

Hallo ist da jemand?

Die Entdeckung von extrasolaren Planeten und die Suche nach Leben

Christoph Scheidenberger



Was sind (extrasolare) Planeten? Unser Sonnensystem

Methoden zu Entdeckung und Nachweis extrasolarer Planeten

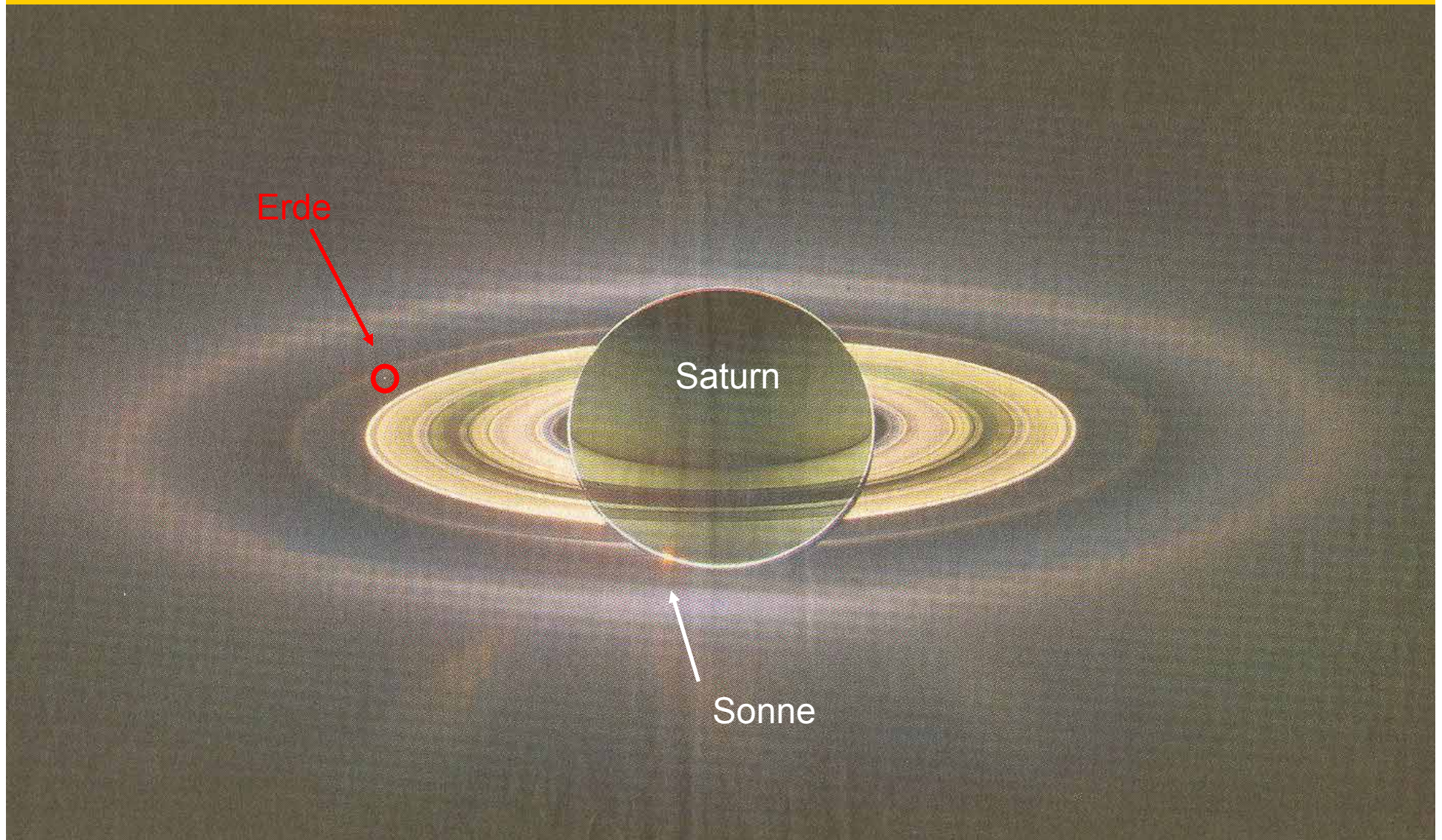
Exemplarische Ergebnisse der gesammelten Daten

Gibt es extraterrestrisches Leben?

Grundlegende Fragen

- **Wo sind wir im Weltall?**
- **Was ist Leben?**
- **Wie, wann und wo entsteht es?**
- **Sind wir alleine?**
- **Gibt es fremde Welten?**

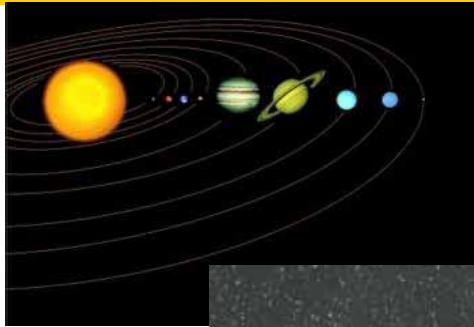
Unser heutiges Bild: Sonne, Saturn, Erde



