

# 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



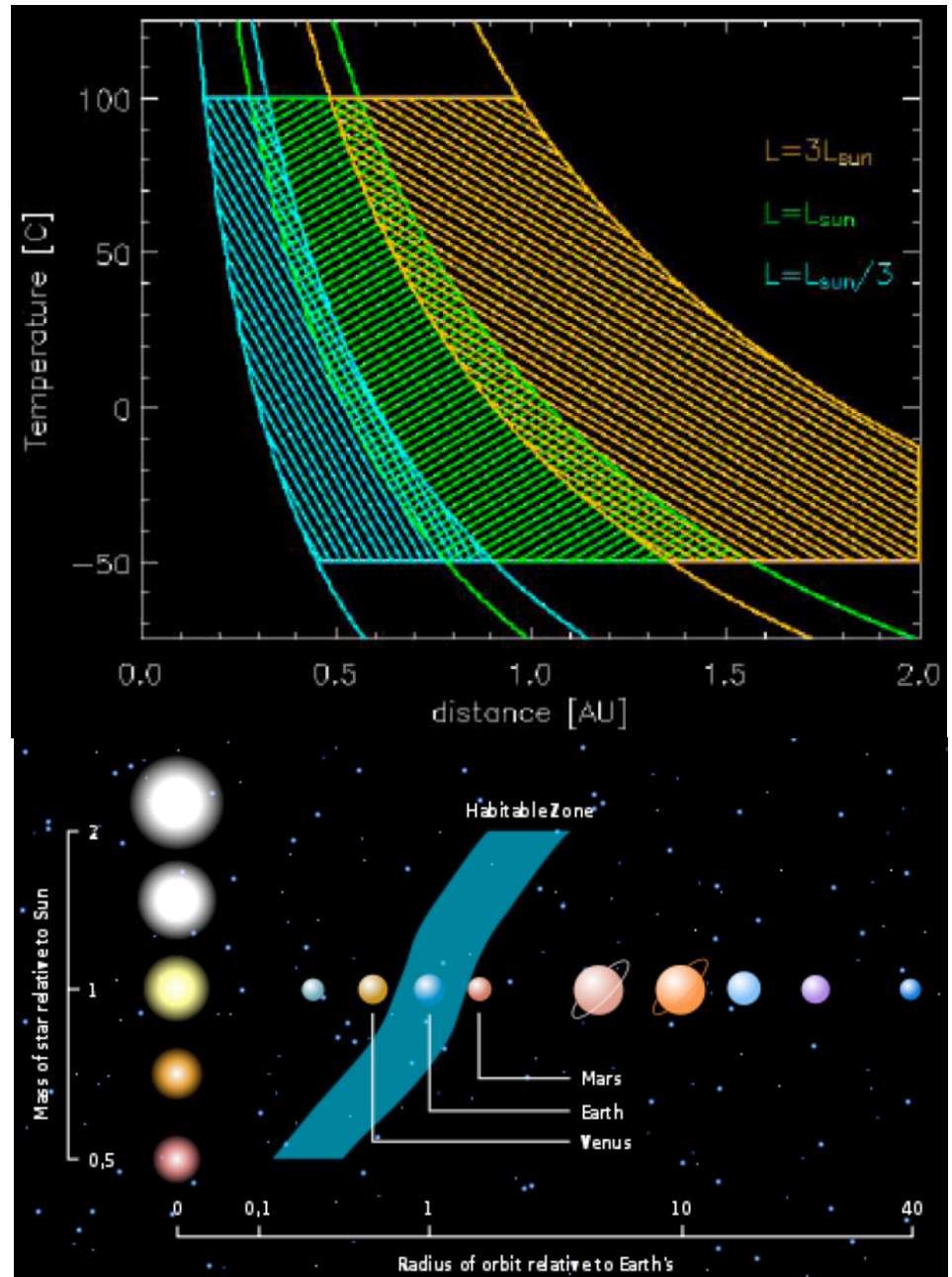
# Habitable Zone

Einfache Abschaetzung fuer T von fluessigem Wasser:

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

- T: Temperatur Planet
- $\sigma$ : Stefan-Boltzmann-Konstante
- $L_{\text{sun}}$ : 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.

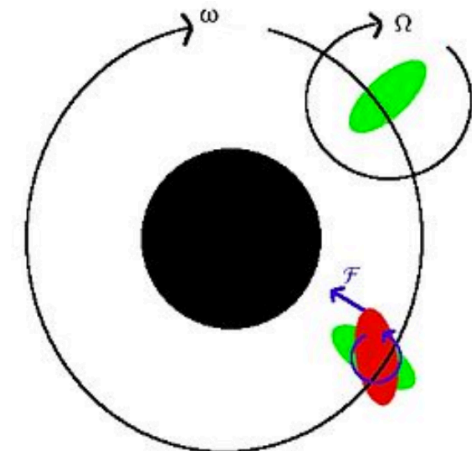




# Habitable Zonen

- 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 ( $\text{CO}_2$ -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**

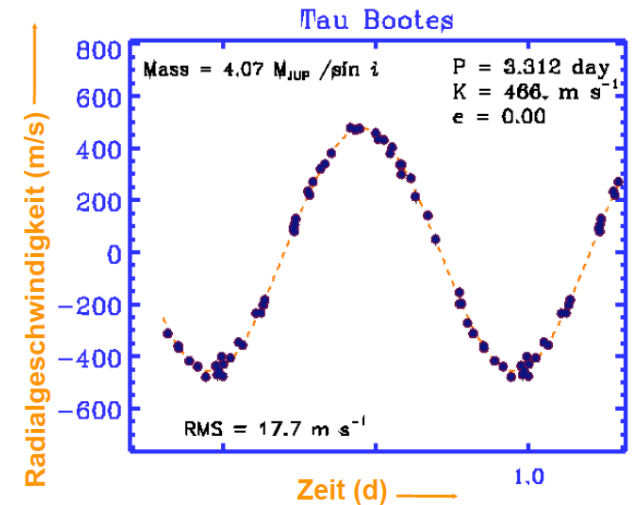
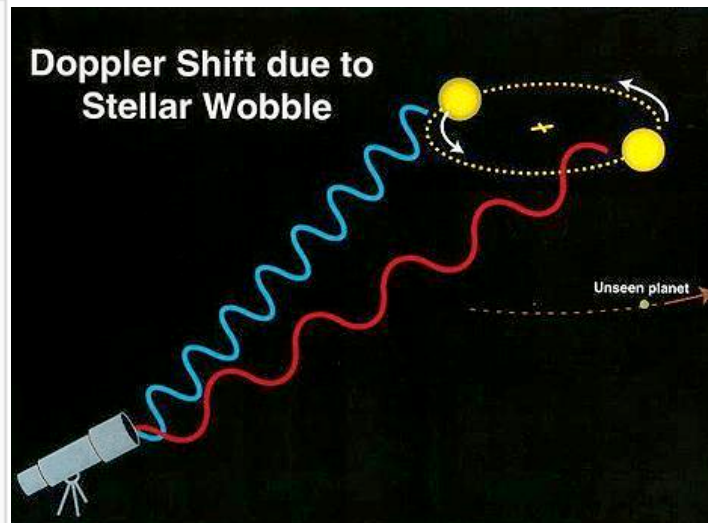
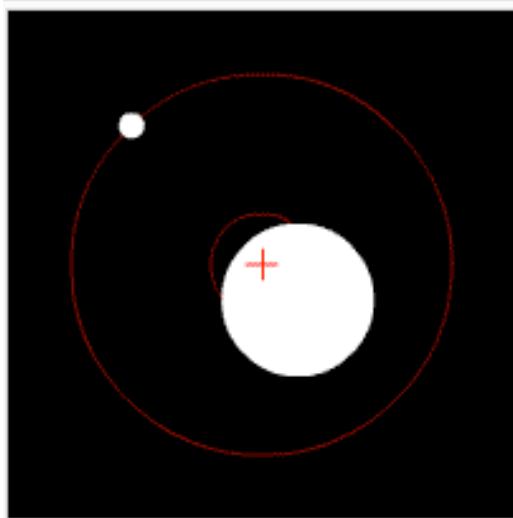
Eigenschaften extrasolarer Planetensysteme

