

Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

- 17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*
- 24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*
- 31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)*
- 07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)*
- 14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)*
- 21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)*
- 28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)*
- 05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)*
- 12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)*
- 19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)*
- 26.12 und 02.01 –*
- 09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)*
- 16.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)**
- 23.01 Die Milchstrasse (H.B.)*
- 30.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)*
- 08.02 Klausur, 15:00-17:00, Philosophenweg 12**

Themen heute

Vorbemerkungen

Habitable Zone & unser Sonnensystem als Prototyp

Nachweise extrasolarer Planetensysteme

Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

Kontaktmöglichkeiten: Die Drake-Gleichung

Leben im Universum

- Was verstehen wir unter Leben
 - ◆ Jede Form?
 - Mikroben, Bakterien ...
 - ◆ *Intelligentes* Leben?
 - Was ist 'Intelligenz'? Sind Tiere, Pflanzen intelligent?
 - ◆ fremde Zivilisationen
- Wenn wir ihm begegnen, würden wir es auch als solches erkennen?
- Ausgangspunkt: Bekanntes Leben
 - ◆ basiert auf Kohlenstoff
 - ◆ benötigt Wasser im flüssigen Zustand

} **Wesentliche Einschränkungen !**

(Heutige Folien basieren zum Teil auf Vorlesung von Matthias Steinmetz, AIP)

Leben im Sonnensystem

- Bisher kein direkter Nachweis außer Erde
- Mars:
 - ◆ Permafrost an den Polen
 - Auf der Erde erhält Permafrost (mikrobisches) Leben
 - ◆ Hatte wahrscheinlich flüssiges Wasser in der Vergangenheit
 - muss daher eine substantielle Atmosphäre gehabt haben
 - war wärmer
 - *Wasser + Atmosphäre + Wärme = Leben ???*
 - ◆ Möglicher Nachweis: der Mars-Meteorit
- Jupitermond Europa
 - ◆ Gesamte Oberfläche aus Wassereis, möglicherweise mit flüssigen Ozeanen darunter
- Saturnmond Titan
 - ◆ Sehr kalt, aber mit dichter Atmosphäre (1.5 bar)
 - Vorwiegend Stickstoff
 - Komplexe Chemie

Leben an anderen Orten

- Wo beginnt man die Suche?
- Habitable Zonen (HZ)
 - ◆ terrestrischer Planet
 - ◆ flüssiges Wasser \Rightarrow Einschränkung an die Temperatur und somit Position des Planeten
 - zu nah \Rightarrow zu heiß \Rightarrow Wasser verdampft
 - zu weit \Rightarrow zu kalt \Rightarrow Wasser gefriert
 - für Sonnensystem: HZ entspricht einem Ring in etwa zwischen Venus- und Marsbahn
 - ◆ für andere Sterne
 - $M < M_{\odot}$: HZ liegt weiter innen
 - $M > M_{\odot}$: HZ liegt weiter außen
 - ◆ Sternentwicklung
 - Zentralgestirn wird leuchtkräftiger \Rightarrow HZ wandert nach außen

Themen heute

Vorbemerkungen

Habitable Zone & unser Sonnensystem als Prototyp

Nachweise extrasolarer Planetensysteme

Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

Kontaktmöglichkeiten: Die Drake-Gleichung

Habitable Zone

Einfache Abschaetzung fuer T von fluessigem Wasser:

$$T = \sqrt[4]{\frac{(1 - A)L_{\text{sun}}}{16\pi\sigma d^2}}$$

T: Temperatur Planet

σ : Stefan-Boltzmann-Konstante

L_{sun} : Leuchtkraft des Sterns

d: Abstand Stern-Planet

A: Albedo/Reflektivitaet

Ozeane: 7-9%

Wald: 12%

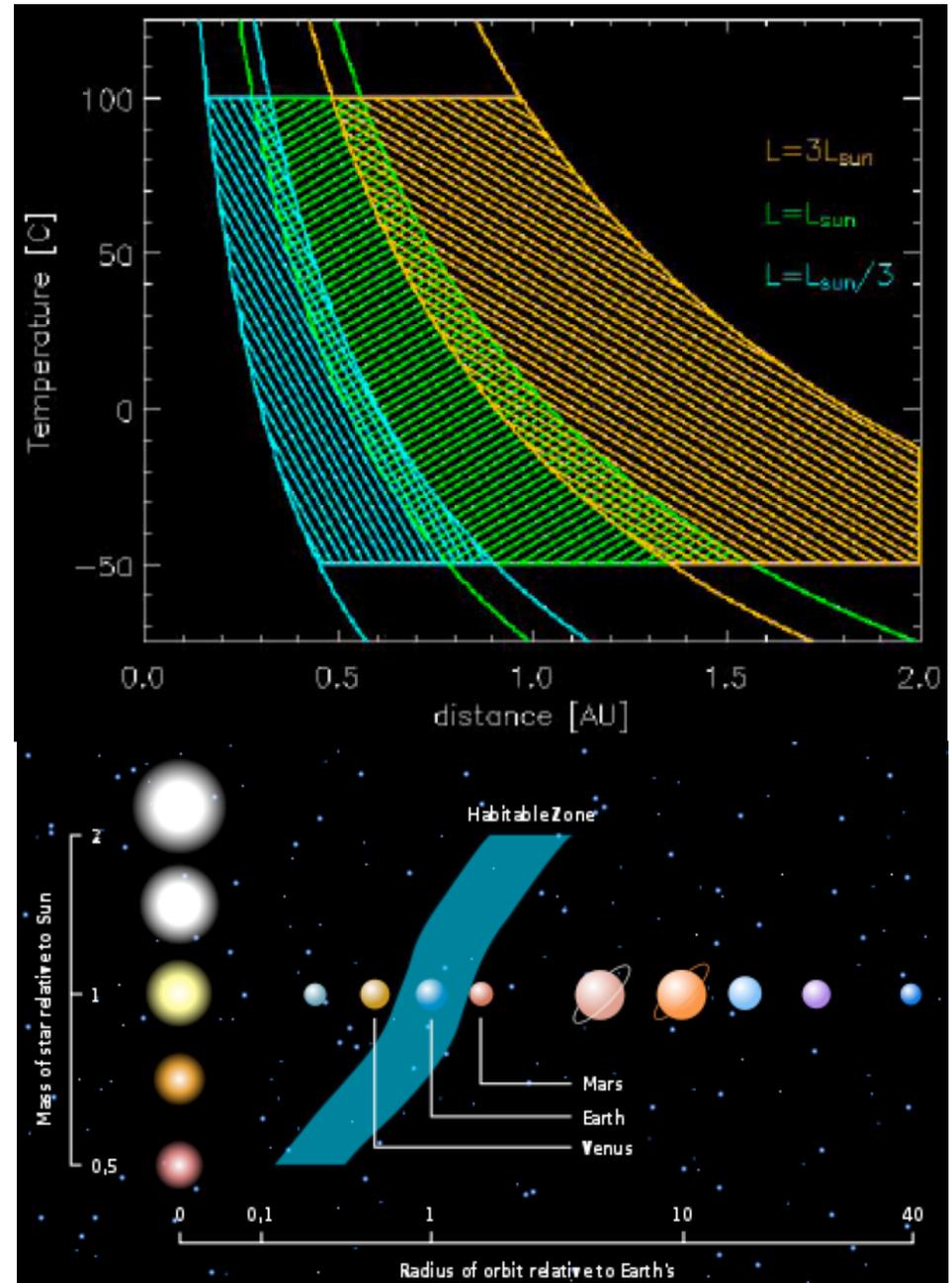
Sand: 30%

Schnee: 60%

Wolken: 30-90%

Mittelwert: 30%

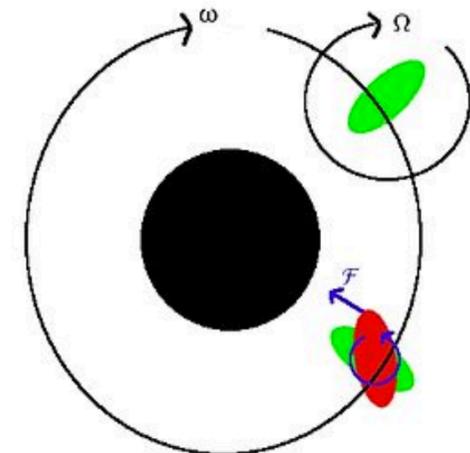
In Realitaet komplizierter da auch Atmosphaere mit beruecksichtigt werden muss.



Habitable Zonen

- Leuchtkräftige Sterne haben größere HZ, jedoch
 - ◆ Lebenszeit der Sterne nimmt massiv ab
 - ◆ Entwicklung von Leben braucht viel Zeit
 - Es brauchte 3 Milliarden Jahre, um die ersten Mehrzeller zu bilden
 - schließt Sterne oberhalb von ca. $1.6 M_{\odot}$ praktisch aus
 - Planeten um leuchtschwache Sterne haben mehr Zeit sich zu entwickeln
 - ◆ HZ zu nahe am Stern → tidal locking
 - ◆ Rotation des Planeten synchronisiert (siehe z.B. Merkur)
 - heiße Tagseite
 - kalte Nachtseite
 - Extrem langer Tag-Nacht-Zyklus
 - ◆ Abhilfe: sehr dichte Atmosphäre
- ⇒ Beste Kandidaten: Sterne mit ca. $1 M_{\odot}$

mit Umlaufzeit



Wie (un)typisch ist die Erde?