.....am 15. September 2006 von *Cassini* beobachtet

Räumliche Strukturen im Weltall

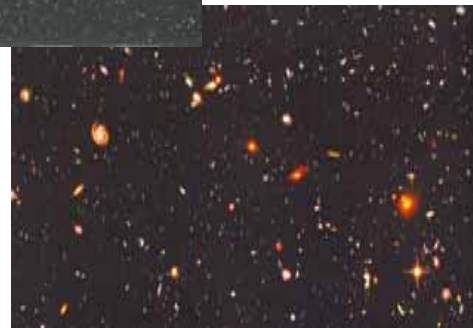
Sonnensystem



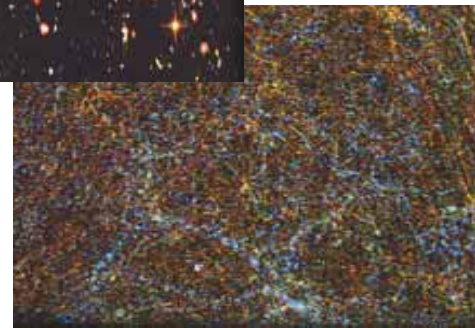
Milchstraße



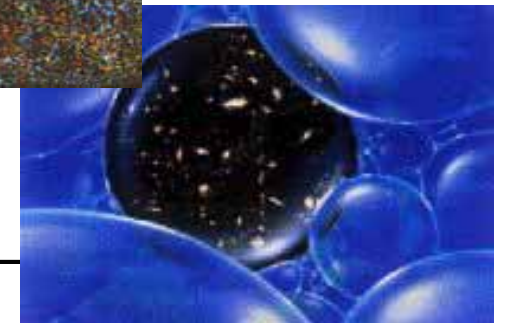
Lokale Gruppe/
Virgo-Haufen



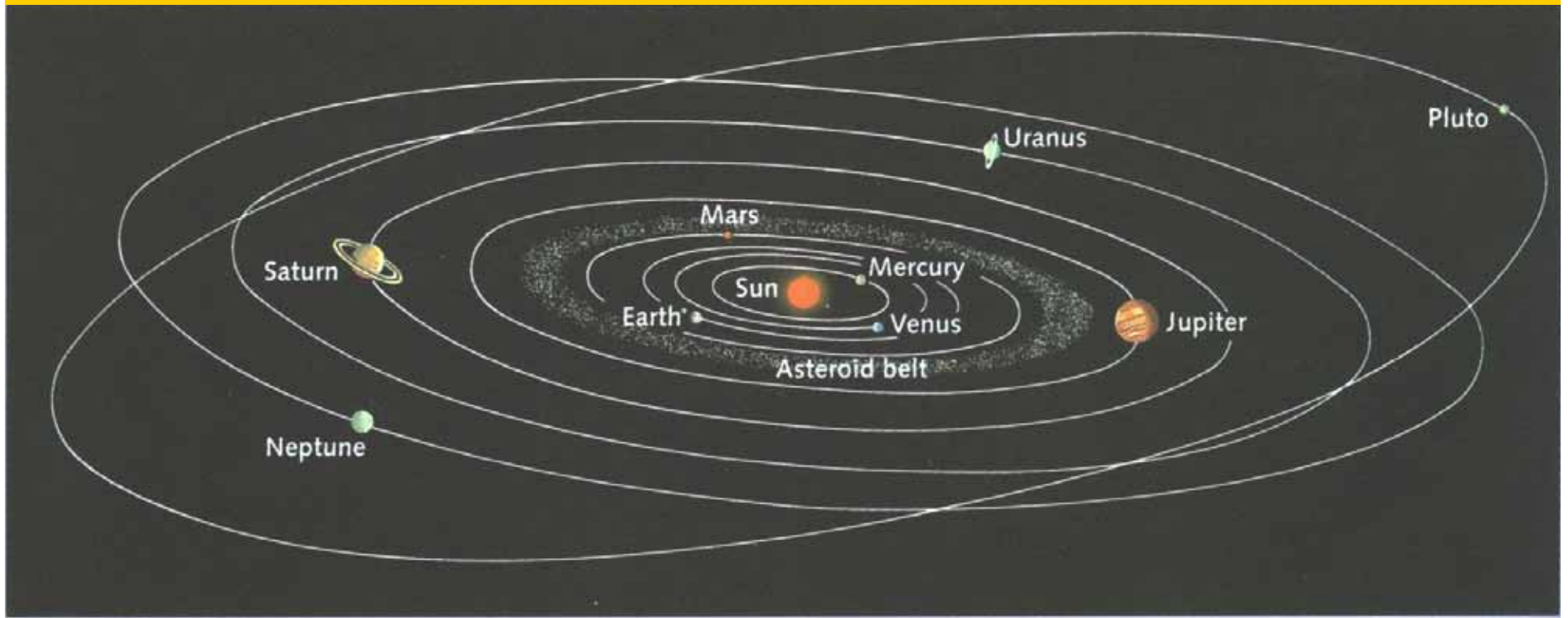
Universum



.....???



Das Sonnensystem und seine Planeten



- **Zentralstern:** Sonne
- **Planeten:** innere, gesteinsförmige Planeten: Merkur, Venus, Erde, Mars
äußere, gasförmige Planeten: Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun (Pluto-Charon, Xena?)
- **Kleinkörper:** Monde, (kleine) Planetoiden und Asteroiden, Kometen, Staub und Mikropartikel (Meteorite), Kuiper-Gürtel, Kometen (Oortsche Wolke)

Einige wichtige Größen

- Masse des Jupiter

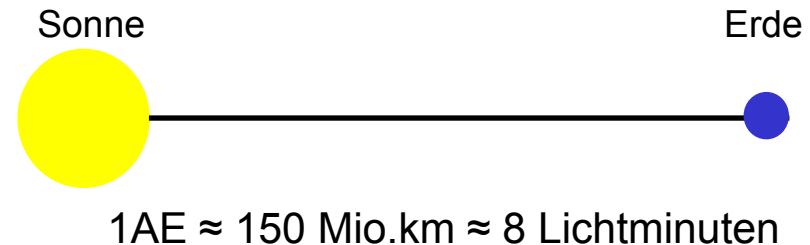
$$M_F = 0,00096 \cdot M_A = 318 \cdot M_D$$

Zusammensetzung: Wasserstoff (und Helium)

Temperatur -108°C (Erde $\sim +14^\circ\text{C}$)



- Astronomische Einheit (AE)

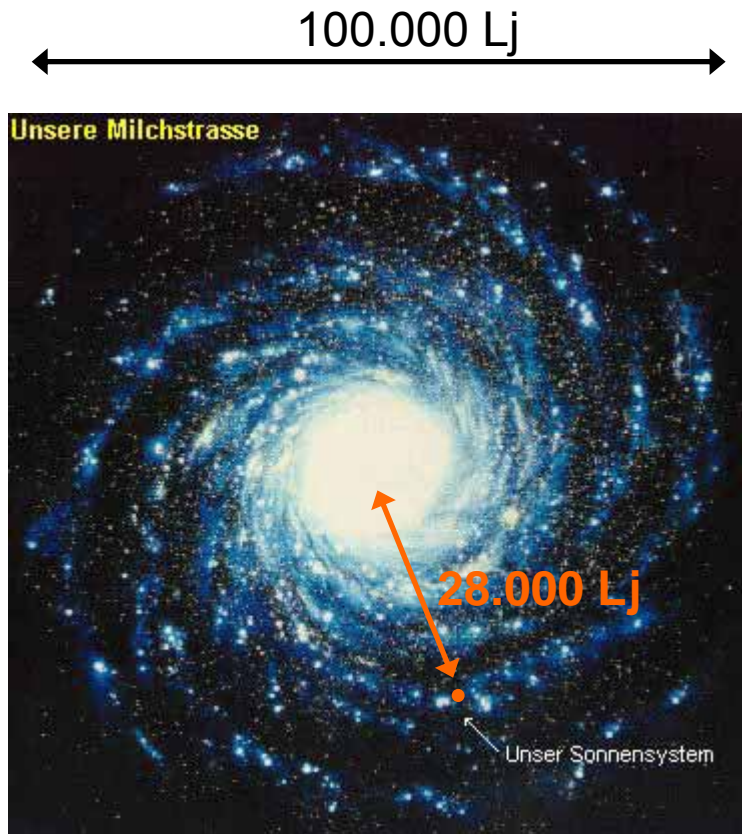


- Lichtjahr

$$1 \text{ Lj} = 9.400 \text{ Mrd. km}$$

(z. Vgl.: die Ausdehnung des Sonnensystem = 6,5 Lichtstunden)

Unser Sonnensystem in der Milchstraße



Die Milchstraße

- ist eine spiralförmige Galaxie
- enthält ca. 100 Mrd. Sterne
- hat einen Durchmesser von 100.000 Lj und eine Dicke von 15.000 Lj

Die Sonne

- ist ein ganz gewöhnlicher Stern
- ist ca. 28.000 Lj vom Zentrum entfernt
- besitzt neun Planeten
- einer davon (nämlich die Erde) ist bewohnt

Warum sollte es nicht auch bei einem anderen Stern Leben geben ?

Was sind extrasolare Planeten?