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:

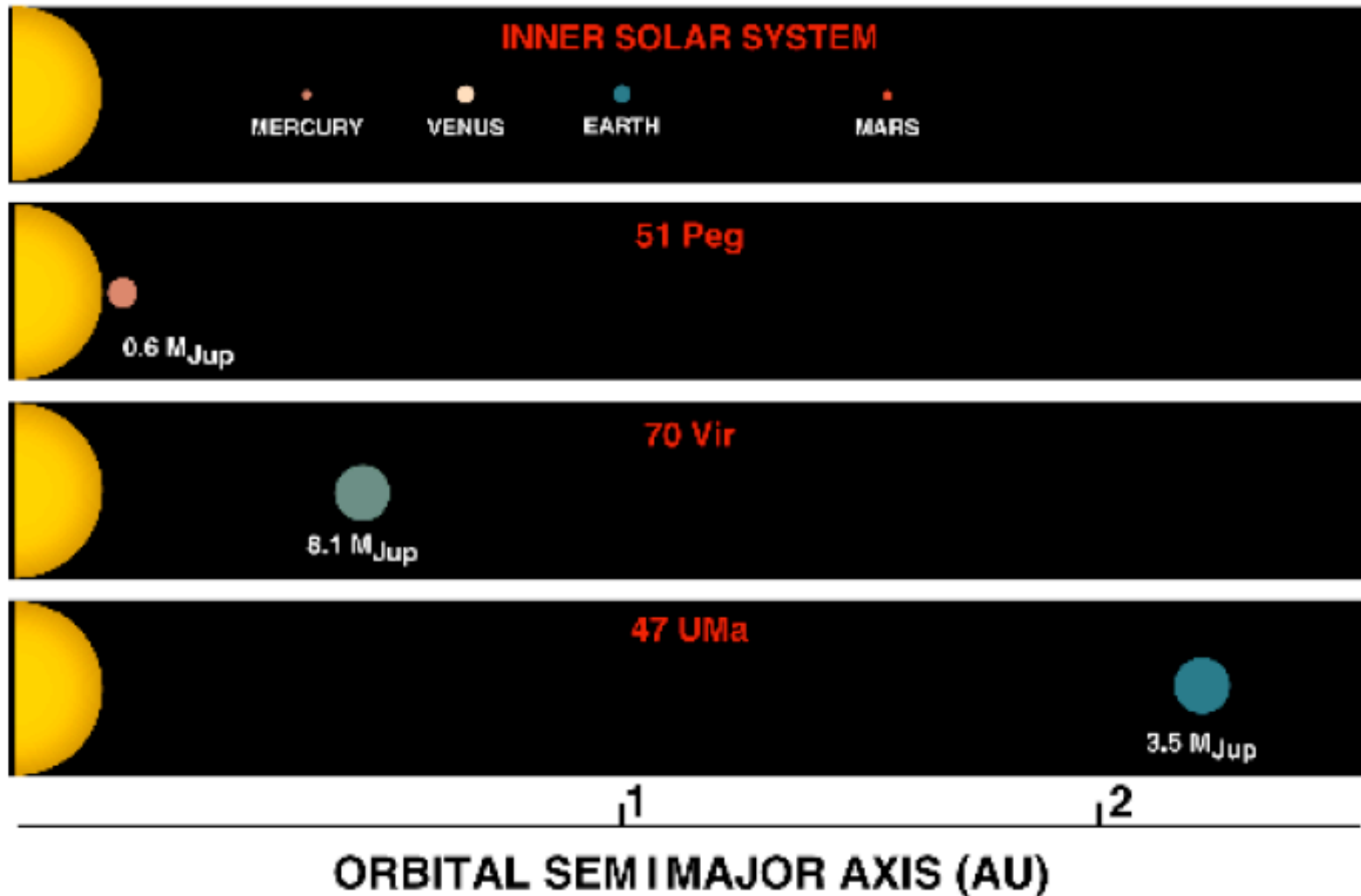
- Ueblicherweise Inklinationswinkel  $\rightarrow$  nur unteres Limit  $M_p(\sin i)$
- Oftmals keine Kreis- sondern Ellipsenbahnen  $\rightarrow$  Exzentrizitaet

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



# Erste Detektionen 1995/1996

## PLANETS AROUND NORMAL STARS



# Direkte Beobachtungen von Exoplaneten

## Schwierigkeiten:

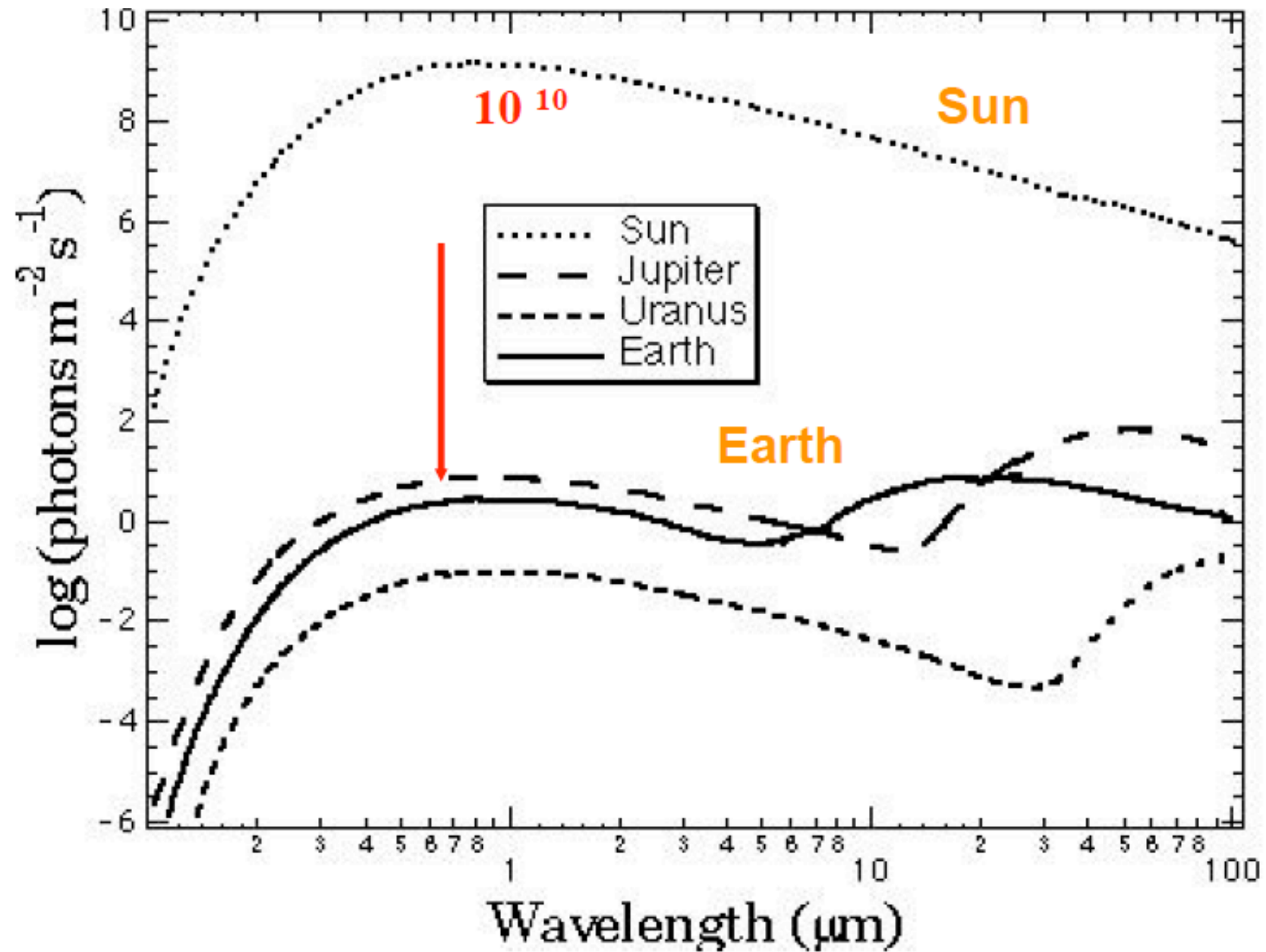
- Winkelaufloesung: Erdbahn in 10pc Abstand  $\sim 0.1'$   
→ schwierig aber moeglich
- Helligkeit: Erde bei 10pc schwach aber detektierbar  
(Uebungsaufgabe)