- Bedingungen für Leben auf der Erde
 - ◆ Stern mit ca. $1M_{\odot}$
 - ◆ Kein Binär- oder Mehrfachsystem (instabile Orbits)
 - ◆ terrestrischer Planet mit Atmosphäre in der habitablen Zone
 - ◆ hinreichend massereich, um Plattentektonik aufrecht zu erhalten (CO_2 -Zyklus)
 - ◆ jupiterähnlicher Planet in äußerer Bahn (Abwehr von Meteoriten)
 - ◆ massereicher Mond (fixiert die Erdachse und somit langfristig stabile Jahreszeiten)
- Jedoch
 - ◆ Je erdähnlicher wir den Planeten fordern, desto seltener wird er natürlich
 - ◆ Natur ist sehr kreativ (und sicherlich kreativer als der Mensch)

Das Sonnensystem als Prototyp

- 8 Planeten auf nahezu Kreisbahnen in einer Bahnebene
- Mindestens 1 Planet beherbergt Leben
- Das Planetensystem ist ca. 4.6 Mrd Jahre alt
 - Aelteste Felsen auf Erde 4.4 Mrd Jahre
 - Aelteste Felsen auf Mond und Mars 4.5 Mrd Jahre
 - Meteoriten 4.6 Mrd Jahre
 - Standardmodell der Sonne \sim 4.5 Mrd Jahre
- Die inneren Planeten sind aus Stein, die äusseren primär aus Gas
- Temperatur wichtig: innere Planeten heiss, äussere kalt

Themen heute

Vorbemerkungen

Habitable Zone & unser Sonnensystem als Prototyp

Nachweise extrasolarer Planetensysteme

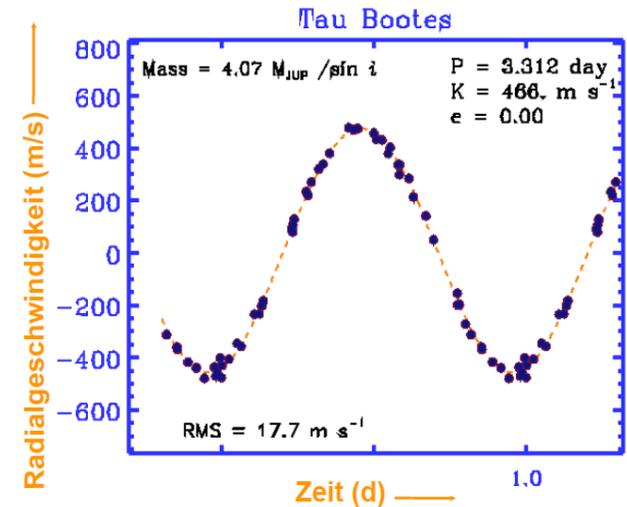
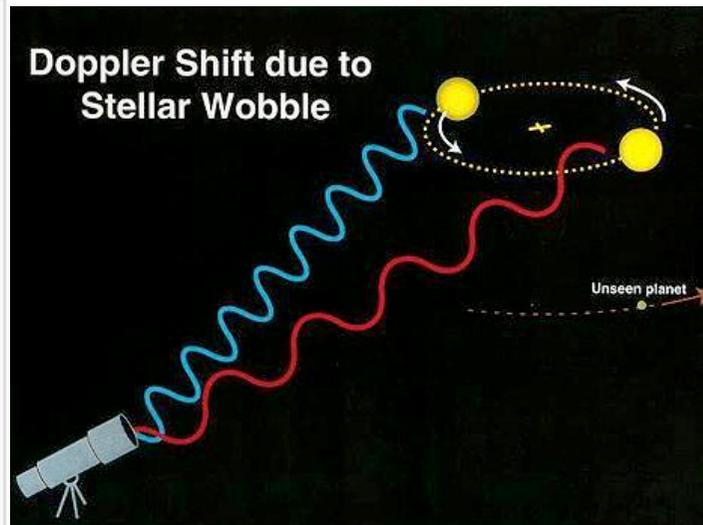
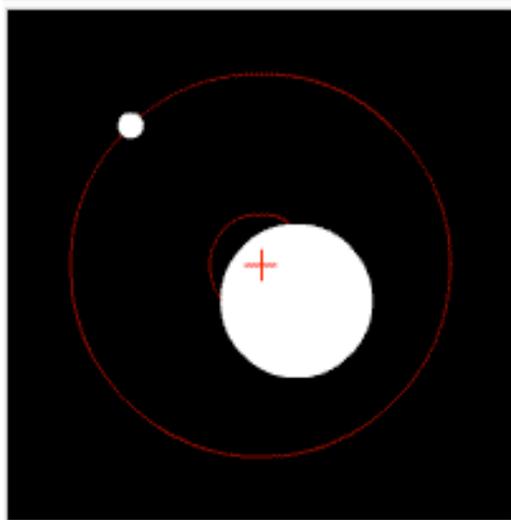
Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

Kontaktmöglichkeiten: Die Drake-Gleichung

Detektionstechniken

- Pulsarplaneten
 - erste extrasolare Planeten detektiert 1992
- Radialgeschwindigkeitsmethode
 - bisher effizienteste Methode mit meisten Nachweisen
- Direktes Abbilden/Imaging
 - technisch schwierig aber mittlerweile moeglich
- Astrometrie
 - Positionsveraenderung des Zentralgestirns
- Bedeckungen/Transits
 - Abschwaechung des Sternlichts beim Vorruebergang eines Planeten - Vergleiche auch Venustransit
- Microlensing

Radialgeschwindigkeitsmethode



Schwerpunktsatz: $M_p a_p = M_s a_s \rightarrow M_p = M_s a_s / a_p$

Kepler 3: $a_p^3 = G (M_s + M_p) U^2 / (4\pi^2) \sim G M_s U^2 / (4\pi^2)$

Stern ungefaehr auf Kreisbahn: $v_s U = 2\pi a_s \rightarrow a_s = v_s U / (2\pi)$

$\rightarrow M_p = v_s * (M_s^2 U / (2\pi G))^{(1/3)}$ oder $M_p = v_s \sqrt{(M_s a_p / G)}$

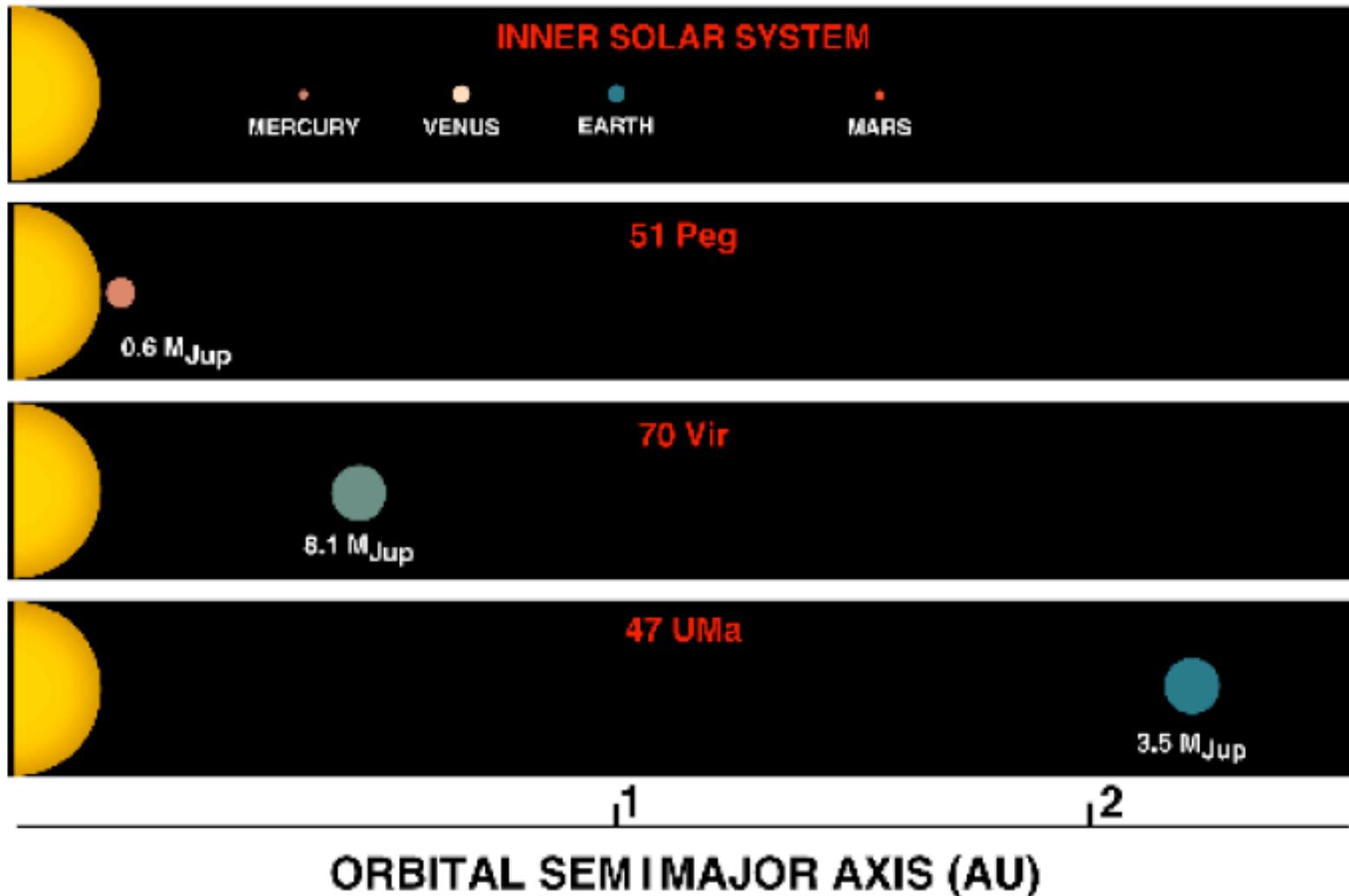
Einschraenkung:

- Ueblicherweise Inklinationswinkel \rightarrow nur unteres Limit $M_p(\sin i)$
- Oftmals keine Kreis- sondern Ellipsenbahnen \rightarrow Exzentrizitaet

(M_s, M_p, a_s, a_p : Massen und Halbachsen von Stern & Planet)
U: Umlaufzeit)

Erste Detektionen 1995/1996

PLANETS AROUND NORMAL STARS



Direkte Beobachtungen von Exoplaneten

Schwierigkeiten:

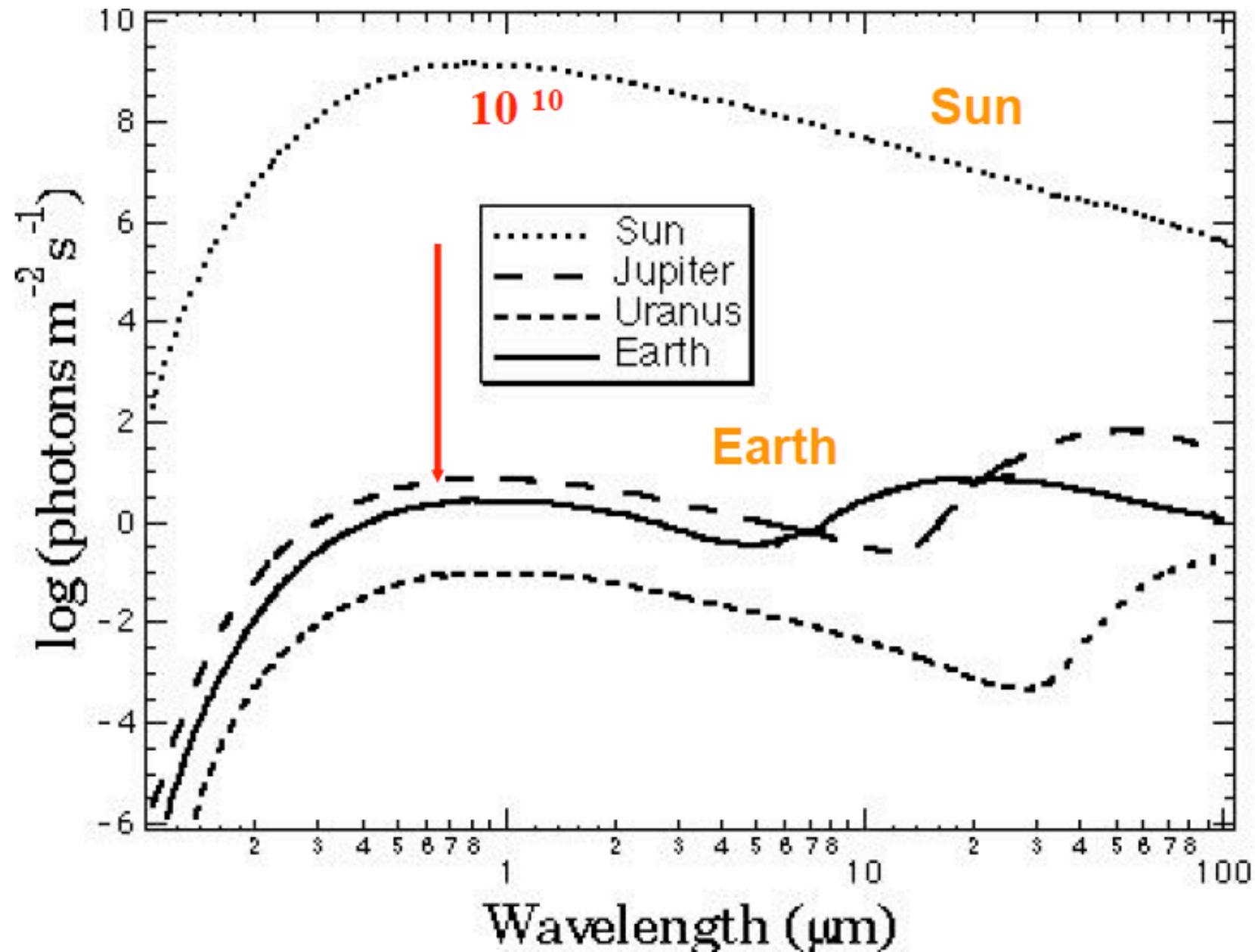
- Winkelaufloesung: Erdbahn in 10pc Abstand $\sim 0.1'$
→ schwierig aber moeglich
- Helligkeit: Erde bei 10pc schwach aber detektierbar
(Uebungsaufgabe)

Jupiter mit 5AU Abstand

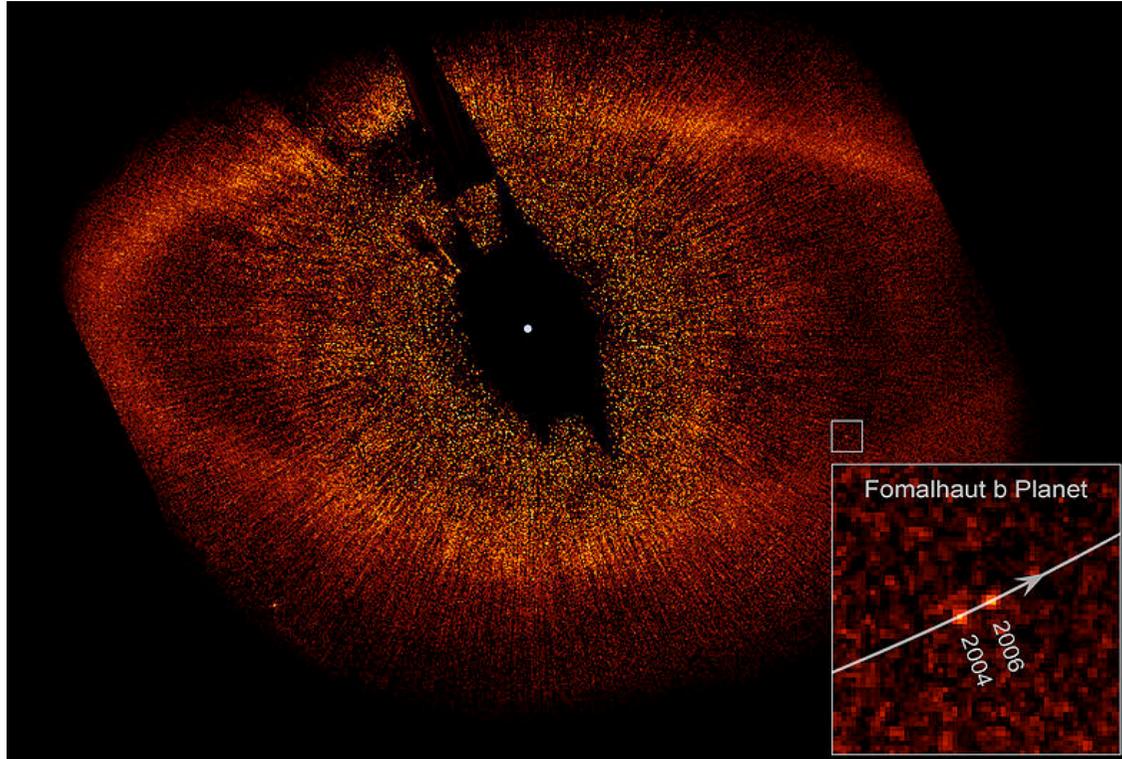
- 5 mal so weit von Stern → 25 mal schwaecher
- 10 x groesserer Radius → 100 mal staerker
- Jupiter ungefaehr 4 mal heller als Erde

Aber Planet wird von sehr viel hellerem Stern (10^8 mal)
Ueberstrahlt → Kontrastproblem