Extrasolare Planeten (kurz: Exoplaneten)
sind Planeten bei anderen Sternen



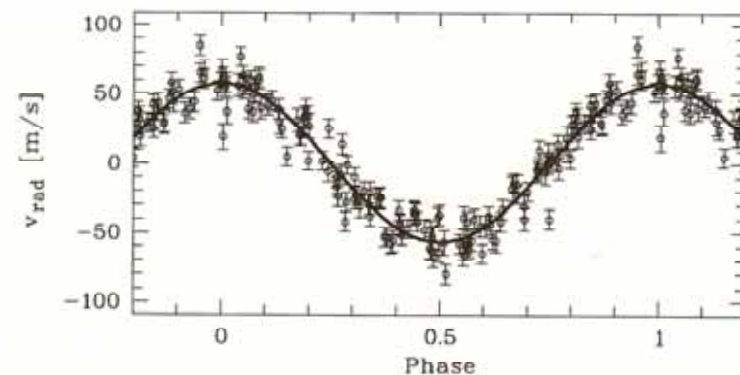
Entdeckung des ersten extrasolaren Planeten im Jahr 1995

1. Wie kann man sie entdecken ?

Die Suche nach extrasolaren Planeten

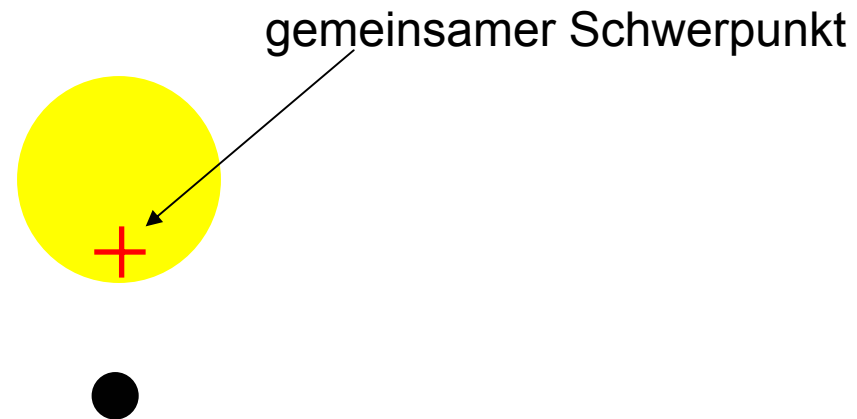
- **Pionier: Peter van de Kamp (1901-1995)**
 - 1937: Suche bei Barnards Stern
 - Systematische Fehler der Apparaturen zu groß
- **1992: Entdeckung des ersten extrasolaren Planeten**
Pulsar PSR1257+12: Frequenzänderungen nur durch Begleiter zu erklären
Entdeckung des ersten Exoplaneten, aber bei einem "falschen" Stern!
- **1995: 51Pegasi**
 - Masse $M = 0,5 \cdot M_F$
 - Umlaufzeit $P = 4,23$ Tage
 - Abstand $a = 0,05$ AE
d. h. näher als Merkur!

Heutige Daten (nach 10 Jahren Meßzeit)



Radialgeschwindigkeitskurve von 51Peg
(nach M. Mayor und D. Queloz, Genf)

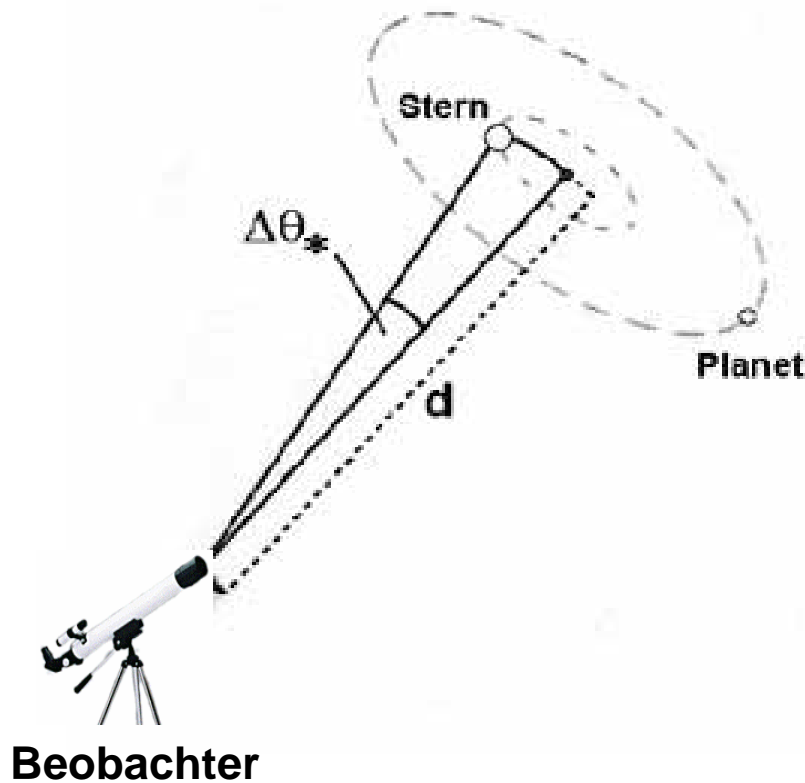
Wie kommt die Schlingerbewegung des Sterns zustande?



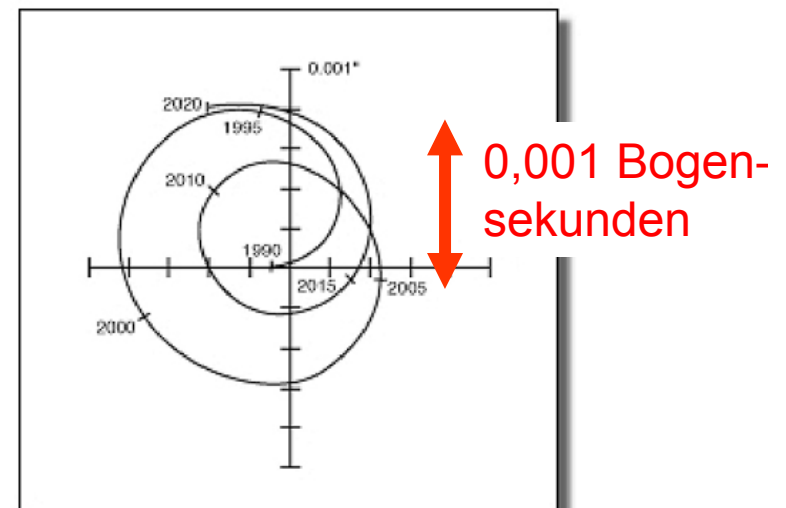
Der Stern und sein Begleiter drehen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt

1. Astrometrie (= Positionsmessung)

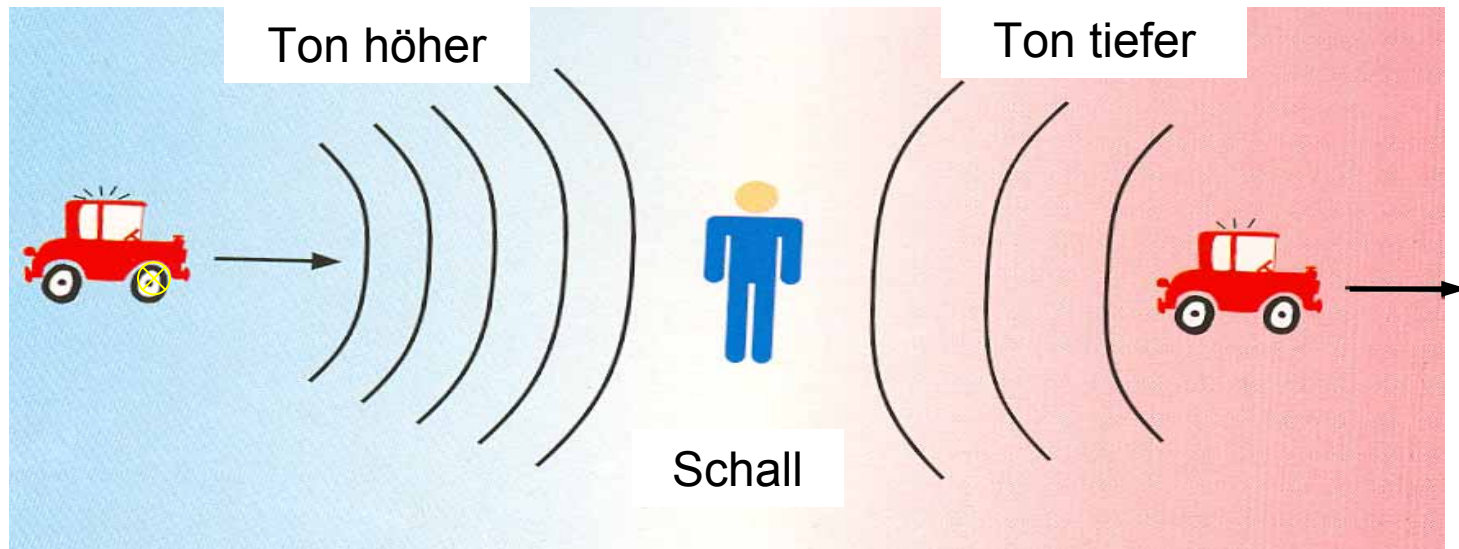
Nachweis der Schlingerbewegung des Sterns durch wiederholte präzise Vermessung des Sternorts erlaubt Nachweis "unsichtbarer" Begleiter



Astrometrische Verschiebung der Sonne durch Jupiter aus 30 Lj Entfernung

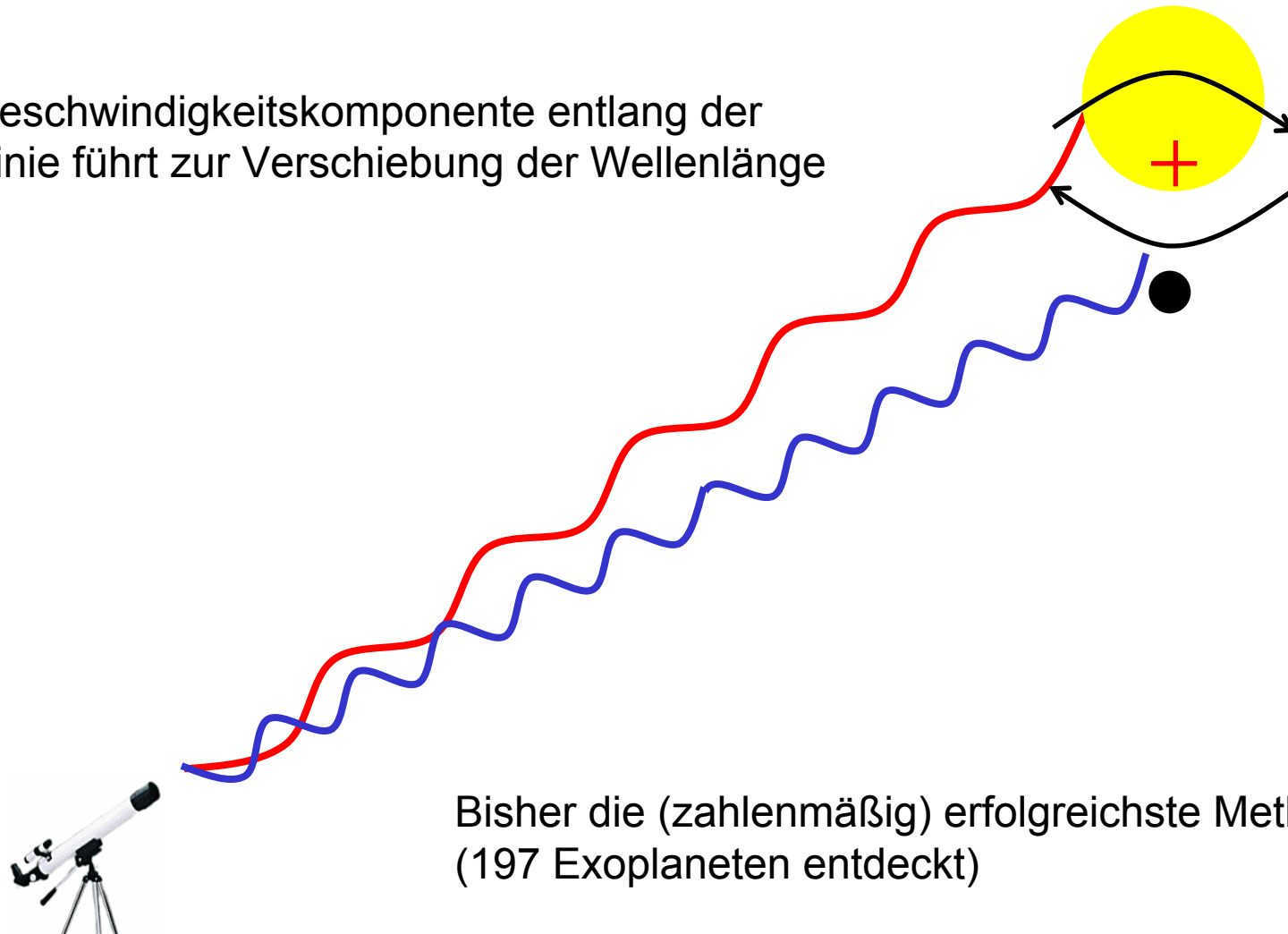


2. Radialgeschwindigkeitsmessung (Änderung der Wellenlänge)



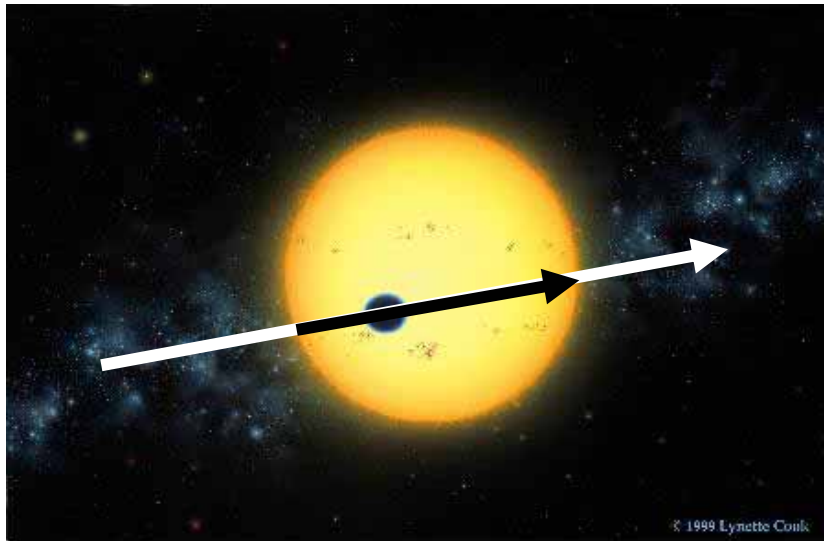
2. Radialgeschwindigkeitsmessung (Änderung der Wellenlänge)