Jupiter mit 5AU Abstand

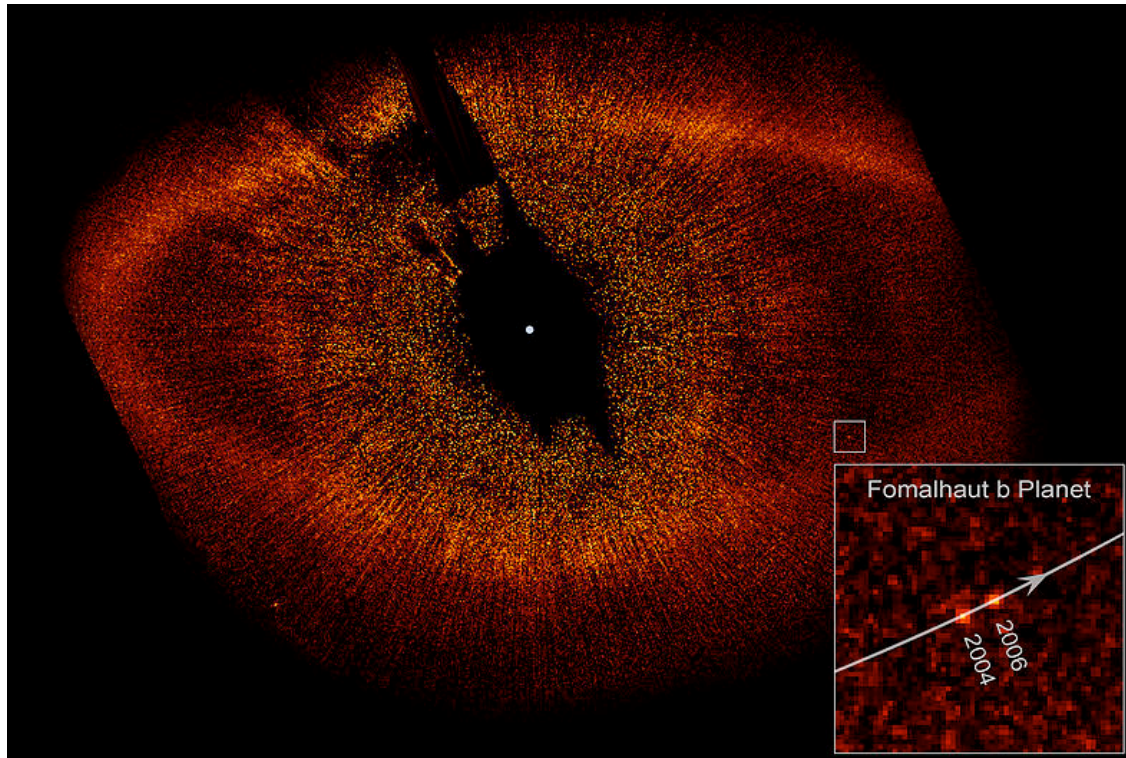
- 5 mal so weit von Stern → 25 mal schwaecher
- 10 x groesserer Radius → 100 mal staerker
- Jupiter ungefaehr 4 mal heller als Erde

