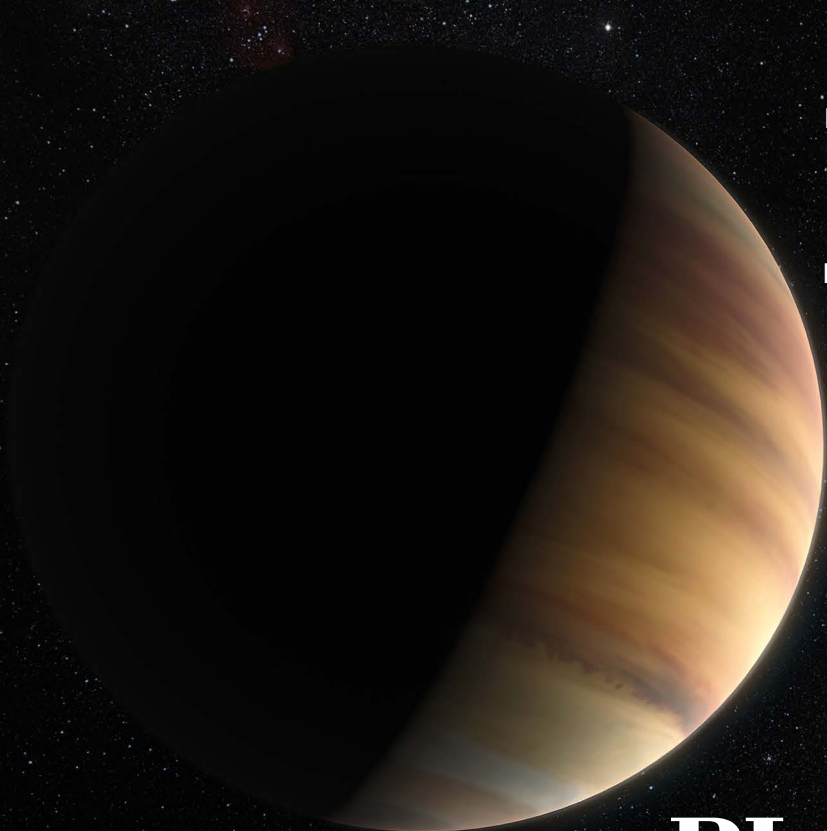




Når en planet er tilstrækkelig tæt på sin stjerne, kan dens atmosfære fordampe væk. Det har man teoretisk vist længe, men det er for nylig også bekræftet af observationer. Fænomenet kan have betydning for vores beregninger af, hvor mange klippeplaneter som Jorden, der findes i universet.

PLANETER FORDAMPER I STJERNENS SKÆR



Forfatteren

Mia Sloth Lundkvist er postdoc ved Landessternwarte, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg og Stellar Astrophysics Centre, Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet. Hun forsker i blandt andet stjernesvingninger, og hvordan man kan udnytte dem til at lære mere om exoplaneter. lundkvist@phys.au.dk

Det er kun lidt over 20 år siden, at den første exoplanet i kredsløb om en sol-lignende stjerne blev opdaget. Det var planeten 51 Pegasi b, som er en såkaldt hot-Jupiter, det vil sige en stor gasplanet, der minder om vores eget solsystemes Jupiter, men som kredser meget tæt på sin værtsstjerne. I dag kender man til omkring 3.500 bekræftede exoplaneter foruden et par tusinde, der endnu er ubekræftede. De mange nyopdagede planeter skyldes i særdeleshed NASAs *Kepler*-mission, som står bag opdagelsen af over halvdelen af alle de bekræftede planeter.

Med så mange kendte planeter kan vi få ny viden, som kan hjælpe

os med at besvare nogle af vores mange spørgsmål om planeter og planetsystemer. Et eksempel på et forskningsområde, som er i en rivende udvikling lige netop nu, er undersøgelsen af fordampning af exoplaneters atmosfærer forårsaget af intenst lys fra værtsstjerne. Det seneste par år har det vist sig, at man ikke alene kan se effekten af fordampning direkte i den flok af exoplaneter, som vi observerer, men at det måske også har betydning for vores vurdering af, hvor almindelige klippeplaneter som Jorden er.