Kontrast direkter Beobachtungen

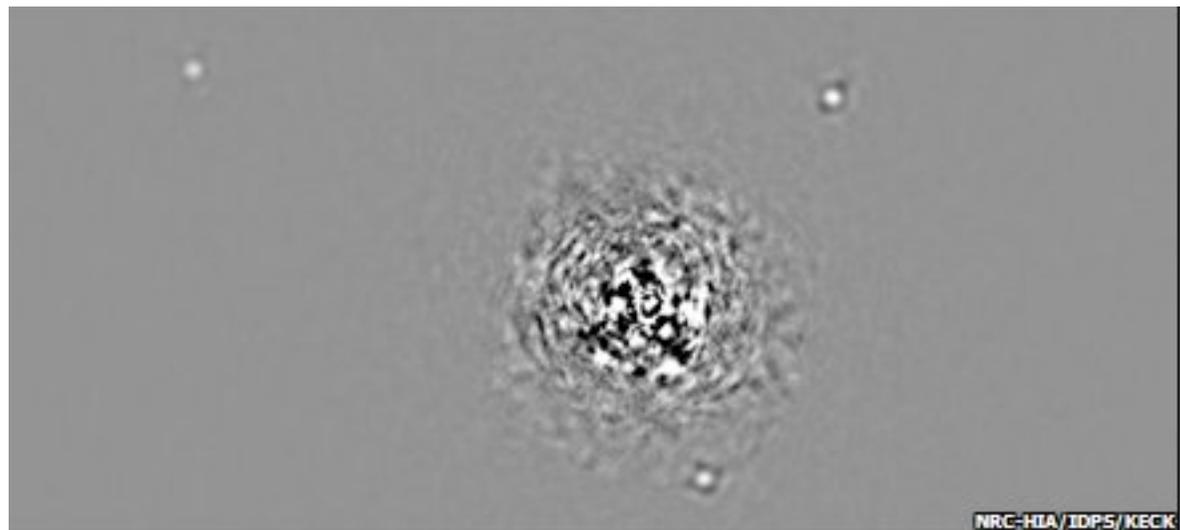


Erste direkte Detektionen in 2008

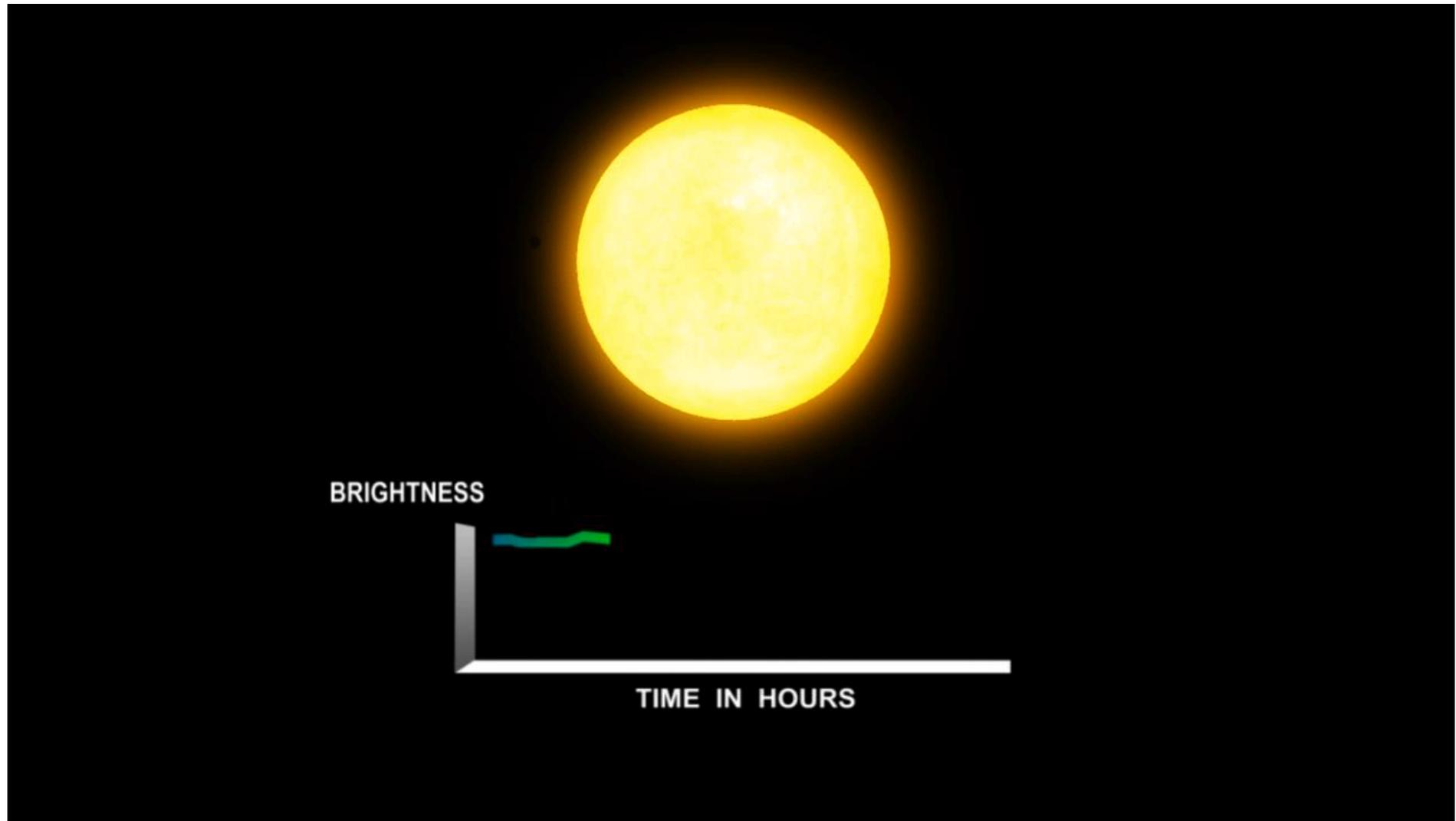


Fomalhaut b
 $3M_J @ 115AU$

3 Planeten um HR8799
 $10M_J @ 24AU$
 $10M_J @ 38AU$
 $7M_J @ 68AU$

