is onwaarschijnlijk dat KELT-3b leven kan herbergen omdat hij te dicht bij zijn gastheerster staat, waardoor zijn oppervlaktetemperatuur zeer hoog is, boven het smeltpunt van ijzer. De meeste aminozuren, de bouwstenen van het leven, zouden zulke extreme temperaturen niet overleven. De planeet wordt ook gebombardeerd door hoge stralingsniveaus vanwege de zeer korte afstand tot zijn gastheerster.

Waar zijn exoplaneten van gemaakt?

In ons zonnestelsel worden planeten meestal ingedeeld in twee categorieën: rotsachtig en gasvormig. Exoplaneten kunnen echter heel anders zijn dan de buurplaneten die wij gewend zijn.

Figuur 6



↑ Voorbeelden van artistieke impressies van echte exoplaneten die al ontdekt zijn bij nabije sterren.

Door de gemiddelde **dichtheid** van een exoplaneet te berekenen, **ρ** is het mogelijk een idee te krijgen van de samenstelling van de exoplaneet.

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Hierin is M de massa van de exoplaneet en V het volume van de exoplaneet.

De massa en het volume van de exoplaneet worden normaal gesproken bepaald met een grote fout in de waarden. Deze fouten worden vervolgens doorberekend in de berekening van de dichtheid van de exoplaneet, waardoor een onzekerheid in de dichtheidswaarde ontstaat van 10% tot 30%.

Een andere techniek om exoplaneten te bestuderen heet spectroscopie. Bij deze techniek wordt het licht van de ster of de exoplaneet opgesplitst in verschillende golflengten, waardoor de **samenstelling van de atmosfeer** of de bewolking van de exoplaneet kan worden bepaald.

KELT-3b voorbeeld:

Laten we nu als voorbeeld de gegevens van KELT-3b analyseren. De massa van KELT-3b is $617 M_{\text{Earth}}$. Deze waarde kan niet worden bepaald aan de hand van transitfotometrie. Zij is bepaald aan de hand van eerdere waarnemingen met behulp van een andere techniek, de radiale snelheid.

In de eerste oefening hebben we reeds de straal van KELT-3b bepaald. Door de straal te kennen, kunnen we het volume van de exoplaneet berekenen, ervan uitgaande dat het een perfecte bol is: $V = \frac{4}{3} \pi R^3$.

$$M_p = 617 M_{\text{Earth}} = 3,685 \times 10^{30} \text{ g}$$

$$R_p^* = 17,5 R_{\text{Earth}} = 1,116 \times 10^{10} \text{ cm}$$

* Deze straalwaarde is geschat uit de berekening van de transitdiepte, de leerlingen kunnen ook de best passende modelwaarde van de *allesfitter* gebruiken.

$$\rho = \frac{M}{V} = 0,63 \text{ g cm}^{-3}$$

Deze waarde is veel kleiner dan de gemiddelde dichtheid van Jupiter, en ligt dicht bij de dichtheid van WASP-189b (een bekende hete Jupiter-exoplaneet). De kleine afstand tot zijn gastheerster en de hoge temperatuur maken de exoplaneet 'gezwollen'.

KELT-3b samenvatting

KELT-3b is een hete Jupiter die rond een zonachtige ster draait, KELT-3, op ongeveer 690 lichtjaar van de aarde.

KELT-3b draait zeer dicht om zijn gastheerster, meer dan 10 keer dicht dan de aarde om de zon draait. De exoplaneet heeft slechts 2,7 dagen nodig om een volledige baan rond KELT-3 af te leggen.

Door de nabijheid van zijn gastheerster is de gemiddelde temperatuur van de exoplaneet zeer hoog, boven de smelttemperatuur van ijzer, waardoor hij volledig bewoonbaar is.

KELT-3b bestaat voornamelijk uit waterstof en helium, vergelijkbaar met Jupiter. Door de hoge temperatuur van de exoplaneet en de nabijheid van de ster is zijn atmosfeer zeer uitgestrekt (gezwollen) en is zijn gemiddelde dichtheid zeer laag.

Tabel 2	
Exoplaneet	KELT-3b
Soort planeet	Hete Jupiter
Straal (R_{Earth})	16,81 (van allesfitter)
	17,5 (van transitdiepte)
Massa (M_{Earth})	617 ± 105
Omlooptijd (dagen)	2,70339
Gemiddelde baanafstand (au)	$\sim 0,048$
Dichtheid (g/cm^3)	$\sim 0,63$
Gemiddelde temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)	~ 1543

↑ Samenvatting van een schatting van de eigenschappen van KELT-3b

Uw project indienen

Teams kunnen het hack an exoplanet-project van hun team indienen op het Hack an Exoplanet-platform om een deelnamecertificaat te ontvangen. Om uw project in te dienen gaat u naar hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ Uitdaging 2 - Analyse van TOI-560c-gegevens

Na de analyse van KELT-3b zouden de teams hetzelfde analyseproces moeten kunnen volgen voor de gegevens van TOI-560c.