Planeter er almindelige

At planeter er almindelige i vores galakse kommer her godt og vel to årtier efter opdagelsen af 51 Pegasi b nok ikke som en overraskelse for

ret mange. Men hvor almindelige? Man har ved at studere de små M-stjerner, som er den mest almindelige type af stjerner i vores galakse, fundet ud af, at der ofte kredser indtil flere planeter omkring disse stjerner. Til dels derfor har man kunnet konkludere, at der er flere planeter end stjerner i Mælkevejen.

Selvom *Kepler* har fundet mange planeter og mange multiplanet-systemer, kender man ikke til ret mange systemer med flere end fem detekterede planeter. Dermed kan det umiddelbart se ud som om, at vores solsystem med hele otte planeter og en dværgplanet hører til sjældenhederne. Men det kan dog skyldes, at det er svært at detektere små planeter. Hvad der adskiller



solsystemet mest fra andre fundne planetsystemer er manglen på planeter, som har en størrelse mellem Jordens og Neptuns (Neptuns radius er knap fire gange Jordens). Disse super-Jorde og sub-Neptuner findes i stort antal i galaksen, men ikke i vores solsystem. Inden man opdagede deres eksistens, troede man, at planeterne i vores solsystem var gode repræsentanter for, hvad man kunne finde i kredsløb om andre stjerner. Men der tog vi altså fejl.

Mange spændende opdagelser

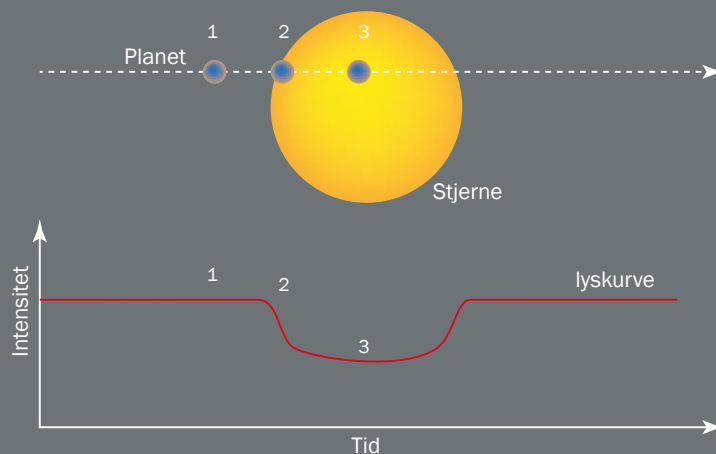
Det seneste par år har budt på mange "rekordplaneter". For eksempel fandt man i 2016 Proxima Centauri b, som kredser om vores nærmeste nabostjerne og dermed

Om 51 Pegasi b

51 Pegasi b er omkring 50 % større end Jupiter og kredser rundt om sin stjerne i et hæslæsende tempo. Den skal nemlig blot bruge fire dage for at nå et fuldt omløb om sin stjerne, hvorimod Jupiter skal bruge knap 12 år for at nå rundt om Solen. Fordi 51 Pegasi b er så tæt på sin stjerne, som minder om Solen, er temperaturen på exoplaneten meget høj – omkring 1000 grader celsius. Dermed er 51 Pegasi b et eksempel på en såkaldt hot-Jupiter planet. Man regnede ikke med, at planeter så store som Jupiter kunne findes så tæt på deres stjerne, derfor var det meget overraskende, da eksistensen af 51 Pegasi b blev kendt.