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

# Kontrast direkter Beobachtungen

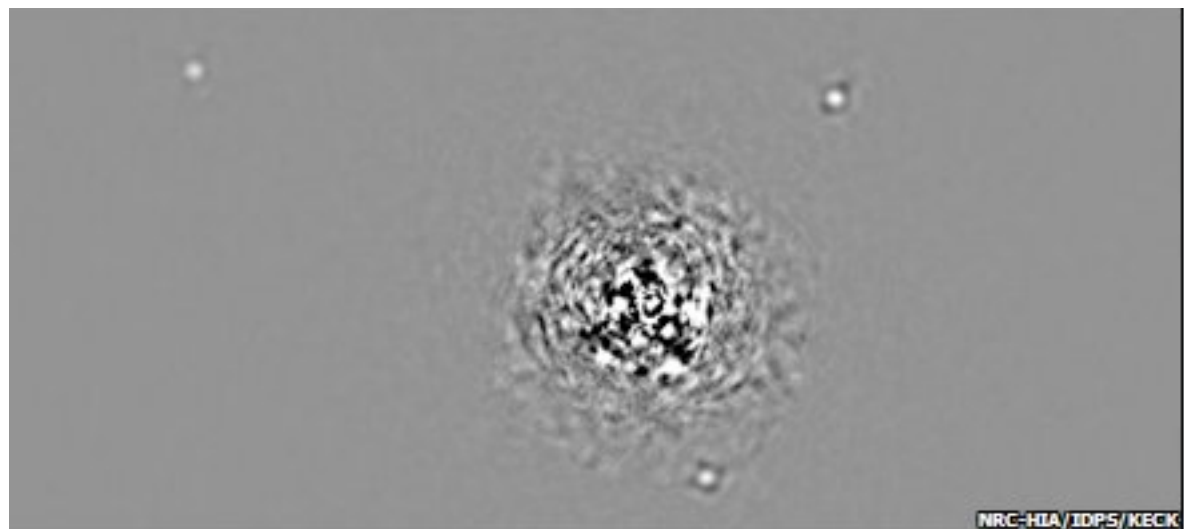


# Erste direkte Detektionen in 2008

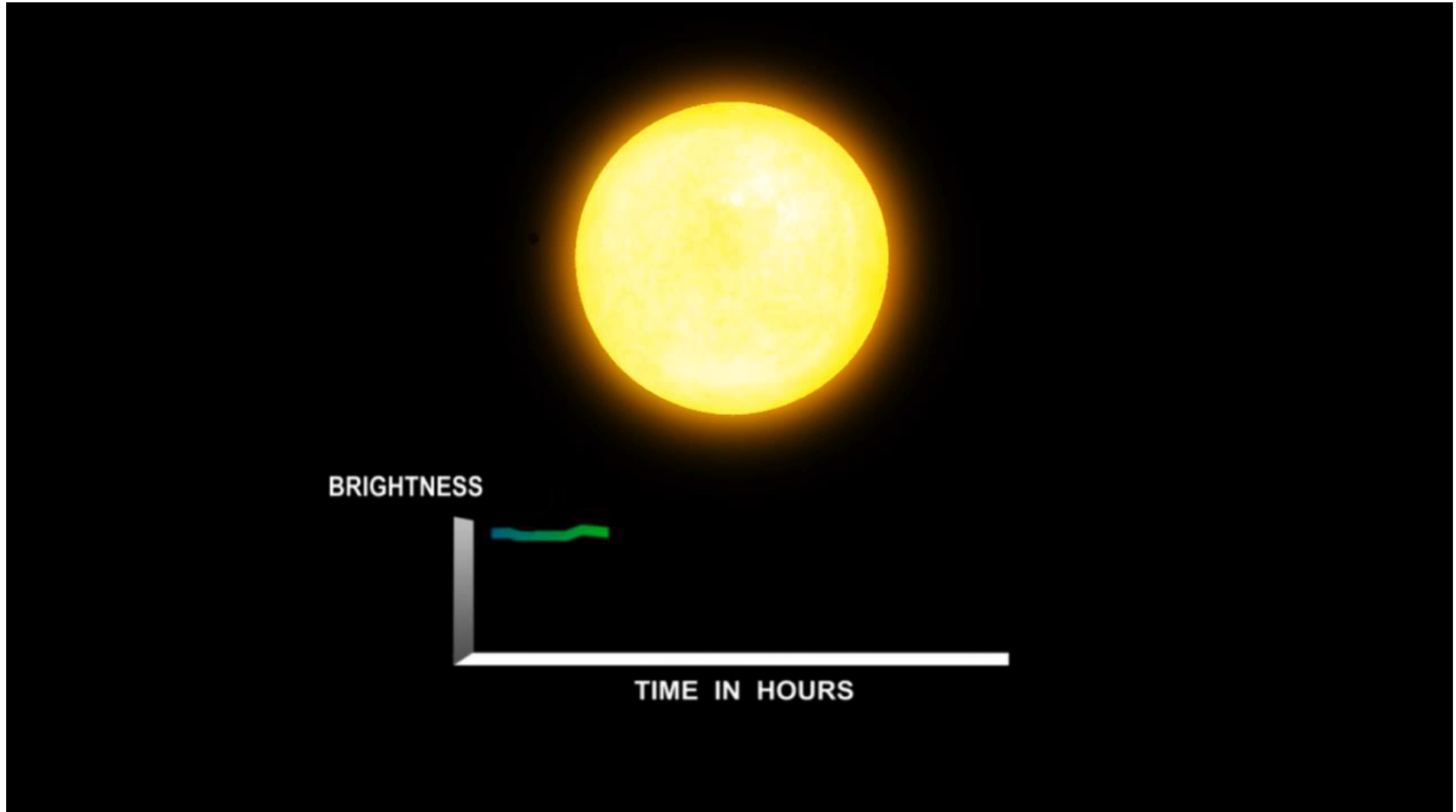


Fomalhaut b  
 $3M_J @ 115AU$

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