Die Geschwindigkeitskomponente entlang der Sichtlinie führt zur Verschiebung der Wellenlänge



Bisher die (zahlenmäßig) erfolgreichste Methode
(197 Exoplaneten entdeckt)

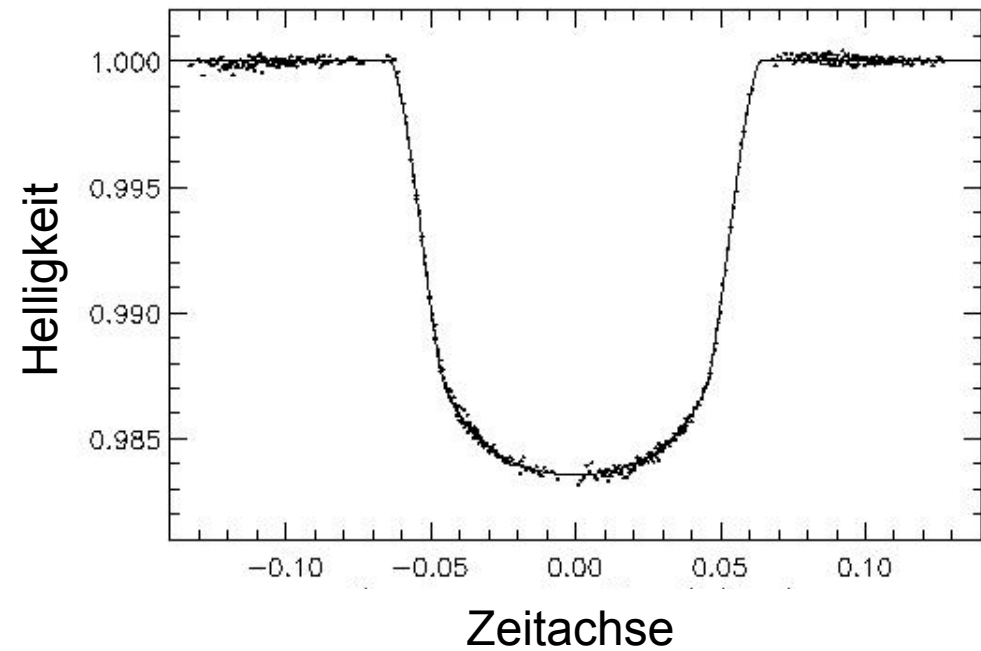
3. Durchgang (Transitmethode)



Vgl. Venus-Durchgang am 8. Juni 2004

Abschwächung der Helligkeit

$$\left(\frac{R_{\text{Planet}}}{R_{\text{Stern}}}\right)^2$$



2. Was wissen wir heute über Exoplaneten ?

Geschichte der Entdeckungen und Resultate im Überblick

1995: 1. Exoplanet bei "normalen" Stern
1999: 1. Planetensystem
2000: 1. Durchgang, 1. Masse bestimmt
2002: 1. Entdeckung mittels Transit
2006: 1. Exoplanet mit ~ 2 Erdmassen
2007: 1. Exoplanet in offenem Sternhaufen