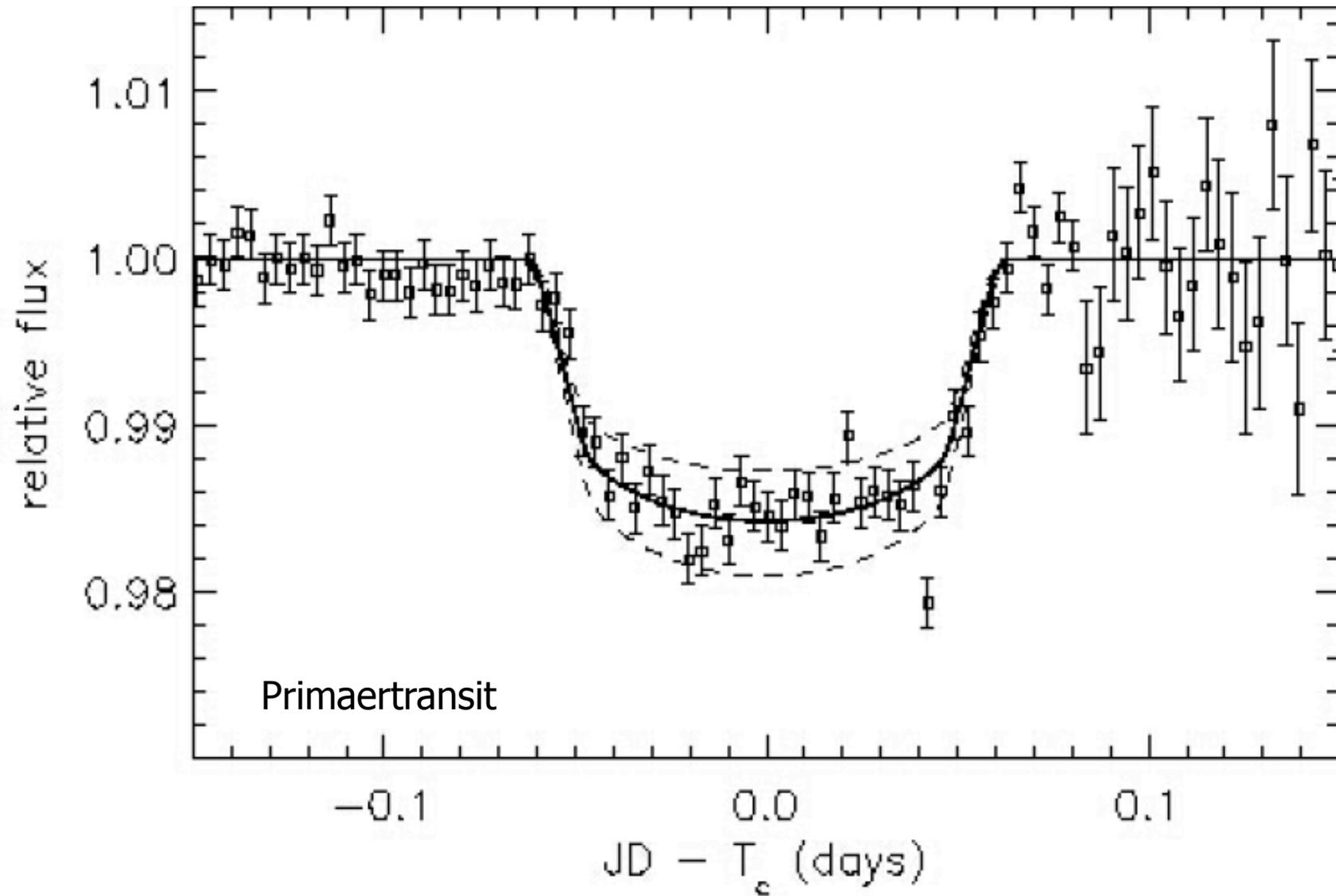


Bedeckungen/Transits

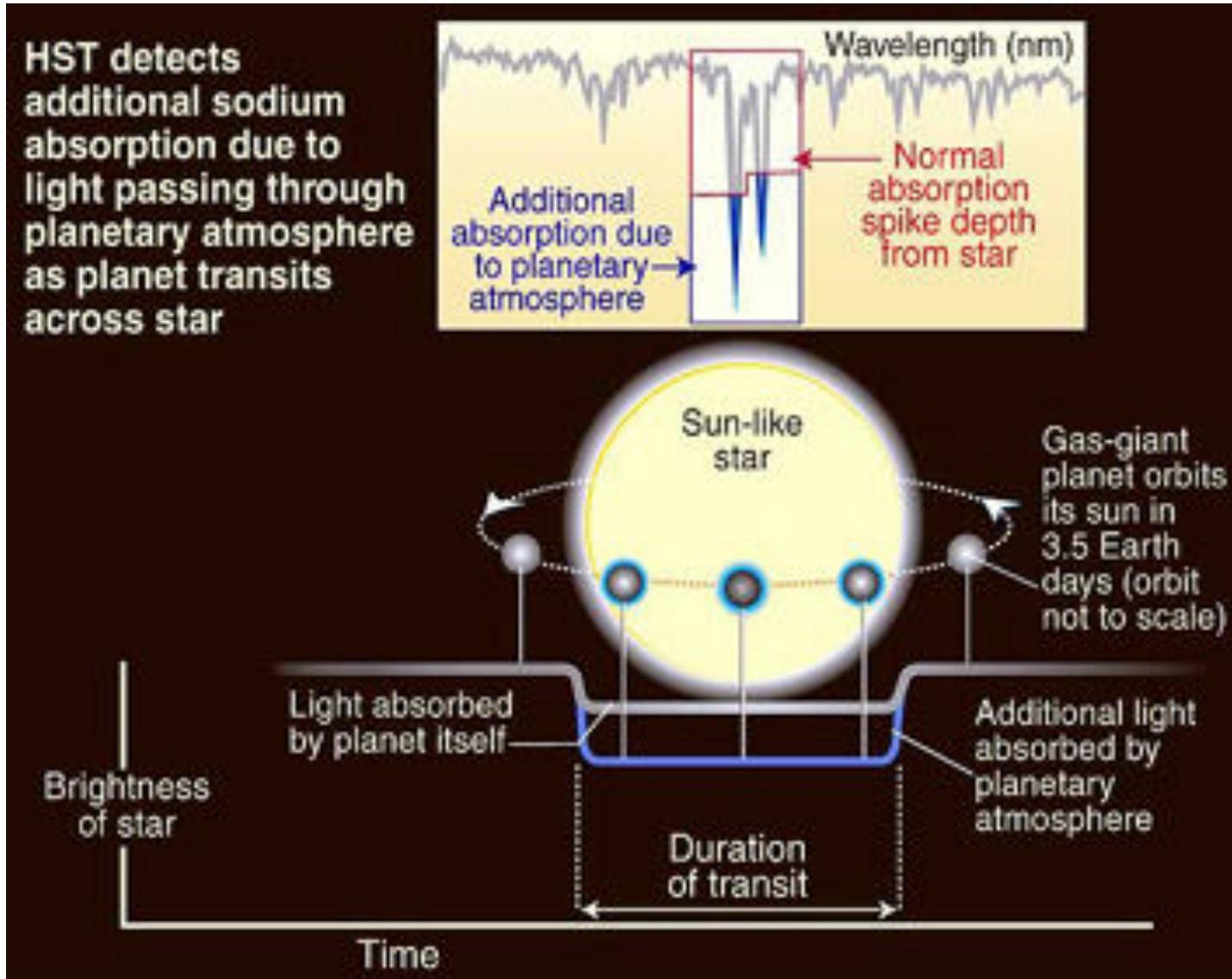


Animation from Kepler mission

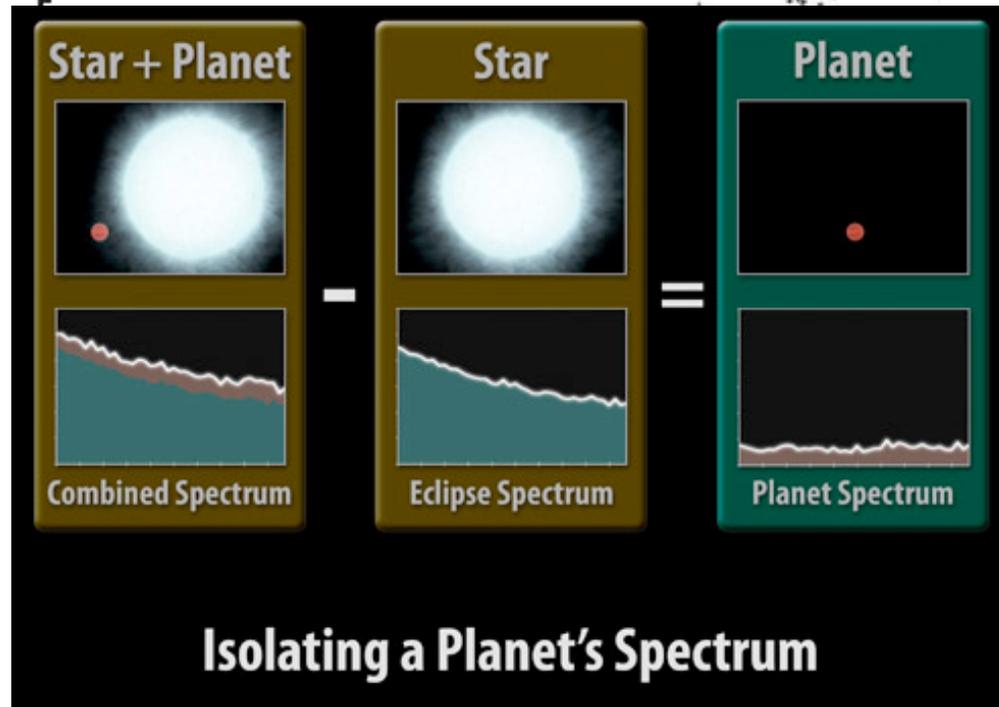
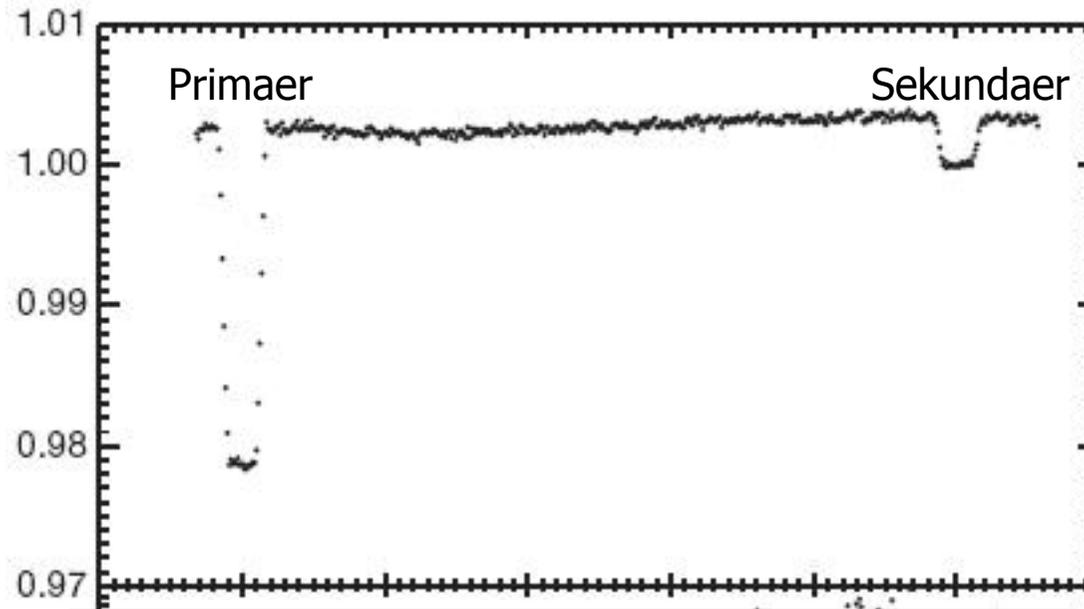
Bedeckungen/Transits II