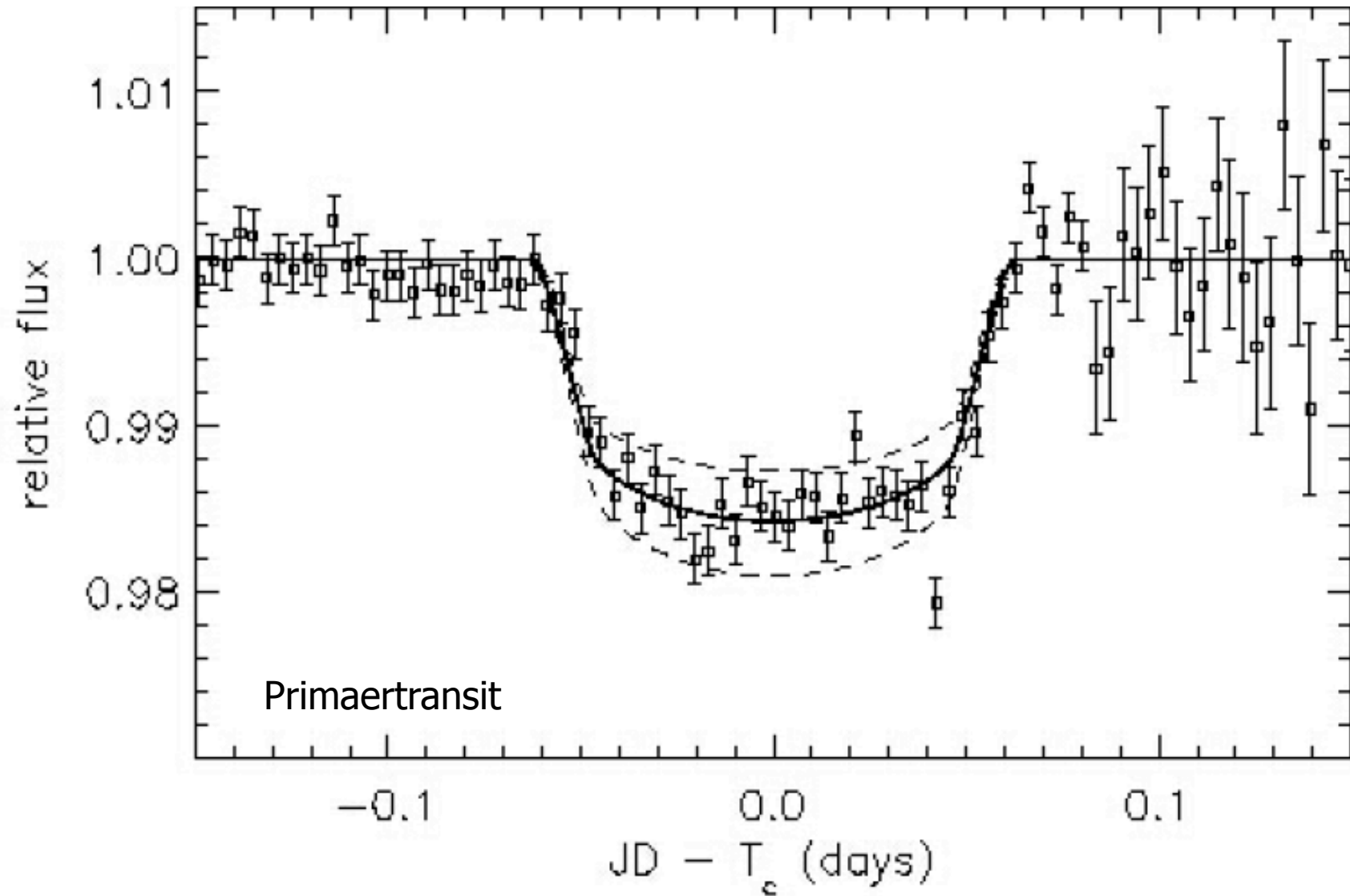
# Bedeckungen/Transits



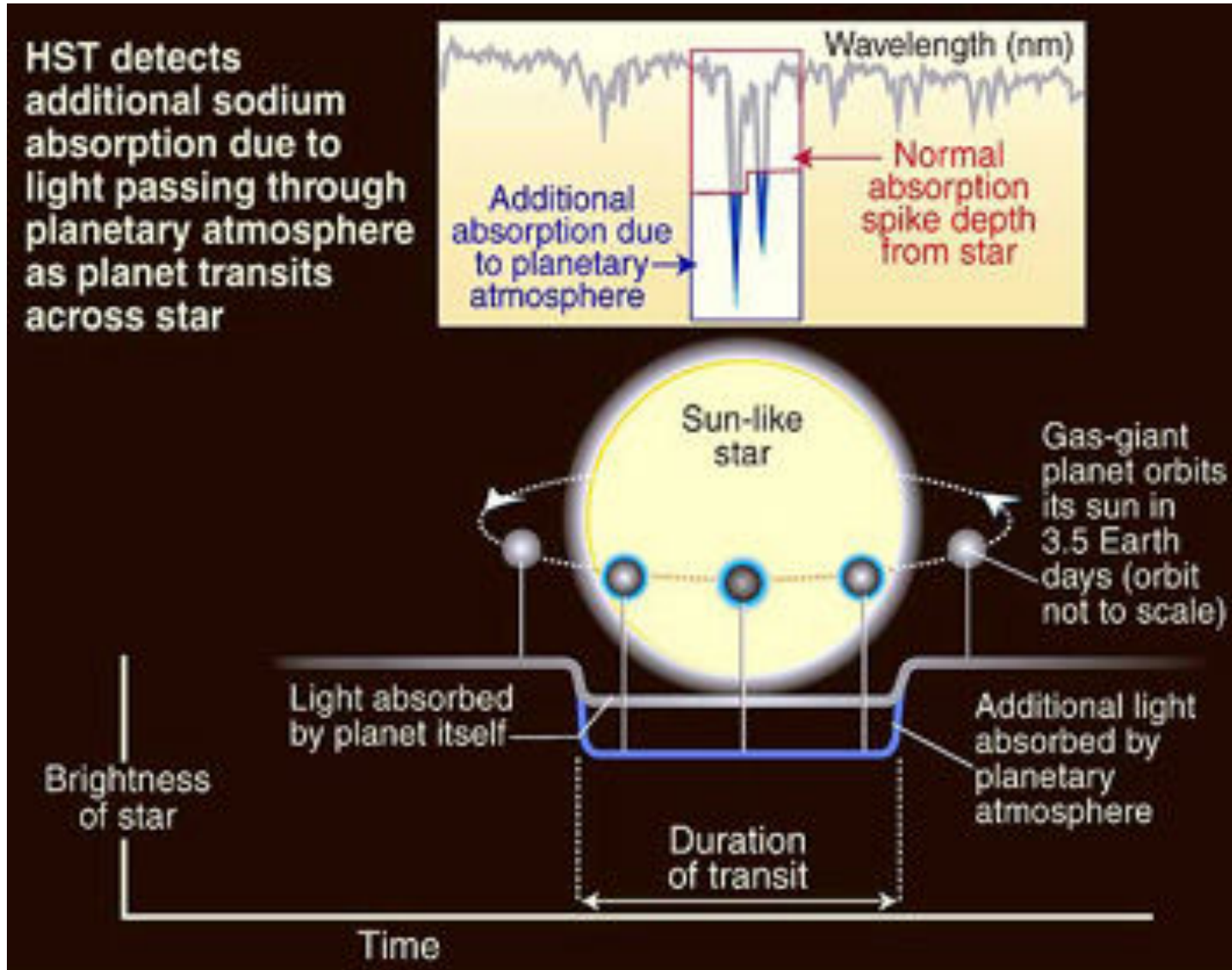
*Animation from Kepler mission*



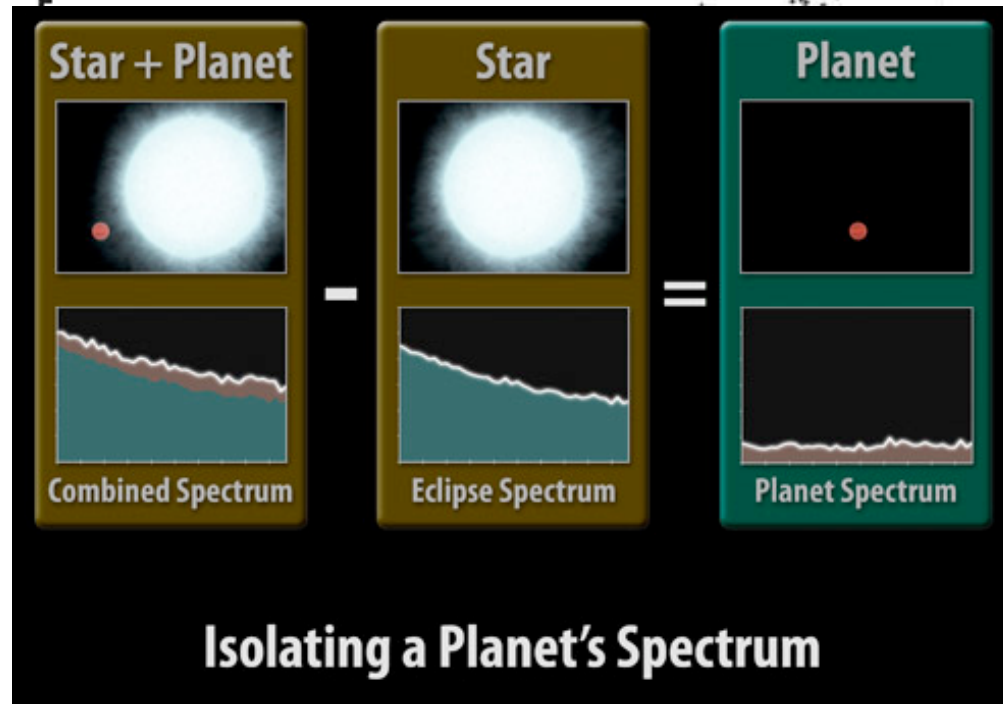
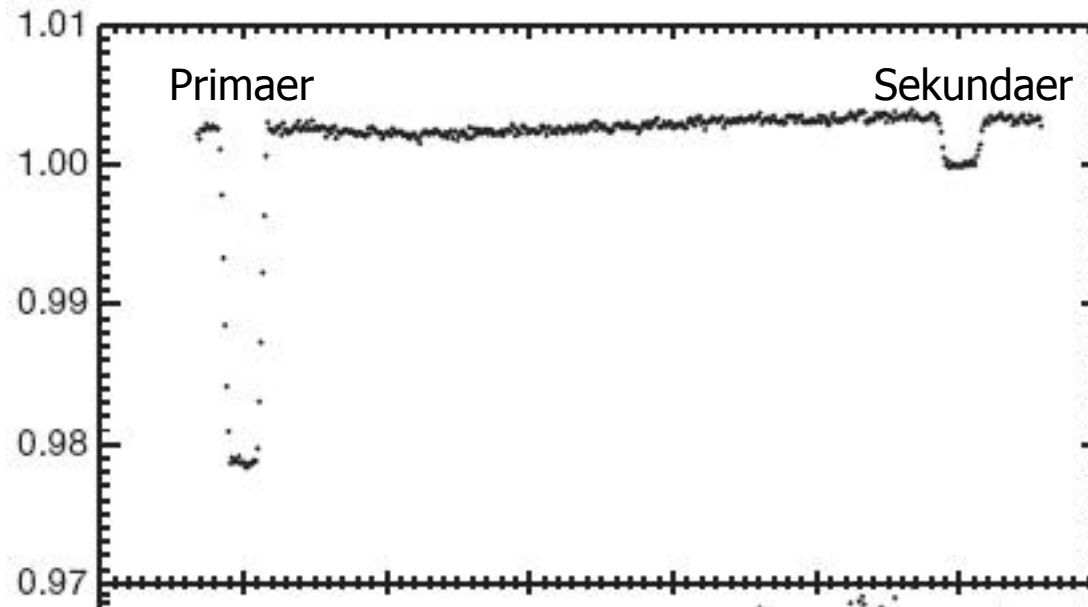
# Bedeckungen/Transits II