← Kunstnerisk fortolkning af planeten 51 Pegasi b med sin værtsstjerne.
ESO/M. Kornmesser/Nick Risinger (skysurvey.org), CC BY 4.0

Kepler-missionen og passagemetoden

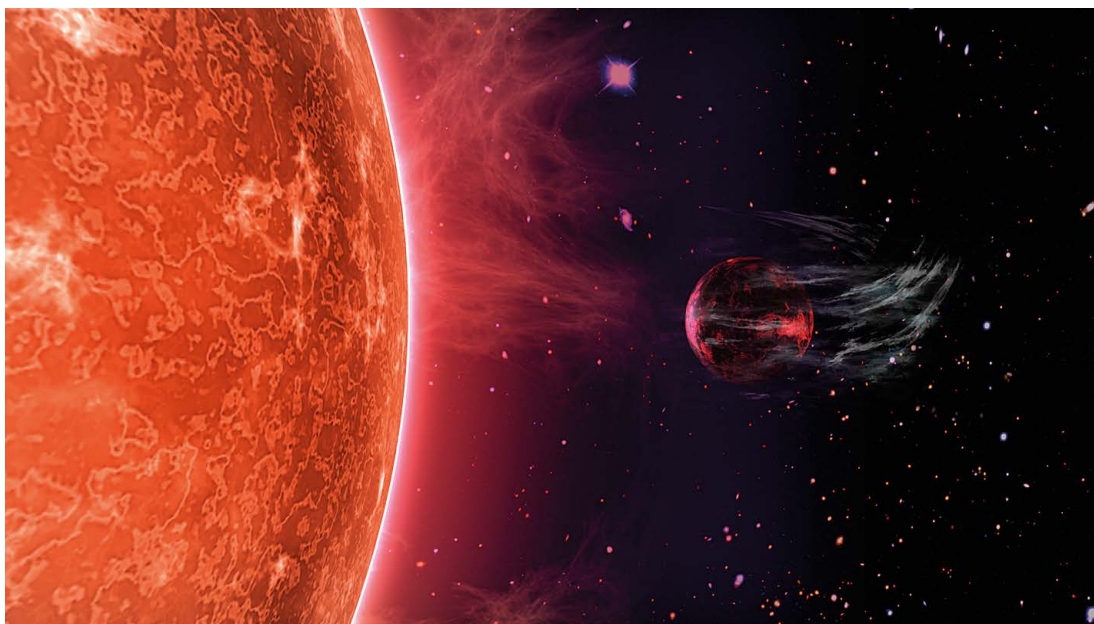


NASAs *Kepler*-mission finder planeter ved hjælp af passagemetoden (også kaldet transitmetoden). Når en planet kredser omkring sin stjerne, vil den, for en observatør placeret det rigtige sted, skygge for en smule af stjernens lys. Det resulterer i et karakteristisk dyk i mængden af lys, som kan observeres fra stjernen. Størrelsen på dykket afhænger af størrelsesforholdet mellem planeten og stjernen, idet en større planet (i forhold til stjernen) vil skygge for mere lys end en mindre planet.

Under alle omstændigheder er dykket, som skal observeres, ikke særlig nemt at se. Derfor kræver det et teleskop, som kan lave ekstremt præcise målinger og også gøre det ofte, idet en typisk passage ind foran stjernesken

ikke tager mere end et par timer. Desuden skal man observere mange stjerner for at gøre sig håb om at se det karakteristiske dyk fra planeten, idet man skal være rigtigt placeret i forhold til planet-stjerne-systemet for at kunne se passagen.

Kepler er et sådant teleskop. For at illustrere, hvor præcist der skal måles, kan man se på, hvor stort et dyk i Solens lys, som Jorden forårsager. Det viser sig at være omkring 0,008%. Til sammenligning kan man forestille sig et højhus med 100 lige store vinduer, som hver er en meter i højden og har lys strålende ud gennem sig. Her svarer et dyk i lysmængden på 0,008% til, at et mørklægningsgardin i et af vinduerne bliver trukket otte millimeter ned.