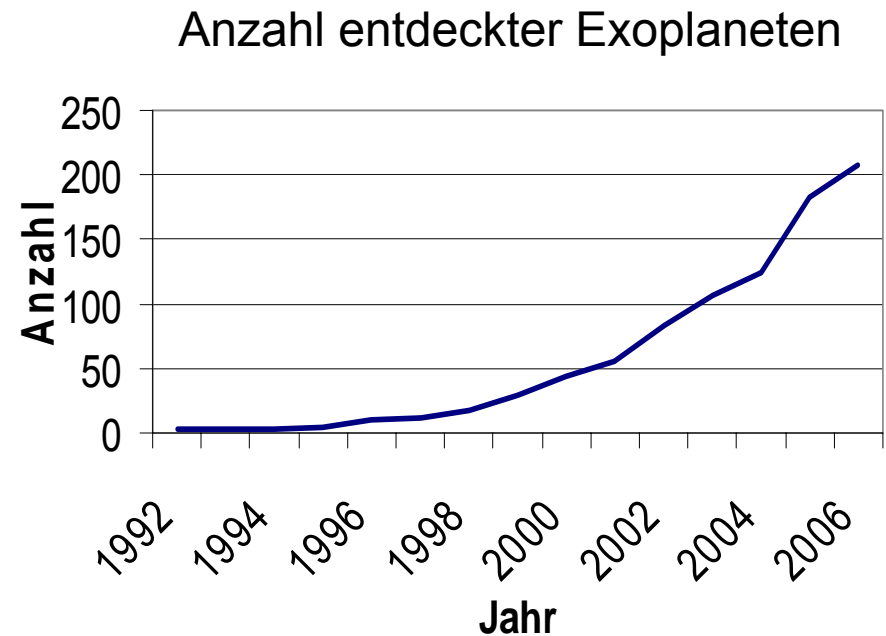
Wir kennen heute

212 Planeten

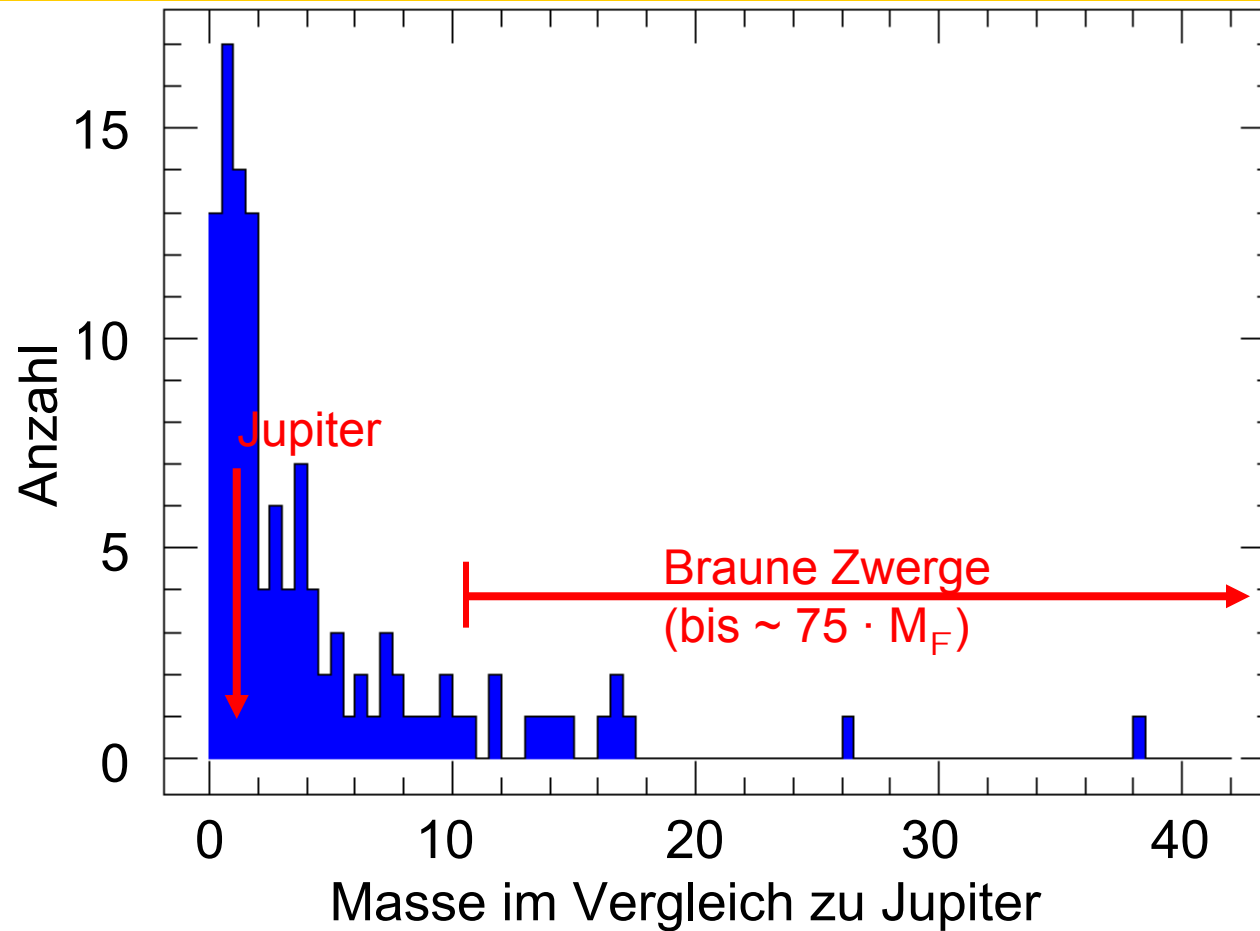
169 Planetensysteme

- davon 21 mit mehreren Planeten
- Maximalzahl: 4 Planeten (55Cnc)

Stand: 28. 2. 2007

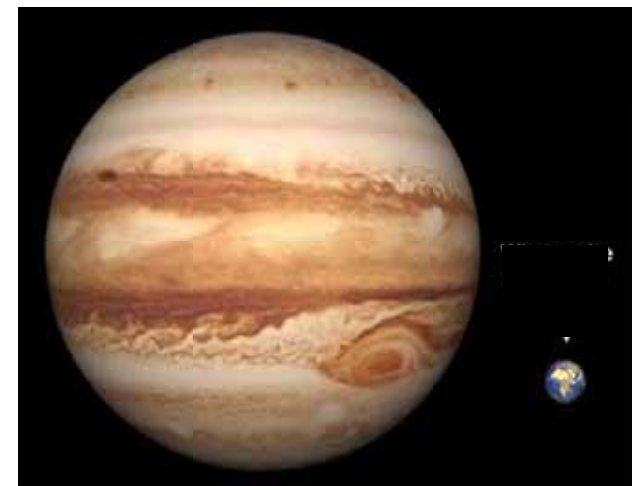


Ergebnisse-1: Masse der Planeten

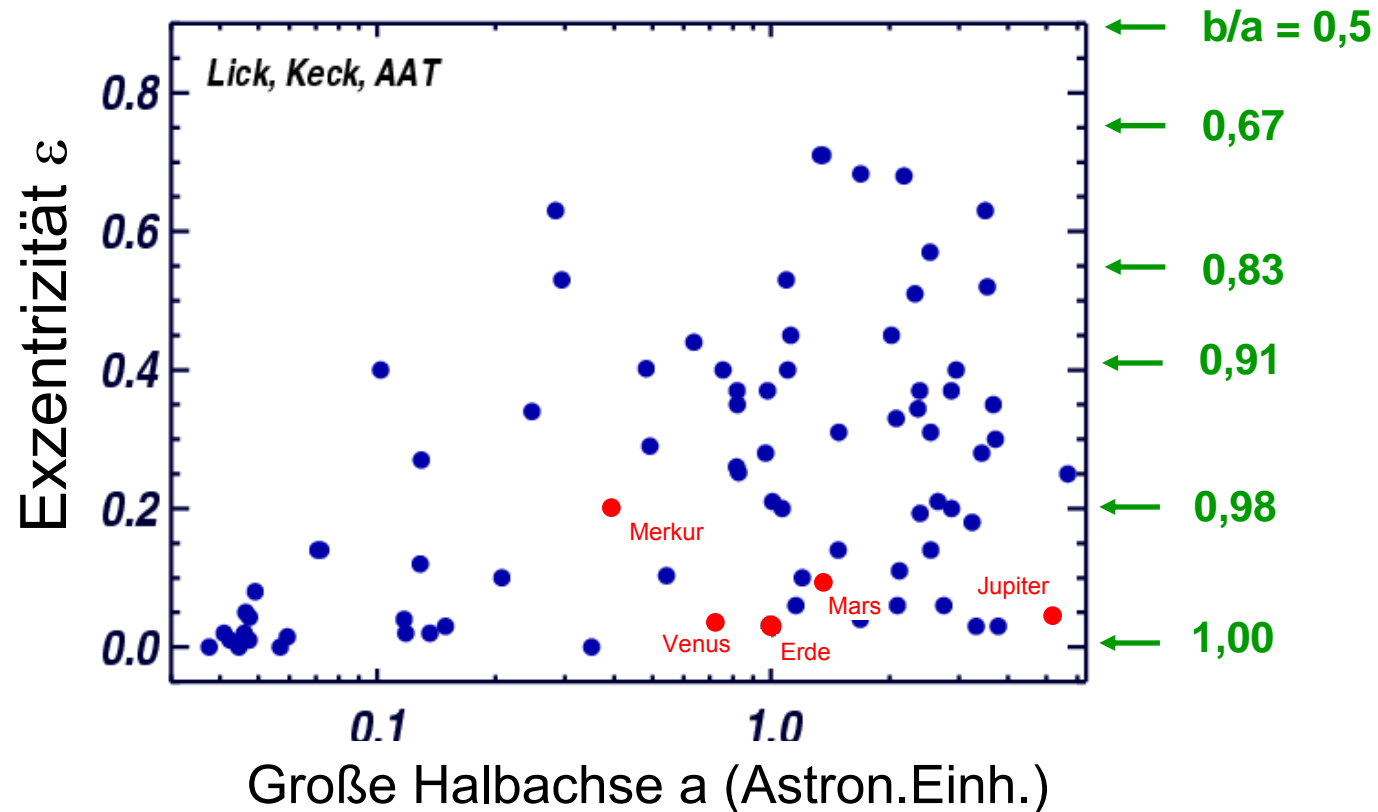
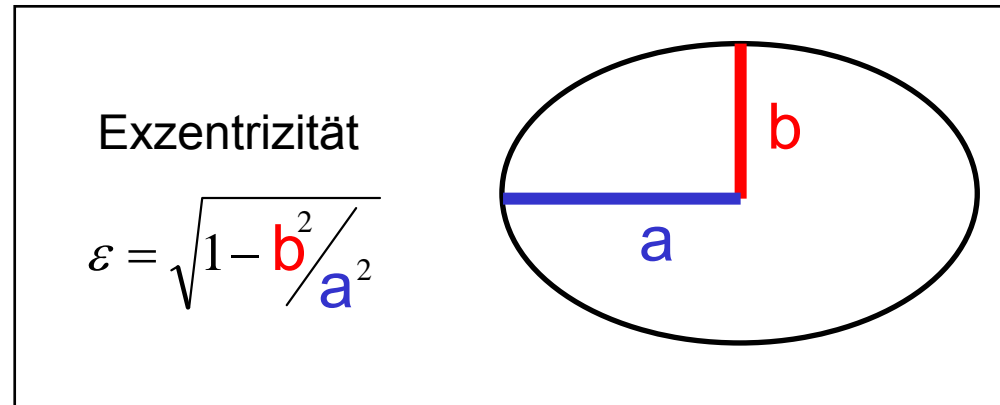