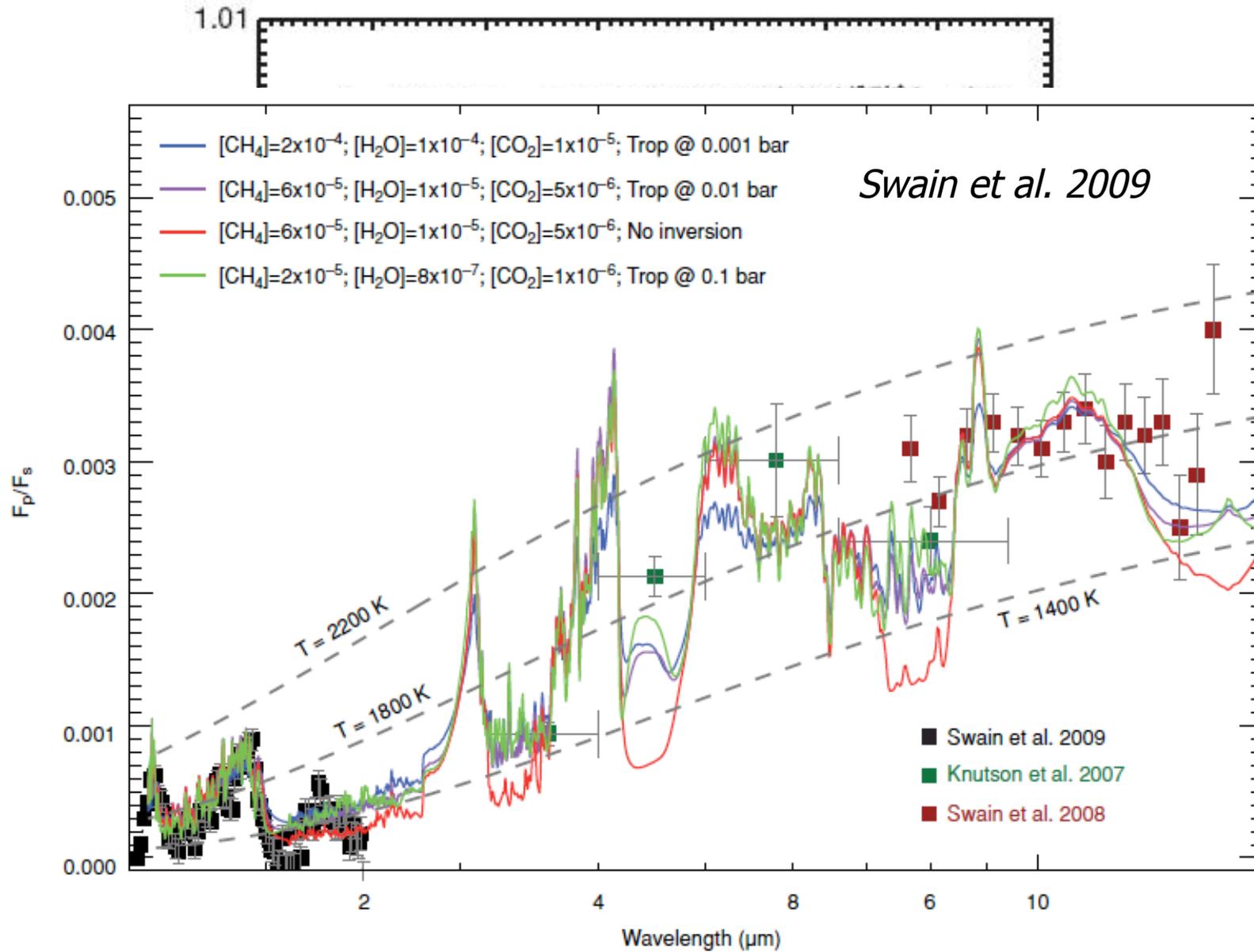
Bedeckungen/Transits III



Sekundaertransit



Sekundaertransit



Isolating a Planet's Spectrum

Themen heute

Vorbemerkungen

Habitable Zone & unser Sonnensystem als Prototyp

Nachweise extrasolarer Planetensysteme

Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

Kontaktmöglichkeiten: Die Drake-Gleichung

Eigenschaften

Detektierte Exoplaneten

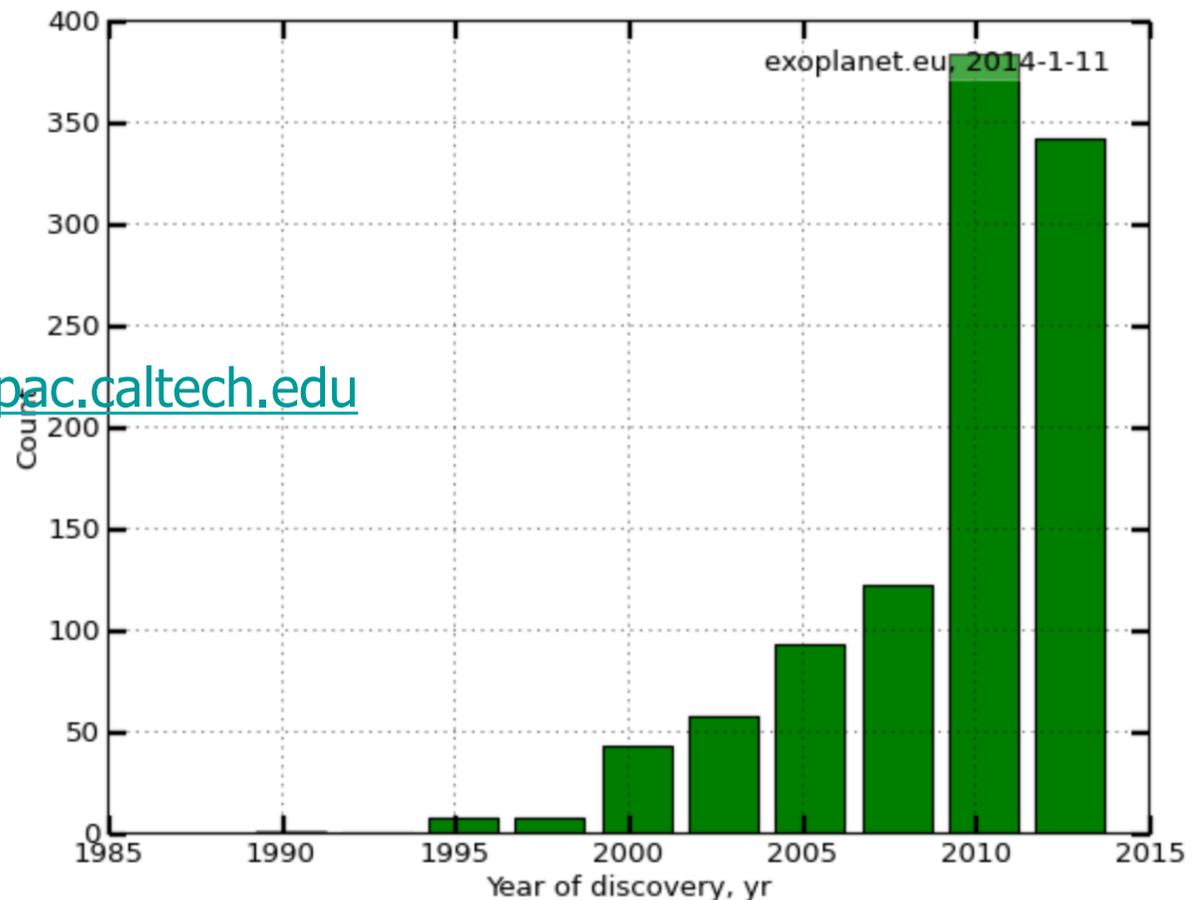
Gute Web-Adressen

www.exoplanet.eu