En kunstners fortolkning af, hvordan det kunne se ud, når en super-Jord mister sin atmosfære på grund af dens værtsstjernes stråling. Illustration: Peter Devine.

er den exoplanet, der ligger tættest på os. Og i 2017 har man publiceret fundet af den hidtil varmeste planet observeret med den såkaldte passagemetode. Temperaturen på denne unikke planet, kaldet KELT-9b, er over 4.300 grader celsius på dagsiden, hvilket er 1.000 grader over temperaturen på den næstvarmeste planet. Det er fascinerende at tænke på, at KELT-9b modtager en stråling fra sin stjerne, som er cirka 45.000 gange højere end den stråling, som vi modtager fra Solen. Til sammenligning kan man beregne, at hvis KELT-9b skulle modtage sin stråling fra Solen, skulle den næsten kredse rundt på Solens overflade.

Exoplaneten KELT-9b er ikke kun interessant, fordi den er varm. Den er også spændende, fordi den modtager en meget kraftig UV-stråling fra sin stjerne. Denne UV-stråling menes at være kraftig nok til at kunne fordampe en stor del af planetens atmosfære i løbet af den del af stjernens levetid, hvor den fusionerer hydrogen til helium (kaldet hovedserien). Men estimatet er usikkert, idet fordampning er en kompleks proces, som ikke er fuldstændig forstået.

Når man snakker om nyligt opdage-

de exoplaneter og planetsystemer, må man også nævne planetsystemet omkring den lille M-stjerne TRAPPIST-1. Dette system er det første, man har fundet med hele syv planeter, der har en størrelse, som minder om Jordens. Systemet er meget kompakt, idet alle planeterne kredser rundt om stjernen i en bane, der er tættere på stjernen, end Merkur er på Solen. Alligevel ligger tre af planeterne i den beboelige zone (den afstand fra stjernen, hvor man forventer at kunne finde flydende vand på overfladen af en planet), idet stjernens lysstyrke er meget mindre end Solens. Dog skal man huske, at planeterne ikke nødvendigvis er særligt beboelige, selvom de ligger i den beboelige zone. For eksempel er de så tæt på deres stjerne, at UV-stråling ifølge modelberegninger kan have blæst deres atmosfærer væk.

Når atmosfæren fordamper

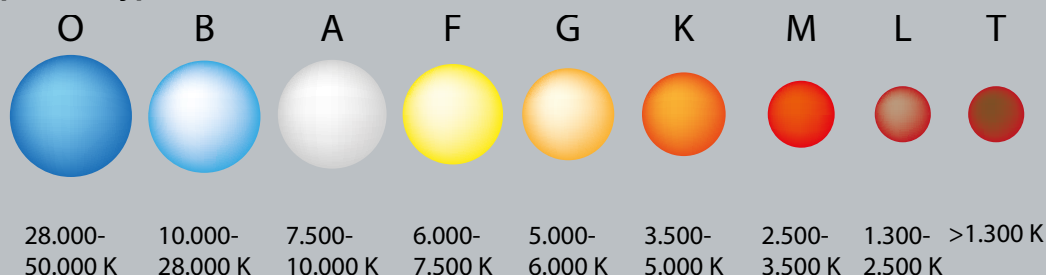
Ved at studere de mange kendte exoplaneter kan vi lære noget om, hvilke typer af planeter der findes, og hvilke som vi mangler at se og som måske slet ikke findes. Næste skridt er at prøve at forstå, hvorfor populationen af exoplaneter ser ud, som den gør. Det er ikke nogen nem opgave, for der er mange forskellige processer, som kan have

betydning for, hvordan planeter og planetsystemer dannes og udvikler sig.

En af disse processer er fordampning. Hermed menes der, at den flygtige atmosfære (bestående af primært hydrogen og helium), som nogle planeter har, "koger væk" på grund af kraftigt lys fra værtsstjernen og efterlader de nøgne planetkerner tilbage. At man skulle kunne observere resultaterne af en sådan proces har været forudsagt af simuleringer i nogle år, men den endelige bekræftelse med observationer kom først sidste år ved hjælp af data fra *Kepler*.