Alle Methoden begünstigen die Entdeckung von

- massereichen Planeten
- sehr großen Planeten

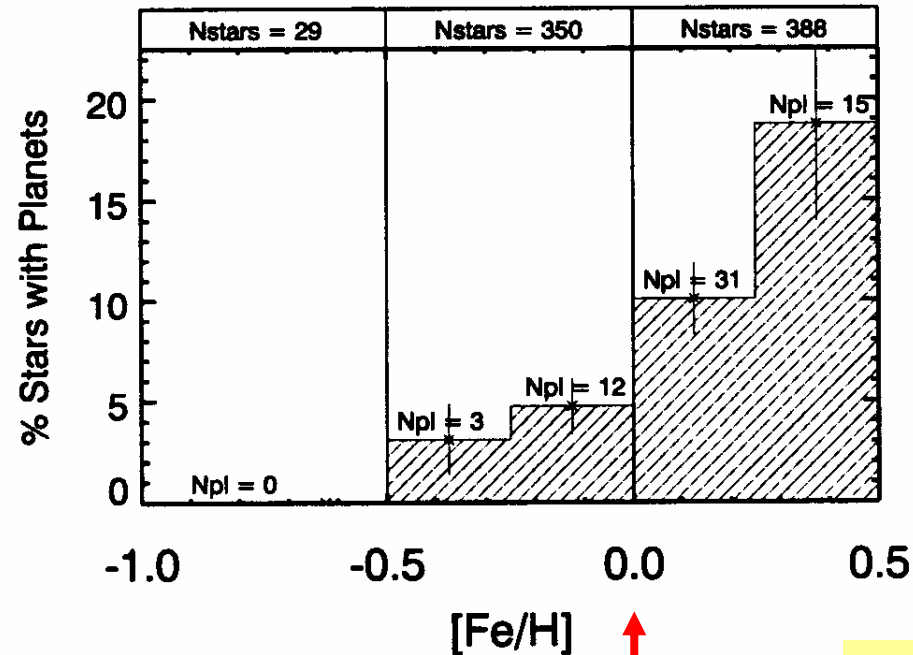


Ergebnisse-2: Verteilung der Bahnelemente



Ergebnisse-3: Eisen führt zu mehr Trabanten

Empirischer Befund:



N. Santos et al.,
Science 310, 253 (2005)

[Fe/H] = 0,0 : wie Sonne
= 0,5 : 3 mal mehr
= -0,5 : 3 mal weniger

Bestätigt Theorie:

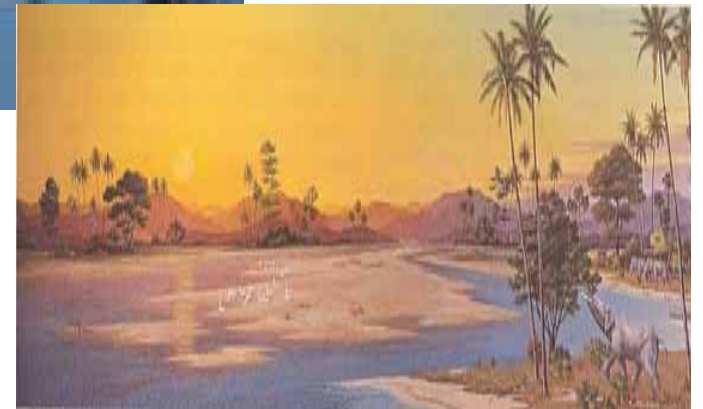
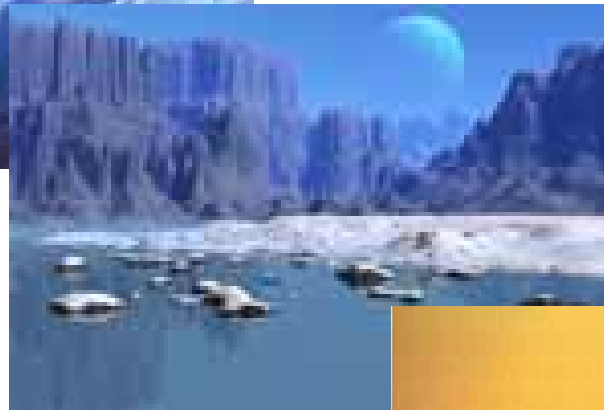
Schwere Elemente als Kondensationskerne (Staubteilchen, Gas, Gesteinsbrocken)

Problem:

- * Entsprechend diesem Trend sollten 10% der Sterne in den Hyaden Planeten besitzen.
- * Es wurden aber bisher keine gefunden! (Paulson et al., 2004: 100 Sterne, 5 Jahre Beobachtung)

3. Gibt es Leben auf Exoplaneten?

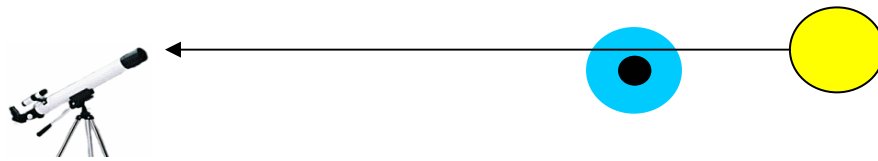
Woher wissen wir, wie es auf einem Exoplaneten aussehen könnte?



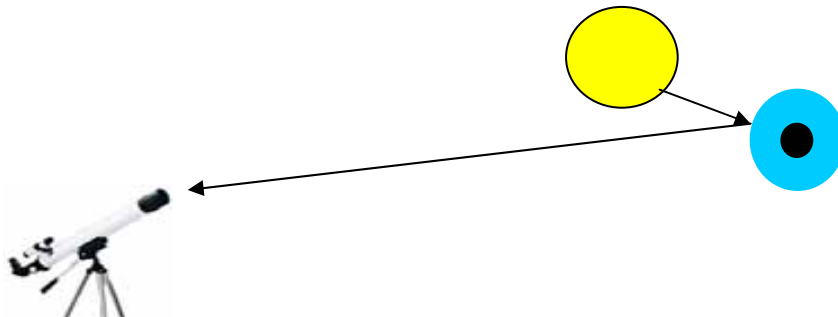
Wie können wir etwas über die Atmosphäre von Exoplaneten erfahren ?