www.exoplanets.org

<http://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>

Exoplanet App

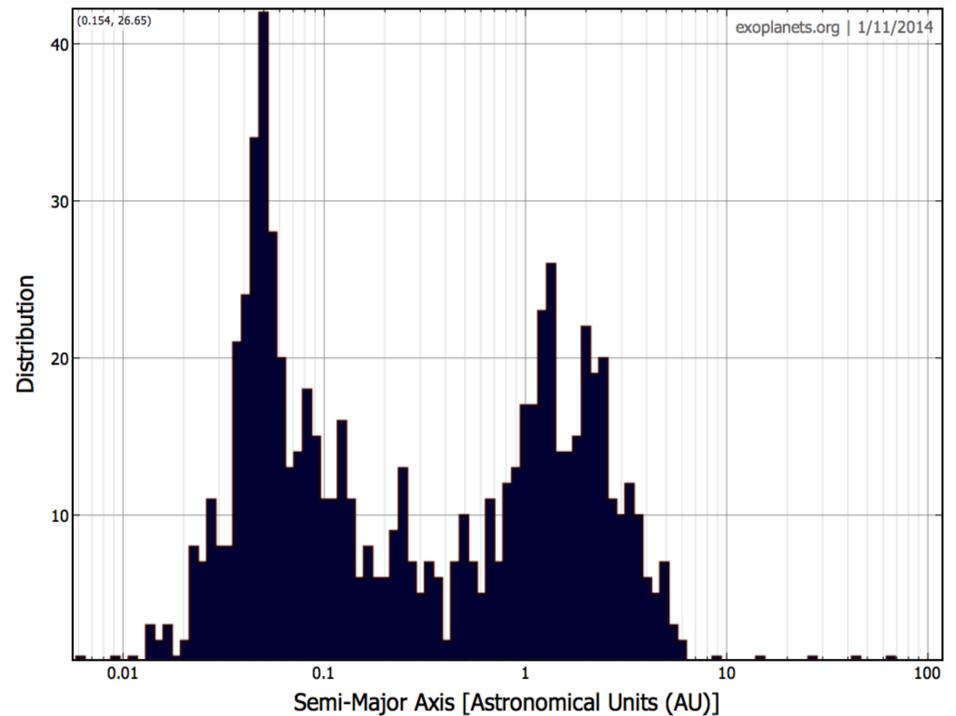
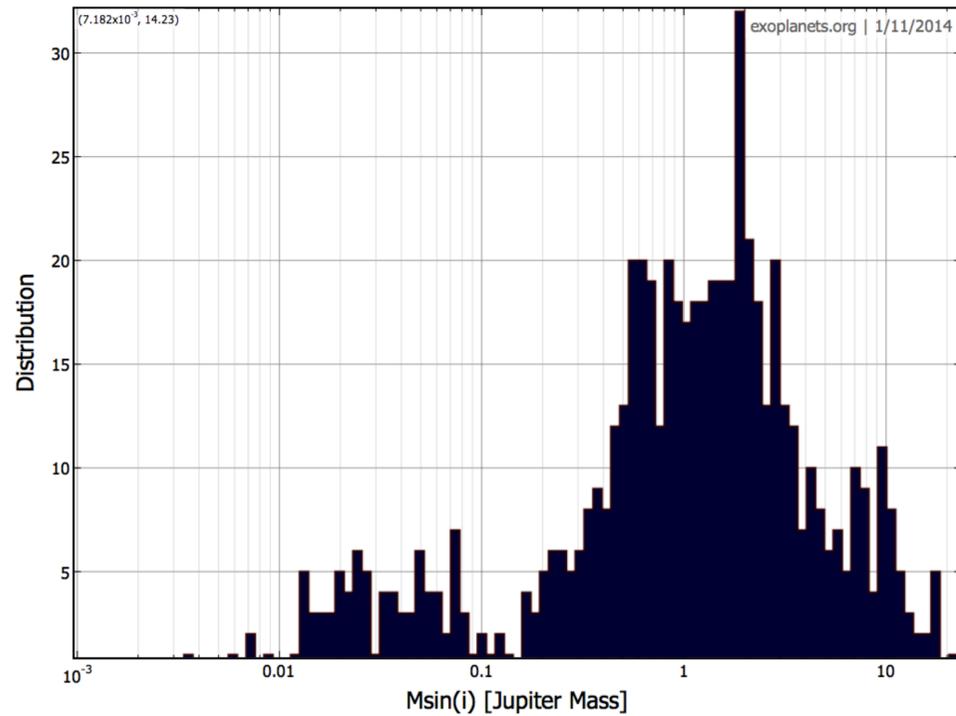


Stand Anfang 2014: Ungefäher 1000 bestaetigte Exoplaneten heute,
ca. weitere 3000 Kandidaten durch Keplermission.

Radialgeschw. 548, Transit 389, Imaging 38, Microlensing 22

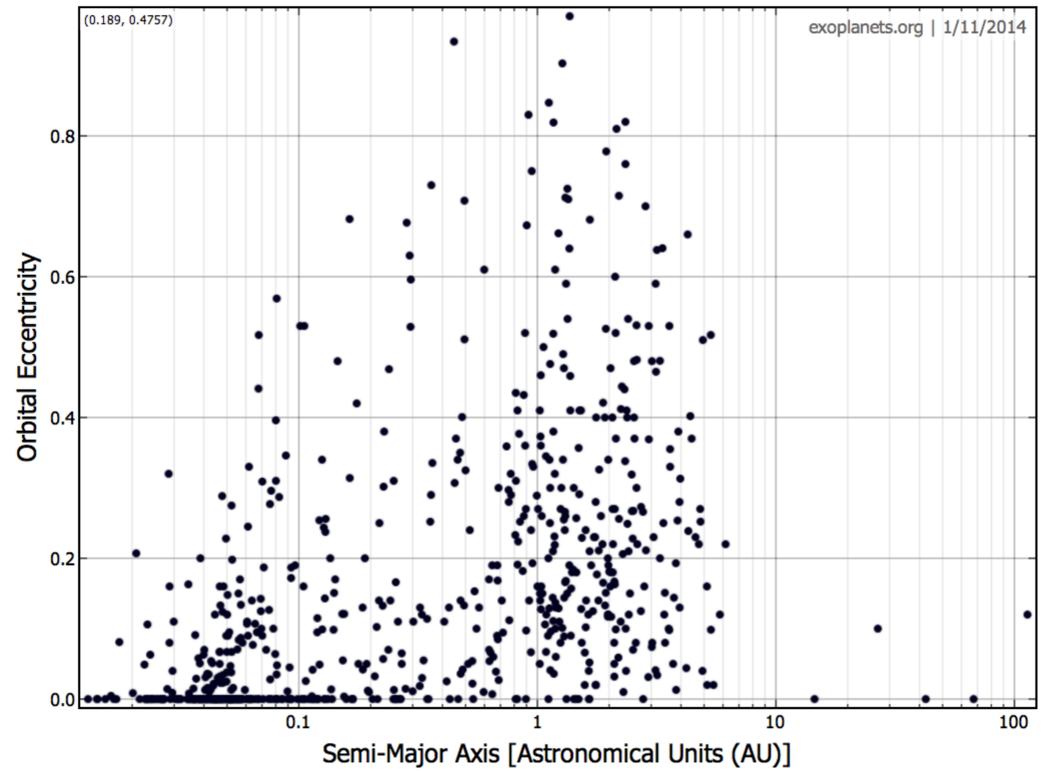
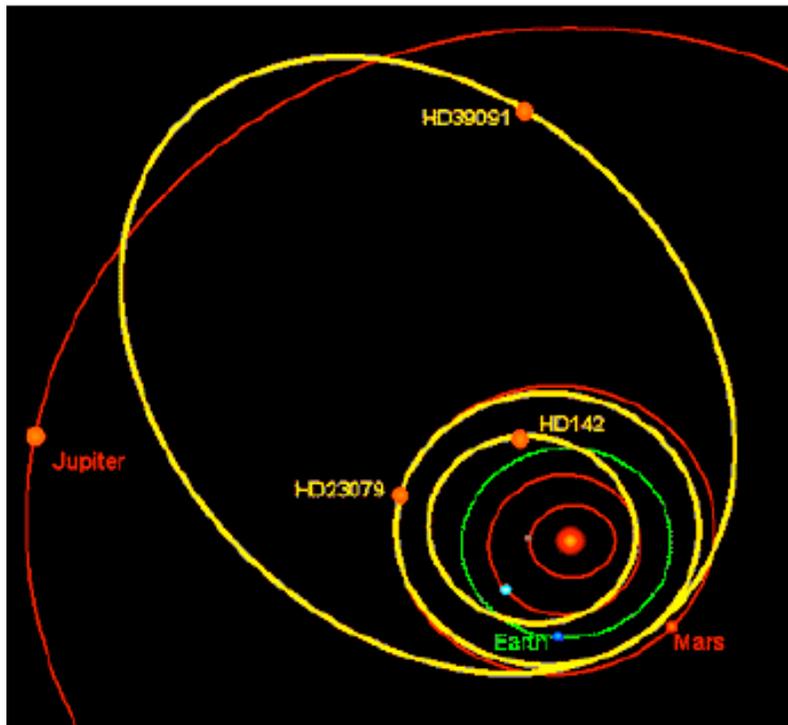
Pulsar timing 6, Astrometrie 0-2