Alle benodigde informatie is beschikbaar in het dossier in het werkblad van de student, en op hackanexoplanet.esa.int/challenges.

Teams kunnen hun hack an exoplanet-project indienen op het Hack an Exoplanet-platform om een deelnamecertificaat te ontvangen. Ga om het project van uw team in te dienen naar hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

Prijs voor het beste project:

Om kans te maken op de prijs voor het beste project moeten teams hun onderzoeksverslag over TOI-560c.

De inzending van uw team moet uw analyse van de Cheops-gegevens voor TOI-560c bevatten, en de opmaak van een wetenschappelijke paper volgen, inclusief een samenvatting, analyse en resultaten, en conclusies.

De winnende teams ontvangen ESA-goodies en de kans om op 17 juli 2023 deel te nemen aan een webinar met Nobelprijswinnaar voor natuurkunde Didier Queloz. De uiterste inzenddatum is 14 juni 2023.

Om uw project in te dienen gaat u naar hackanexoplanet.esa.int/submit-your-project.

→ LINKS

Ondersteunende middelen

Een exoplaneet hacken:

hackanexoplanet.esa.int

Hack een exoplaneet educatieve gids voor de activiteit

hackanexoplanet.esa.int/nl/educators-guide

AllesFitter educatieve versie van de software:

hackanexoplanet.esa.int/allesfitter

Inleiding tot Hack een Exoplaneet - word een exoplaneetdetective

hackanexoplanet.esa.int/nl/challenges

Allesfitter minitutorial - stap-voor-stap gids over hoe het beste model op de gegevens te passen

hackanexoplanet.esa.int/nl/allesfitter-guide

Hoe bepaal je de grootte van een exoplaneet?

hackanexoplanet.esa.int/nl/challenges-size

De omlooptijd en afstand van een exoplaneet, met behulp van de derde wet van Kepler

hackanexoplanet.esa.int/nl/challenges-orbital-period-and-distance

Kunnen exoplaneten bewoonbaar zijn?

hackanexoplanet.esa.int/nl/challenges-temperature-and-habitability

Waar zijn exoplaneten van gemaakt?

hackanexoplanet.esa.int/nl/challenges-composition

Wetenschappelijke referenties voor KELT-3b

exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/overview/KELT-3

ESA-middelen

ESA-lesmateriaal

esa.int/Education/Classroom_resources

Lesgeven met exoplaneten

esa.int/Education/Teach_with_Exoplanets

Ontmoet Cheops: de Karakteriserende Exoplaneetsatelliet

esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2019/12/Meet_Cheops_the_Characterising_Exoplanet_Satellite

ESA-ruimteprojecten

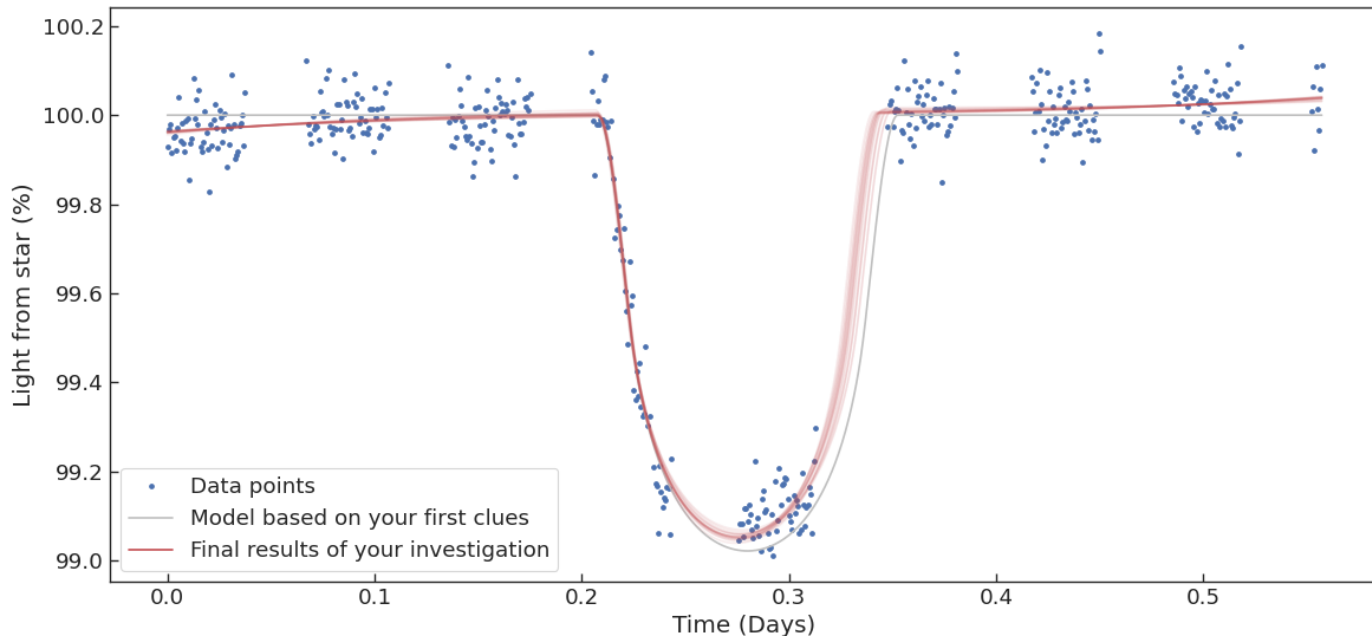
Cheops - Karakteriserende Exoplaneetsatelliet

esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops

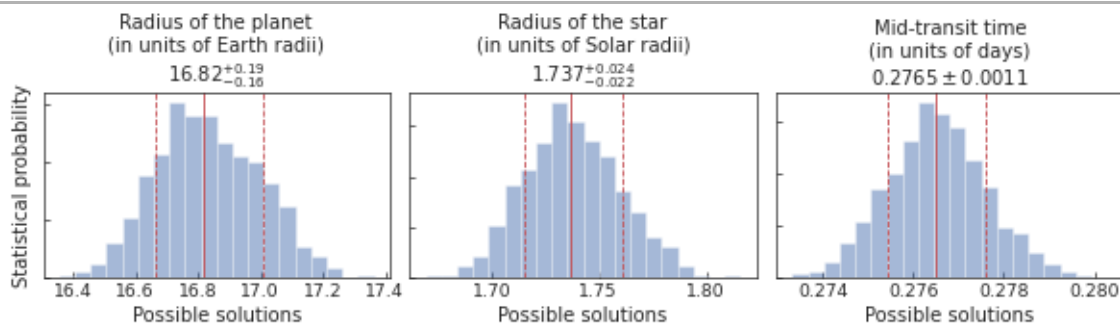
→ Bijlage 1

Lichtkromme van de exoplaneet KELT-3b.

KELT-3b beste model fit resultaten van *allesfitter*



↑ [Lichtdoorgangscurve best passend model.](#)



- De histogrammen tonen de kans dat elke parameter een bepaalde waarde heeft.
- De centrale, ononderbroken lijn toont de mediaan van elke parameter.
- De stippellijnen links en rechts daarvan geven respectievelijk de onder- en bovengrens aan.
- Dit worden de 1-sigma onzekerheden genoemd. Dat betekent dat we er statistisch gezien 68% zeker van kunnen zijn dat de werkelijke waarde daarbinnen ligt.
- Dit betekent dat het mogelijk is dat de werkelijke waarde van een parameter buiten deze grenzen ligt; het zijn slechts statistische onzekerheden, geen definitieve grenzen.

↑ [Histogram van de statistische waarschijnlijkheid van alle parameterwaarden van KELT-3b](#)