Ved at kombinere viden om exoplaneters værtsstjerner fra astroseismologi med information om exoplaneternes periode og relative radius (fra passagemetoden) har vi karakteriseret planeterne meget mere præcist, end det før har været muligt. Vi beregnede den mængde af stråling, som planeterne modtager fra deres stjerne samt deres størrelse og opdagede derved, at der er et tomt område i fordelingen af planeter, når man plotter de to parametre mod hinanden. Et hul, som man ikke kan forklare ved tilfældigheder eller observationelle bias, men som derimod passer

Spektraltyper

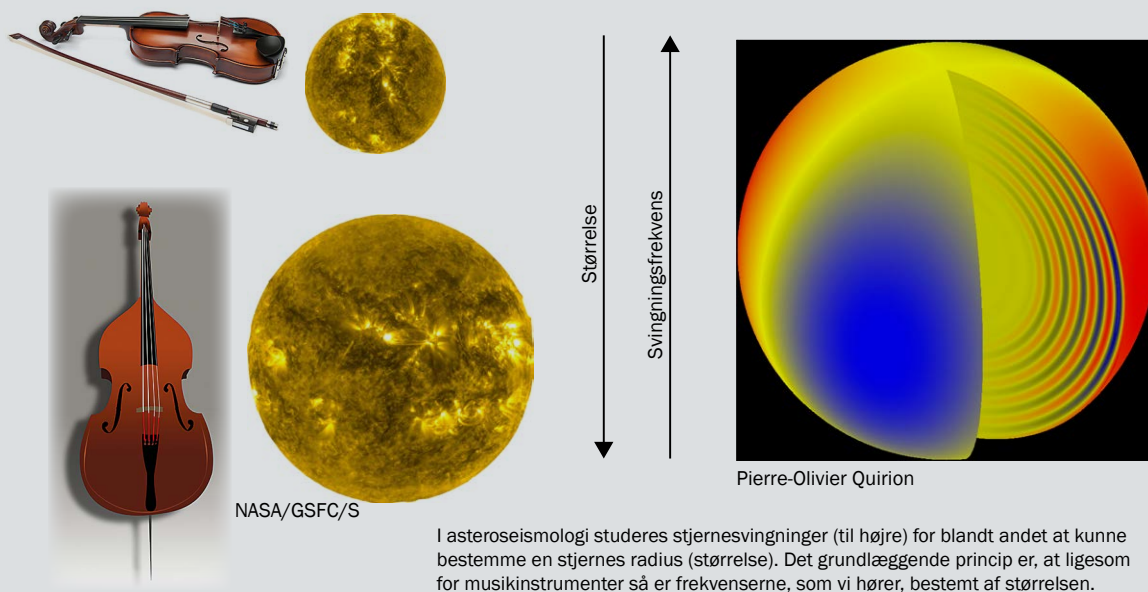


Stjerner inddeles i spektraltyper afhængig af deres temperatur. Typerne spænder fra O for de varmeste stjerner over B, A, F, G og K til M for de mindste og koldeste stjerner samt L og T for brune dværge. Vores Sol tilhører spektraltype G. En ofte brugt huskesætning til spektraltyperne er: Oh, Be A Fine Girl/Guy Kiss Me (Like This). På figuren er angivet de omtrentlige temperaturintervaller for de forskellige spektraltyper.

Asteroseismologi

En stjerne er en enorm kugle af gas, der bringer sig selv i svingninger ligesom en klokke. Asteroseismologi er studiet af disse stjernesvingninger, hvor man udnytter de stående lydbølger i stjernens indre til at få viden om for eksempel dens radius. Hvordan dette kan lade sig gøre, kan man få en idé om ved at tænke på to musikinstrumenter; en violin og en bas. De to instrumenter er stort set ens bortset fra størrelsen, men mens violinen spiller

lyse toner, spiller bassen dybe. Det skyldes netop størrelsesforskellen på deres resonante hulrum, og noget helt tilsvarende gør sig gældende for stjerner. Små stjerner vil være kendetegnet ved højere frekvenser end større stjerner, og dermed kan man ved at observere en stjernes svingningsfrekvenser finde ud af, hvor stor den er. Svingningerne kan måles med *Kepler*, idet de forårsager små ændringer i stjernens lysstyrke, som *Kepler* kan måle.



som fod i hose med simuleringer af effekten af fordampning.