# Bedeckungen/Transits III

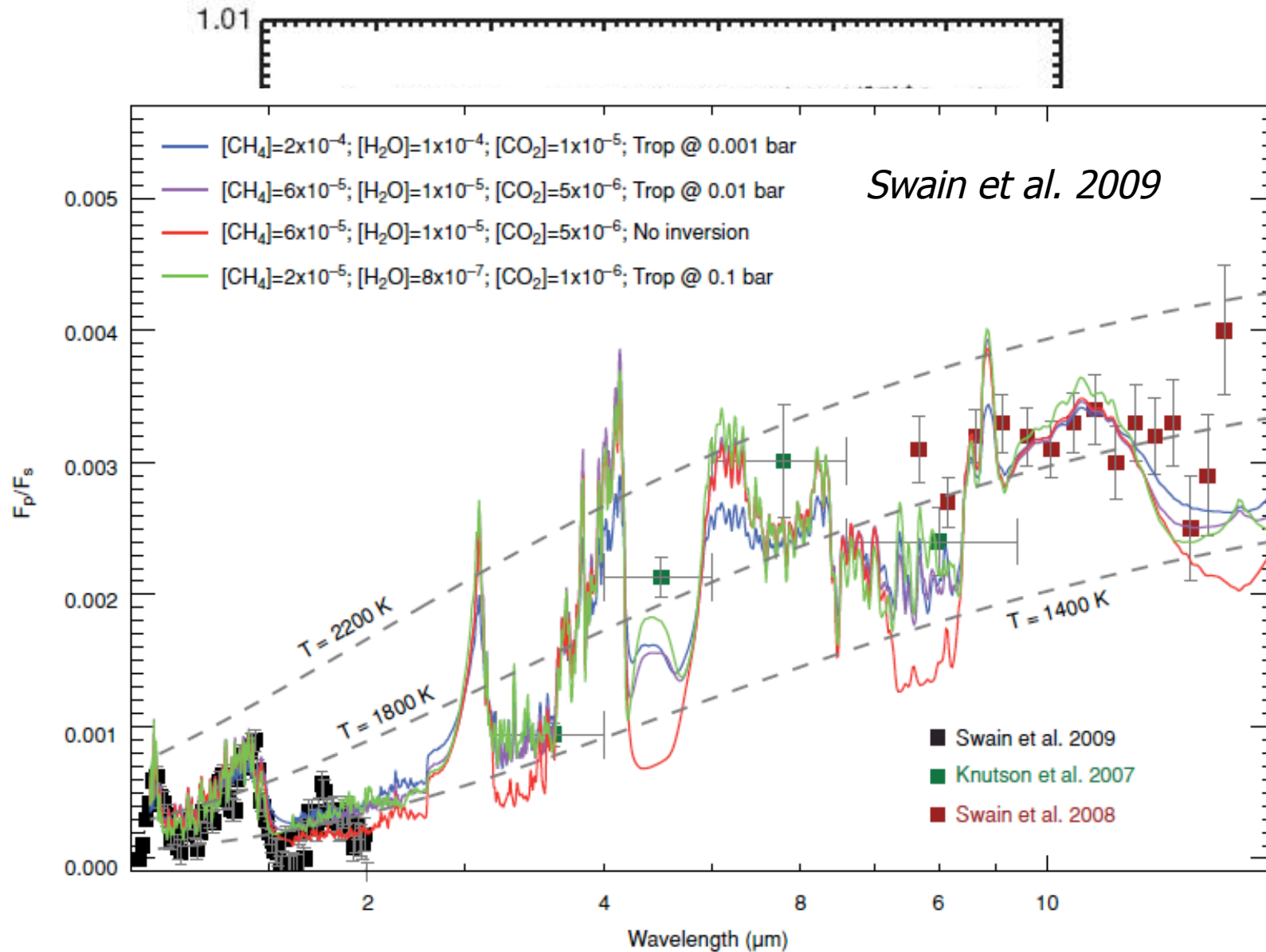


# Sekundaertransit





# 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

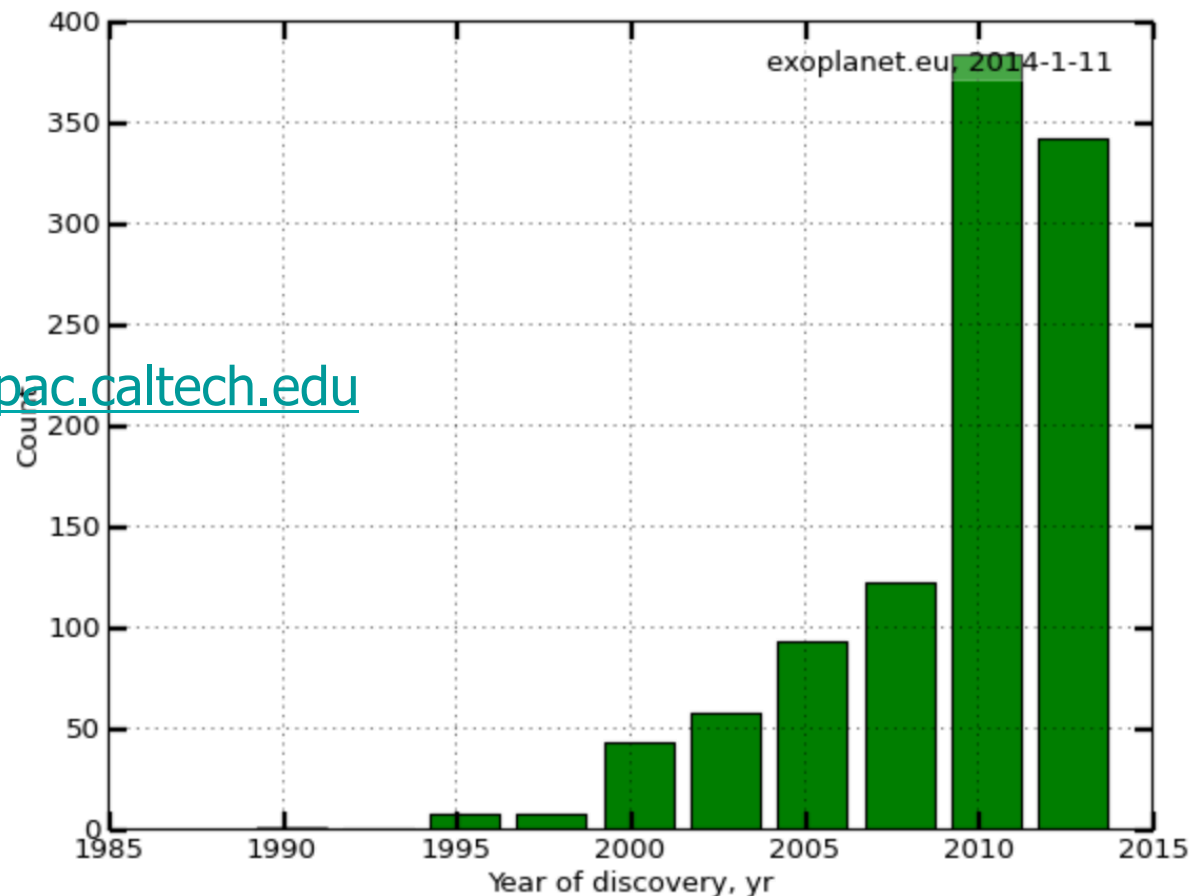
Gute Web-Adressen

[www.exoplanet.eu](http://www.exoplanet.eu)

[www.exoplanets.org](http://www.exoplanets.org)

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

Exoplanet App



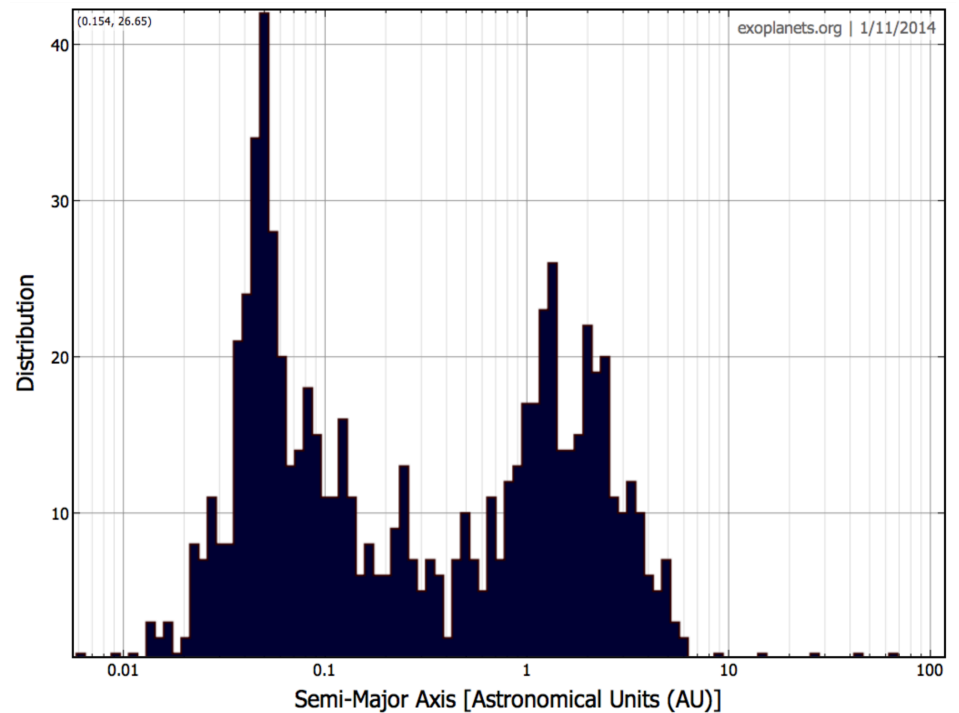
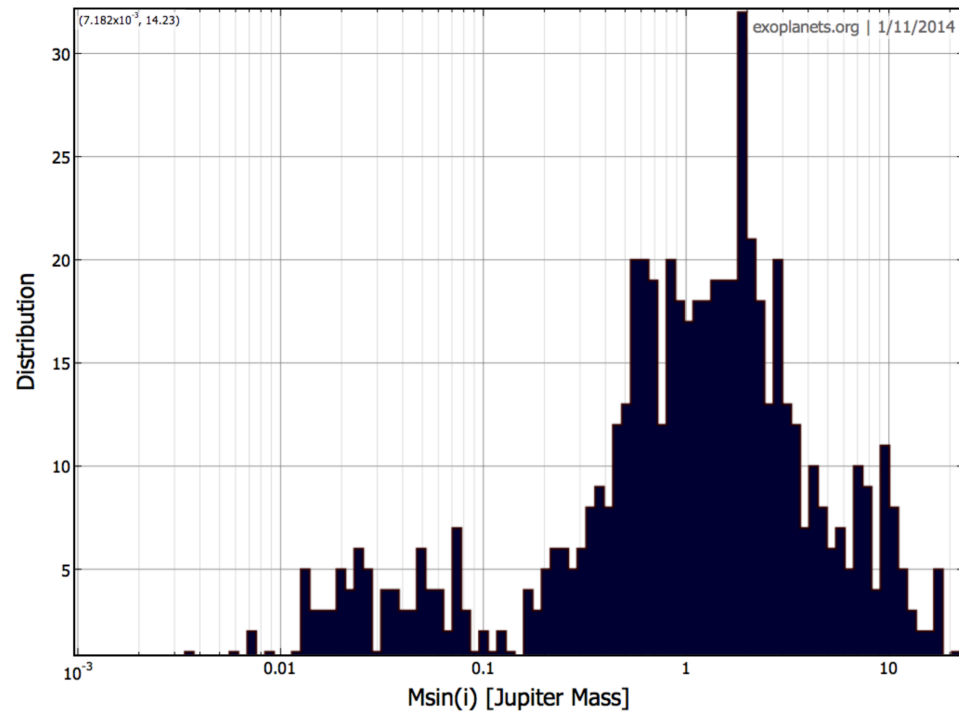
Stand Anfang 2014: Ungefäher 1000 bestaetigte Exoplaneten heute,  
ca. weitere 3000 Kandidaten durch Keplermission.