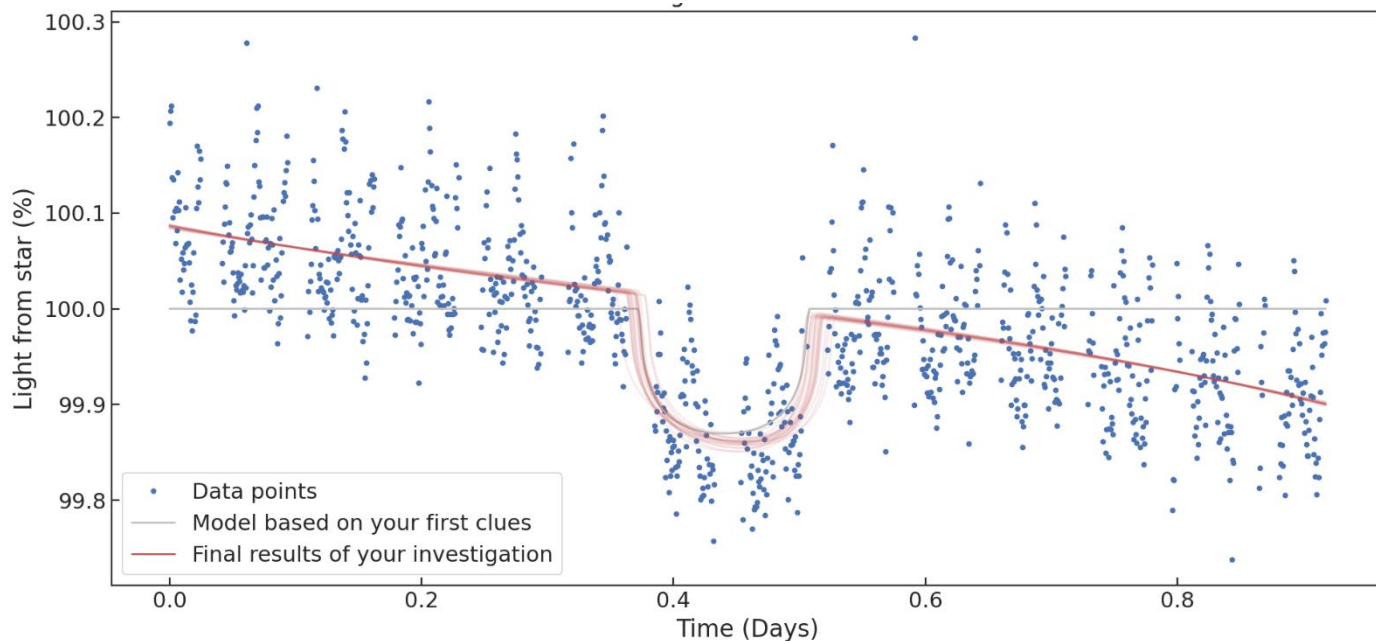
Naam	Mediaanwaarde	Lagere fout	Bovenste fout	Case note
Straal van de planeet (in eenheden van aardstralen)	16,82	0,16	0,19	Cheops observaties
Straal van de ster (in eenheden van Zonnestralen)	1,737	0,022	0,024	Cheops observaties
Tussentijdse doorlooptijd (in eenheden van dagen)	0,2765	0,0011	0,0011	Cheops observaties
Omlooperperiode (in eenheden van dagen)	2,70339			Andere opmerkingen uit het archief

↑ [Tabel met de best passende modelparameters.](#)

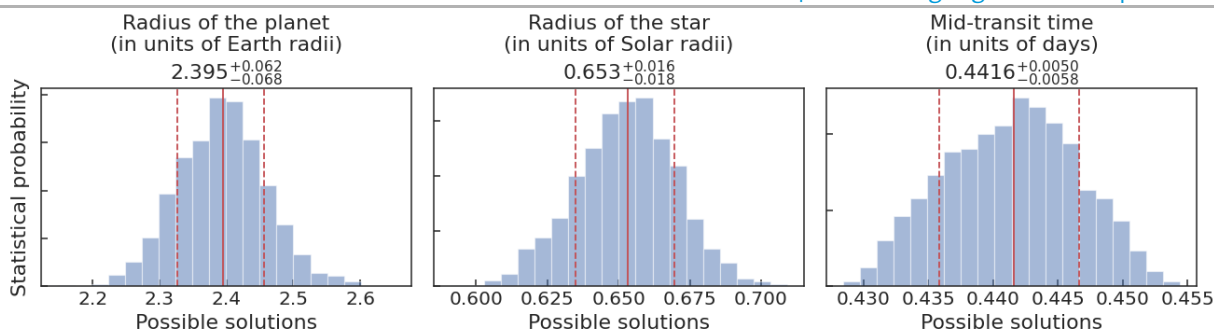
→ Bijlage 2

Lichtdoorgangscurve van de exoplaneet TOI-560c

TOI-560c beste model fit resultaten van *allesfitter*



↑ Lichtdoorgangscurve best passend model.



- De histogrammen tonen de kans dat elke parameter een bepaalde waarde heeft.
- De centrale, ononderbroken lijn toont de mediaan van elke parameter.
- De stippellijnen links en rechts daarvan geven respectievelijk de onder- en bovengrens aan.
- Dit worden de 1-sigma onzekerheden genoemd. Dat betekent dat we er statistisch gezien 68% zeker van kunnen zijn dat de werkelijke waarde daarbinnen ligt.
- Dit betekent dat het mogelijk is dat de werkelijke waarde van een parameter buiten deze grenzen ligt; het zijn slechts statistische onzekerheden, geen definitieve grenzen.

↑ Histogram van de statistische waarschijnlijkheid van alle parameterwaarden van TOI-560c

Naam	Mediaanwaarde	Lagere fout	Bovenste fout	Case note
Straal van de planeet (in eenheden van aardstralen)	2,395	0,068	0,062	Cheops observaties
Straal van de ster (in eenheden van Zonnestrallen)	0,653	0,018	0,016	Cheops observaties
Tussentijdse doorlooptijd (in eenheden van dagen)	0,4416	0,0058	0,0050	Cheops observaties
Omlooptijd (in eenheden van dagen)	18,8797			Andere opmerkingen uit het archief

↑ Tabel met de best passende modelparameters.