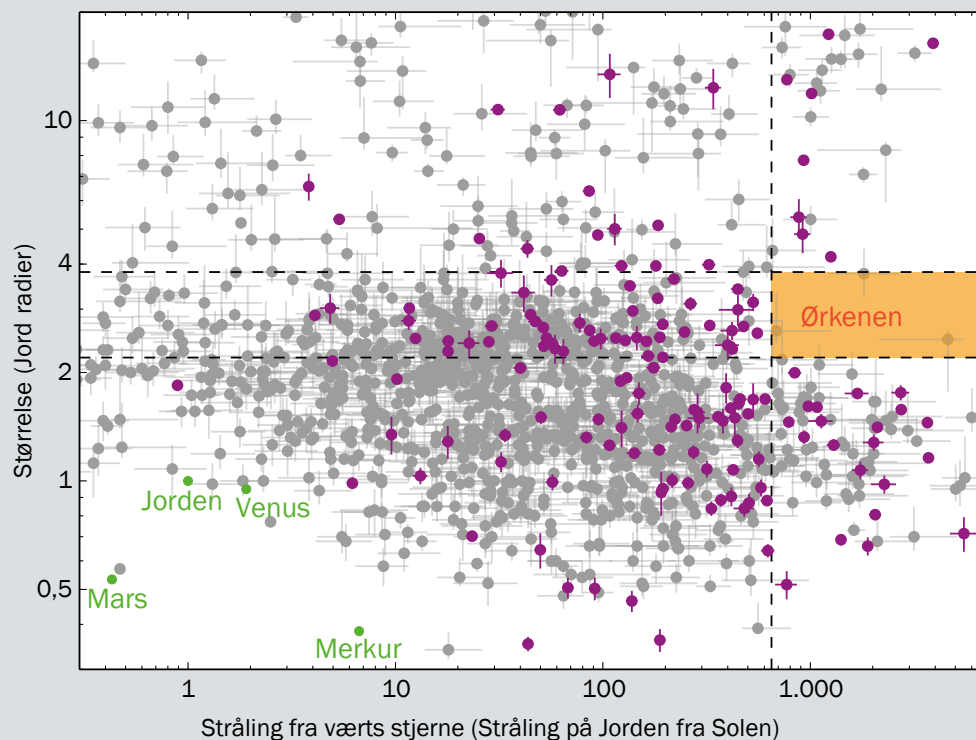
Vigtig for forståelsen af planetsystemer

Dette hul, eller "ørken", i planetpopulationen findes for planeter med en radius på mellem 2,2 og 3,8 gange Jordens. Det vil sige planeter af typen super-Jord eller sub-Nep-

tun bestående af en klippekerne omkranset af en atmosfære af flygtige gasser. Ørkenen af planeter opstår, når planeterne er så tæt på deres værtsstjerne, at strålingen er intens nok til at fordampe deres atmosfære. Den manglende atmosfære betyder nemlig, at disse planeters radius bliver mindre end de "burde være". Der er en grænse for,

hvor tæt stjernen og planeten skal være på hinanden for, at atmosfæren kan "koges væk" af stjernens lys. Vi har bestemt denne grænse til at være 650 gange den stråling, som Jorden modtager fra Solen. Hvis Jorden til sammenligning skulle modtage en stråling fra Solen, som var 650 gange højere, skulle Jorden kredse rundt om Solen blot

Figuren viser et såkaldt radius-flux-diagram, hvor planeters størrelse er plottet som funktion af den mængde af stråling, de modtager fra deres værtsstjerne (Kepler-data). De fremhævede planeter (lilla) har meget høj præcision, da deres værtsstjerner udviser stjernesvingninger, som forskere har kunnet bruge til at karakterisere stjernerne og dermed planeterne ekstremt præcist. Til sammenligning ses Solsystemets klippeplaneter (grønne) i nederste venstre del af diagrammet. Det tomme område (markeret "Ørkenen") er skabt af fordampning af planetatmosfærer.