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

Pulsar timing 6, Astrometrie 0-2

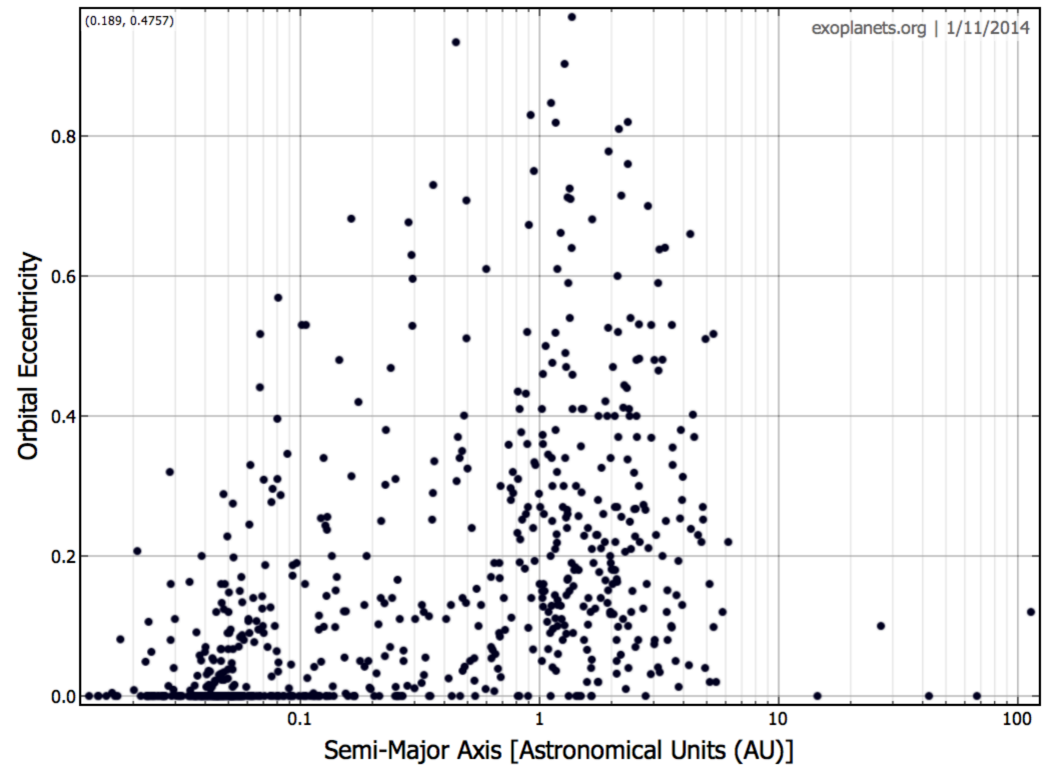
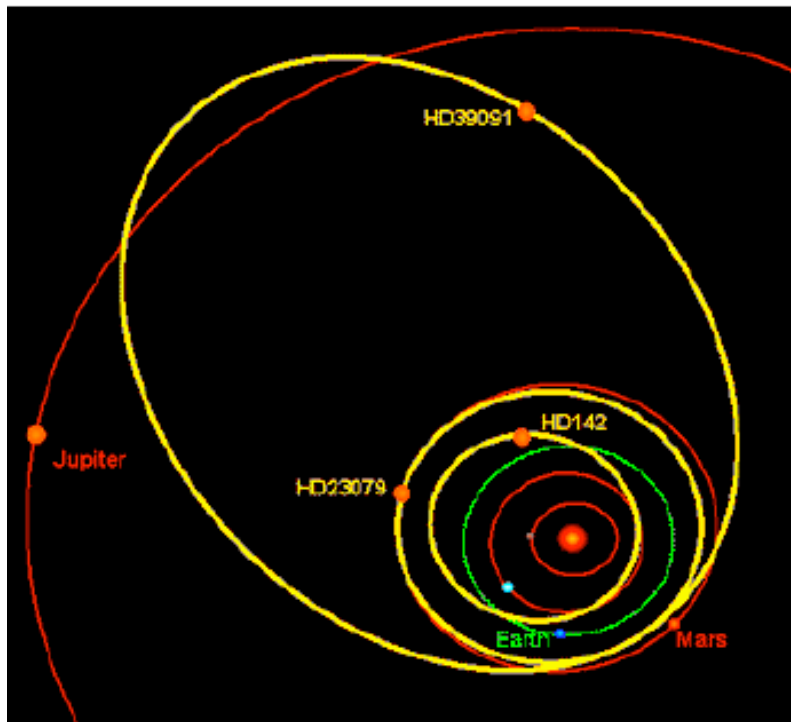