Eigenschaften

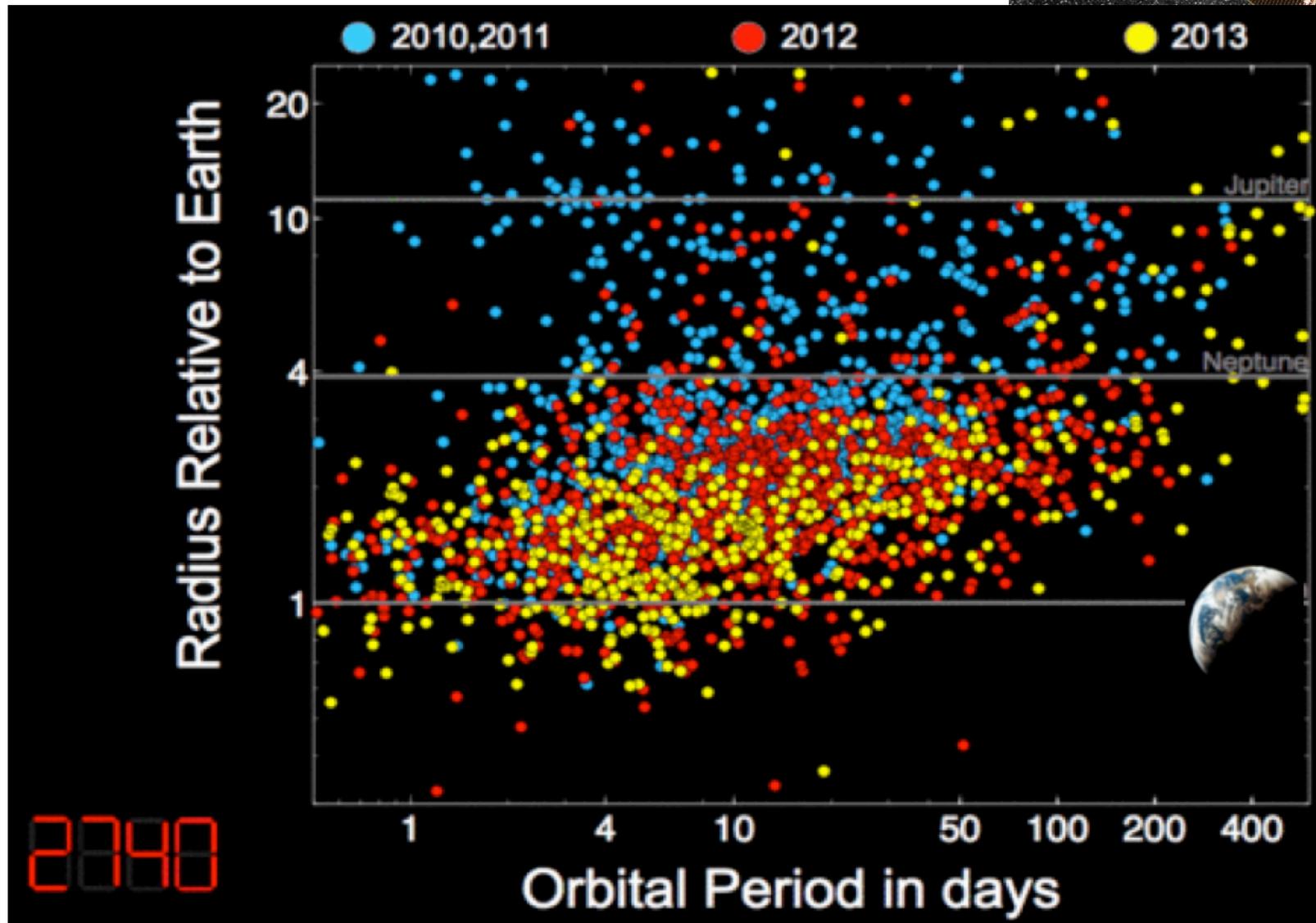


$M_{\text{Sonne}} \sim 1000 M_{\text{Jupiter}}$
 $M_{\text{Jupiter}} \sim 300 M_{\text{Erde}}$

Exzentrizitäten



Keplers Domaene



Ergebnisse

Nicht überraschend:

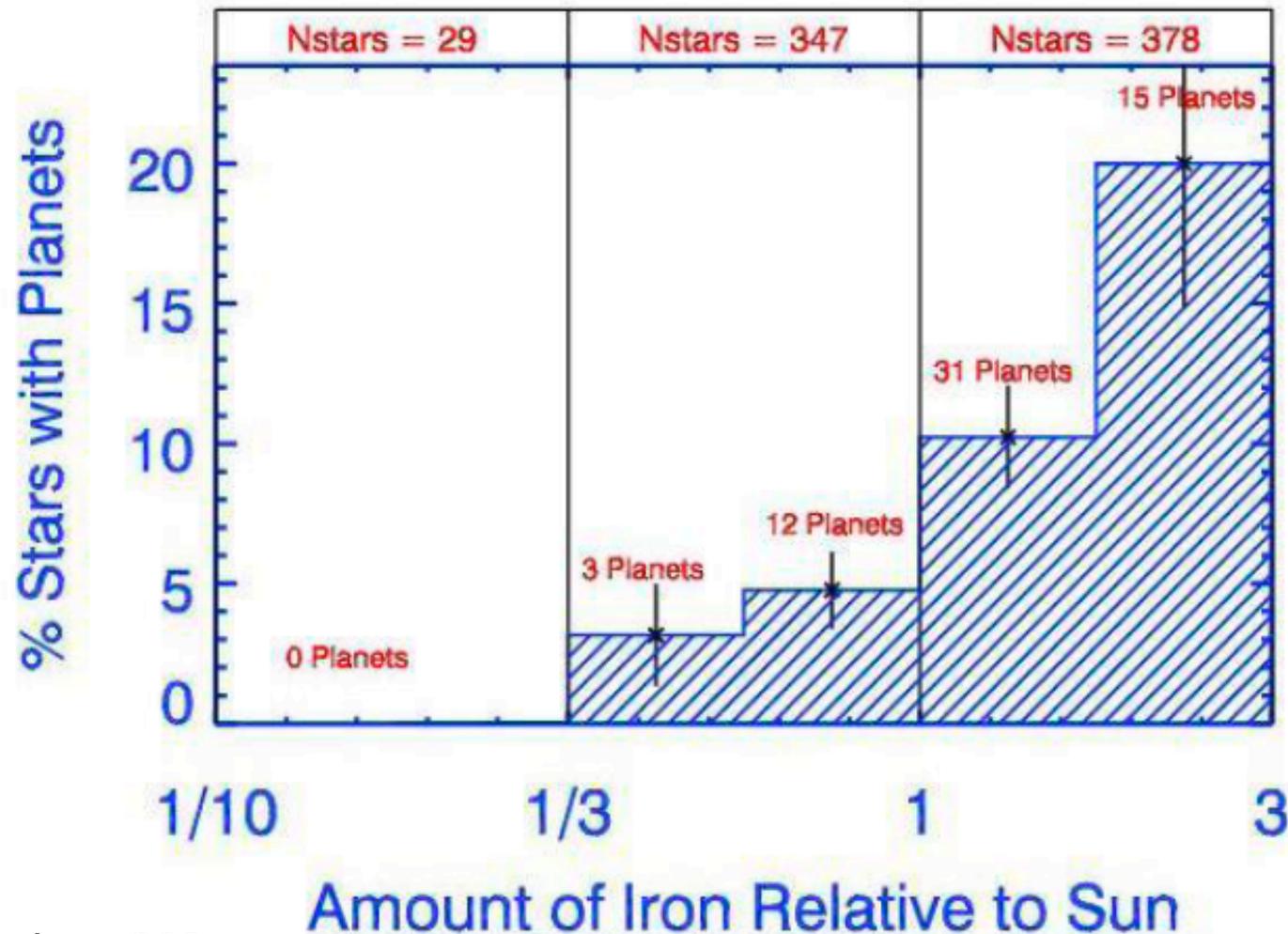
- ✓ Exoplaneten sind massereich (ändert sich nun mit Kepler)
- ✓ Warum? Um messbare Wackelbewegung zu bekommen.
- ✓ Wären sie nicht so massereich, hätten wir sie nicht gefunden.

Sehr überraschend

- ? Umlaufperiode von mehreren Tagen
 - ? Die meisten Exoplaneten sind sehr nahe am Stern!
 - ? Beispiel: τ Boo hat das 3.6-fache der Jupitermasse, liegt aber näher am Stern als Merkur an der Sonne!
 - ? Bisherige Theorie: Gasplaneten sollten sich dort nicht bilden.
 - ? Exoplaneten oft auf sehr exzentrischen Umlaufbahnen
- Keplermission eröffnet Fenster zu erdaehnlichen Planeten

Planetenhaeufigkeit abhaengig von Metallizitaet

Planetenhaeufigkeit scheint von der Metallizitaet abzuehengen!



Themen heute

Vorbemerkungen

Habitable Zone & unser Sonnensystem als Prototyp

Nachweise extrasolarer Planetensysteme

Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

Kontaktmöglichkeiten: Die Drake-Gleichung

Die Drake-Gleichung

Wie wahrscheinlich ist es, dass wir mit extraterrestrischem Leben in Funkkontakt kommen?

$$N_{IC} = R_* \times P_p \times P_{HZ} \times P_{\text{Leben, einfach}} \times P_{\text{Leben, komplex}} \times P_{\text{Funk}} \times L_{\text{Funk}}$$

N_{IC} : Zahl der Zivilisationen, die mit uns in Funkkontakt stehen könnten

Astronomie

- R_* : Entstehungsrate sonnenähnlicher Sterne
 P_p : Wahrscheinlichkeit, Planeten zu besitzen
 P_{HZ} : W., dass Planet habitabel ist

Biologie

- $P_{\text{Leben, einfach}}$: W., dass sich einfaches Leben bildet
 $P_{\text{Leben, komplex}}$: W., dass sich dieses zu komplexem entwickelt

Soziologie

- P_{Funk} : W., dass Zivilisation Funkkontakt aufnimmt
 L_{Funk} : Überlebenszeit einer solchen Zivilisation

Einfuehrung in die Astron. & Astrophysik I

Wintersemester 2013/2014: Henrik Beuther & Christian Fendt

- 17.10 Einfuehrung: Ueberblick und Geschichte (H.B.)*
- 24.10 Koordinatensys., Sternpositionen, Erde/Mond (C.F.)*
- 31.10 Teleskope und Instrumentierung (H.B.)*
- 07.11 Strahlung, Strahlungstransport (C.F.)*
- 14.11 Planetensystem(e) und Keplergesetze (H.B.)*
- 21.11 Sonne & Sterne, Typen, Klassifikationen, HR-Diagramm (C.F.)*
- 28.11 Interstellare Materie: Chemie und Materiekreislauf (H.B.)*
- 05.12 Sternentstehung, Akkretionsscheiben und Jets (H.B.)*
- 12.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Hauptreihe (C.F.)*
- 19.12 Sternaufbau und Sternentwicklung: Endstadien (C.F.)*
- 26.12 und 02.01 –*
- 09.01 Mehrfachsysteme und Sternhaufen, Dynamik (C.F.)*
- 16.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)*
- 23.01 Die Milchstrasse (H.B.)**
- 30.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)*
- 08.02 Klausur, 15:00-17:00, Philosophenweg 12**