Mere om emnet
Uffe Gråe Jørgensen, 10 milliarder planeter som Jorden – hvor er beboerne? Aktuell Naturvidenskab, 6-2012.

KELT-9b: videnskab.dk/naturvidenskab/hot-hot-hot-hidtil-varmeste-planet-opdaget

TRAPPIST-1: videnskab.dk/naturvidenskab/trappist-1-jordlignende-planeter-kan-maaske-have-vand

TESS-missionen: tess.gsfc.nasa.gov/

JWST: www.jwst.nasa.gov

SAC (Stellar Astrophysics Centre) har en youtube-kanal med korte videoer om blandt andet Kepler-missionen, passagemetoden og Proxima Centauri b: www.youtube.com/channel/UCOhB-haKzmYG4ApUCF-O1M06w/videos

7,5 sol-radier fra dens overflade (den faktiske afstand er over 200 sol-radier).

Bekræftelsen af, at fordampning er med til at forme den gruppe af exoplaneter, som vi observerer, er et vigtigt resultat. Det er blandt andet vigtigt for forståelsen af, hvordan planetsystemer udvikler sig. Og det er ikke noget, man har kunnet lære fra vores eget solsystem, idet Solsystemet ikke rummer den rigtige type af planeter. Planeterne Neptun og Uranus har den rigtige størrelse, men de kredser langt fra Solen, hvor fordampning ikke kan fjerne atmosfæren.

Fordampning og eta-Jord

Et af de primære mål med *Kepler*-missionen er at bestemme hyppigheden af potentielt beboelige klippeplaneter i Jord-størrelse; en værdi man ofte kalder for eta-Jord. Siden *Kepler* blev opsendt i 2009, har mange forskere kommet med deres bud på, hvad eta-Jord er. Men det er langt fra ligetil. Der er mange faktorer, som har betydning for værdien, deriblandt hvor mange

af de planeter, der gemmer sig i *Keplers* data, man rent faktisk kan opdage. Derudover har man ikke fundet særlig mange jordstørrelsesplaneter i den beboelige zone, og til dels derfor baserer man ofte sit estimat af eta-Jord på planeter, som for eksempel er lidt større og/eller lidt tættere på deres værtsstjerne. Det fungerer, hvis disse planeter har samme oprindelse, som de planeter, man er interesseret i. Men det kan give en forkert værdi for eta-Jord, hvis de har en anden oprindelse. Den "anden oprindelse" kunne være, hvis de ikke blev dannet som klippeplaneter, men derimod er planetkerner tilovers fra fordampning.

Helt ny forskning tyder på, at mange af disse varme super-Jorde – ligesom deres endnu varmere slægtninge – er planetkerner, som er ladet tilbage efter atmosfæren er fordampet væk. Derfor konkluderer forskere, at man skal passe på med at bruge de varme super-Jorde til at vurdere, hvor mange planeter som Jorden, der eksisterer. Det skyldes, at man let kan komme

til at overestimere hyppigheden ved at tage nogle planeter med, som er rester af fordampede gasplaneter snarere end klippeplaneter som Jorden.

I den nære fremtid kan vi glæde os til opsendelsen af endnu flere rummissioner, som helt sikkert vil give os en masse ny og spændende viden om exoplaneter. Eksempler på disse er TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), som skal gennemsege det meste af himlen efter exoplaneter omkring vores nærmeste naboer og JWST (James Webb Space Telescope), som blandt andet vil være i stand til at studere exoplanetatmosfærer ved hjælp af spektroskopi.

Med data fra disse rumteleskoper vil vi kunne komplementere og udvide den population af exoplaneter, som vi allerede kender, og på den måde lære endnu mere om for eksempel de processer, der er med til at forme planetsystemer.

Så der er noget at se frem til i de kommende år.