# Eigenschaften

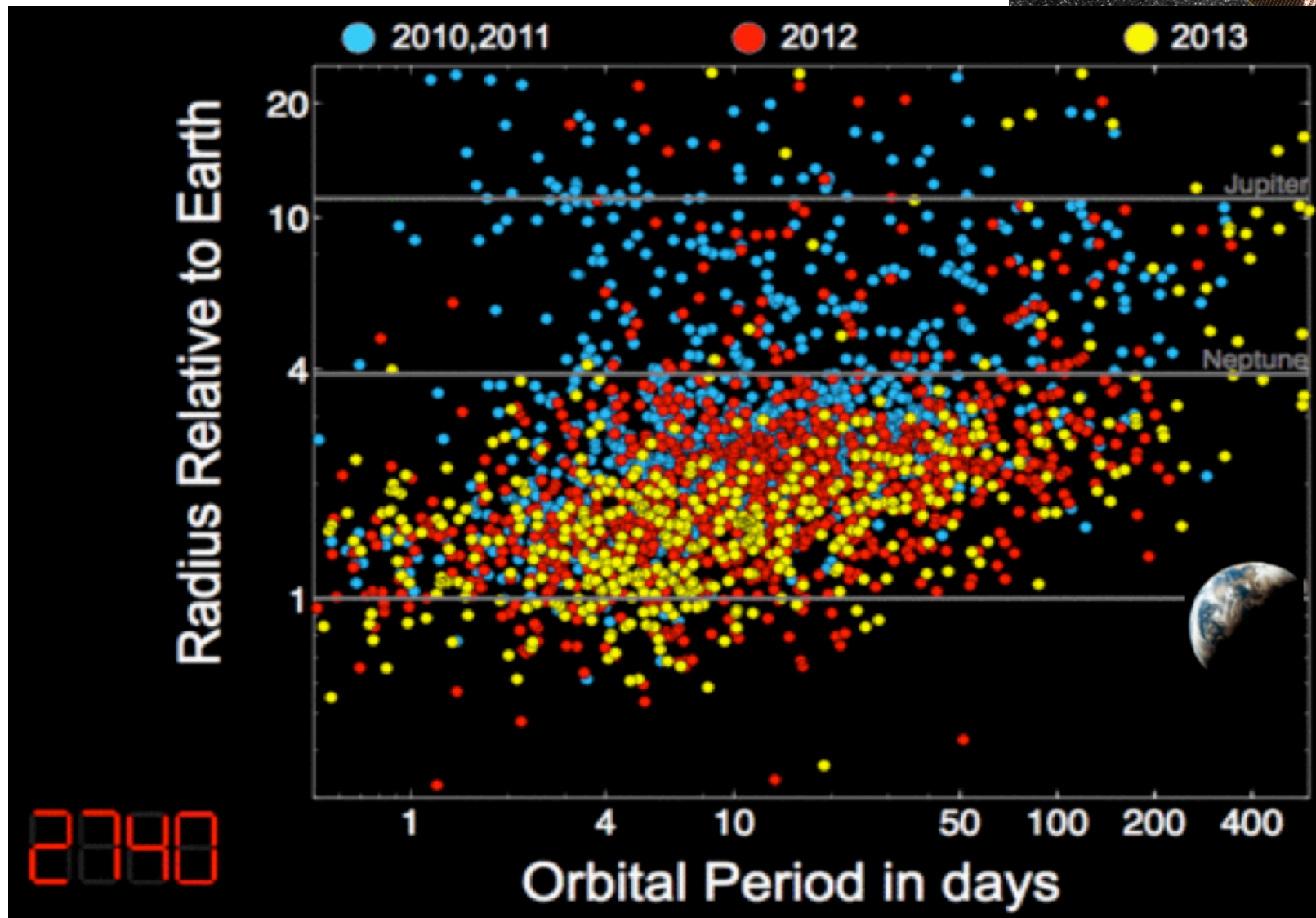
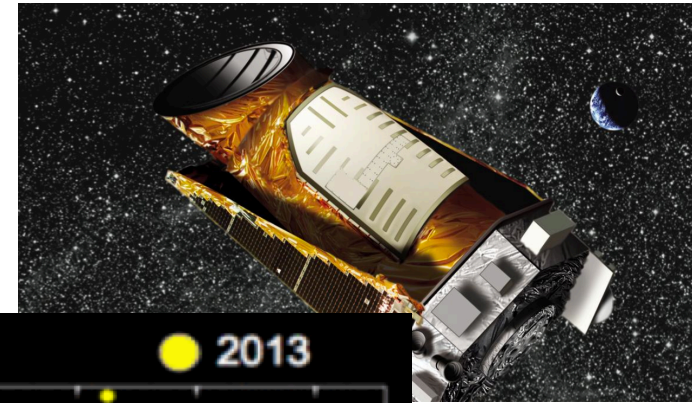


$M_{\text{Sonne}} \sim 1000 M_{\text{Jupiter}}$   
 $M_{\text{Jupiter}} \sim 300 M_{\text{Erde}}$

# 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.

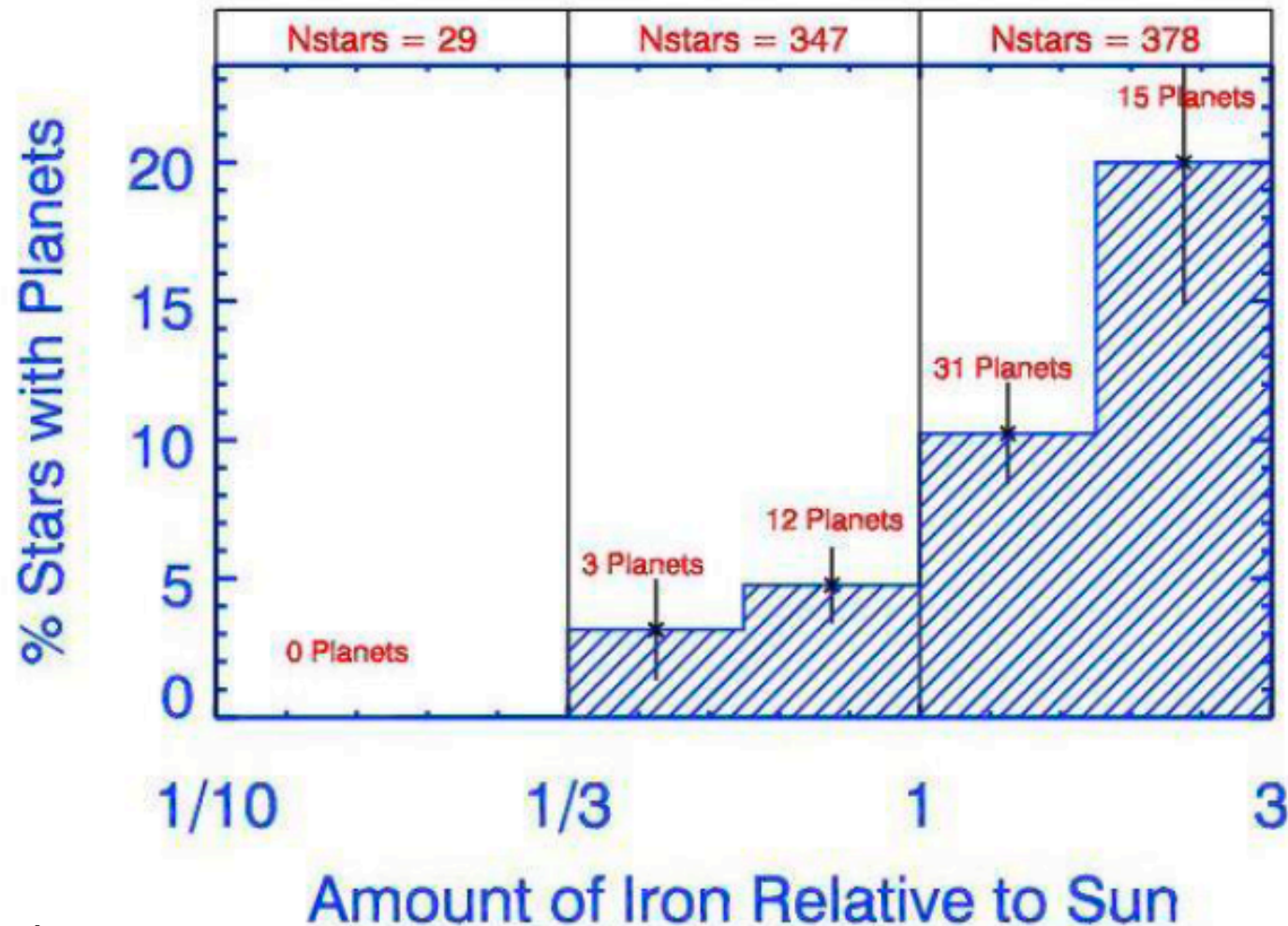
## Sehr überraschend

- ? Umlaufperiode von mehreren Tagen
  - ? Die meisten Exoplaneten sind sehr nahe am Stern!
  - ? Beispiel:  $\tau$ 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?

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

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

## Astronomie

- $R_{*}$ : Entstehungsrate sonnenähnlicher Sterne  
 $P_{\text{P}}$ : Wahrscheinlichkeit, Planeten zu besitzen  
 $P_{\text{HZ}}$ : 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

- $P_{\text{Funk}}$ : W., dass Zivilisation Funkkontakt aufnimmt  
 $L_{\text{Funk}}$ : 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**