Nachweis chemischer Elemente durch *Spektralanalyse*:

- charakteristische Abschwächung von Licht bei bestimmten Farben
- Vergleich von Spektren (z.B. Hubble) während bzw. vor/nach Durchgang



Im sichtbaren und ultravioletten Bereich
→ Elemente Na, H, O, C, ...



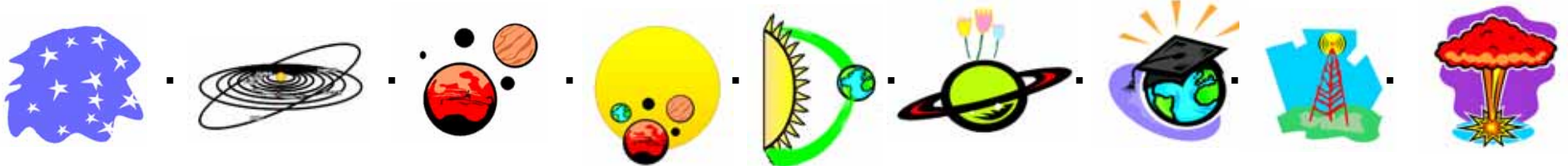
Analyse der Abnahme der Intensität im Infrarot-Bereich
→ Wasser, Temperatur

Leben in der Milchstraße?

- Die Frage nach Leben ist extrem komplex
- Abschätzung durch Aufspaltung in einzelne Wahrscheinlichkeiten

Zahl der kommunizierenden Zivilisationen =

$$N_* \cdot f_{\text{Planet}} \cdot N_{\text{Planet}} \cdot f_{\text{erdähnlich}} \cdot f_{\text{habitabel}} \cdot f_{\text{Leben}} \cdot f_{\text{Intelligenz}} \cdot f_{\text{Technik}} \cdot L/L_{\text{Milchstraße}}$$



	N_{Stern}	f_{Planet}	N_{Planet}	$f_{\text{erdähnlich}}$	$f_{\text{habitabel}}$	f_{Leben}	$f_{\text{Intelligenz}}$	$f_{\text{Technologie}}$	L/L_{MW}	Anzahl der kommunizierenden Zivilisationen
optimistisch	$4 \cdot 10^{11}$	1	40	1	0,25	1	1	1	0,1	$4 \cdot 10^{11}$
realistisch (?)		0,1	10	0,1	0,05	10^{-3}	0,1	1	10^{-5}	2
pessimistisch		0,01	2	0,01	0,01	10^{-6}	0,01	0,1	10^{-8}	$1 \cdot 10^{-11}$

- N.B.: wir kennen bereits **eine** solche Zivilisation
- Faktoren sehr unsicher bzw. völlig unbekannt, aber prinzipiell aus Beobachtungen ableitbar

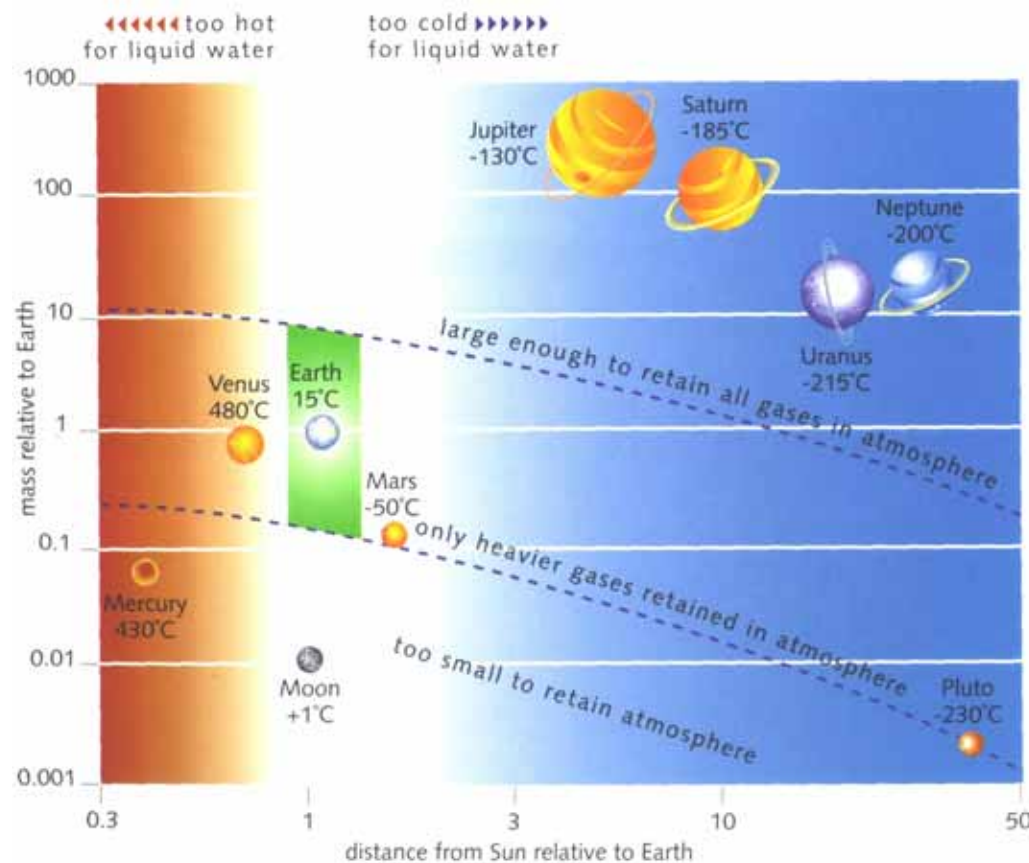
Voraussetzungen für die Entstehung von Leben – Beispiel: Erde

- **Stern:**
 - Stern auf "Hauptreihe" (Wasserstoffbrennen)
 - "mittelgroße" Masse (Leuchtkraft, Alter [~10 Mrd. Jahre])
 - ausreichende Konzentration von Kohlenstoff (oder Schwefel?)
- **Planet:**
 - Existenz von Planeten im richtigen Abstand (habitable Zone)
 - Atmosphäre (Schutz vor Strahlung! Einschlag von Meteoriten!), chem. Zusammensetzung (Wasser!), Temperatur
 - "geeignete" Gravitation
 - darf während der Entstehung nicht zum Gasriesen werden
 - "mechanische" Stabilität der Lebewesen ist begrenzt
 - komplizierte Regelkreise (Plattentektonik, Austausch Erdinneres mit Atmosphäre und Meeren)
- **Weitere Himmelskörper:**
 - Mond (?) stabilisiert die Lage der Erdachse (Jahreszeiten), sorgt für Gezeiten
 - Jupiter (!) wirkt als Staubsauger des Sonnensystems

Habitable Zone

Der Bereich, in dem irdisches Leben möglich ist

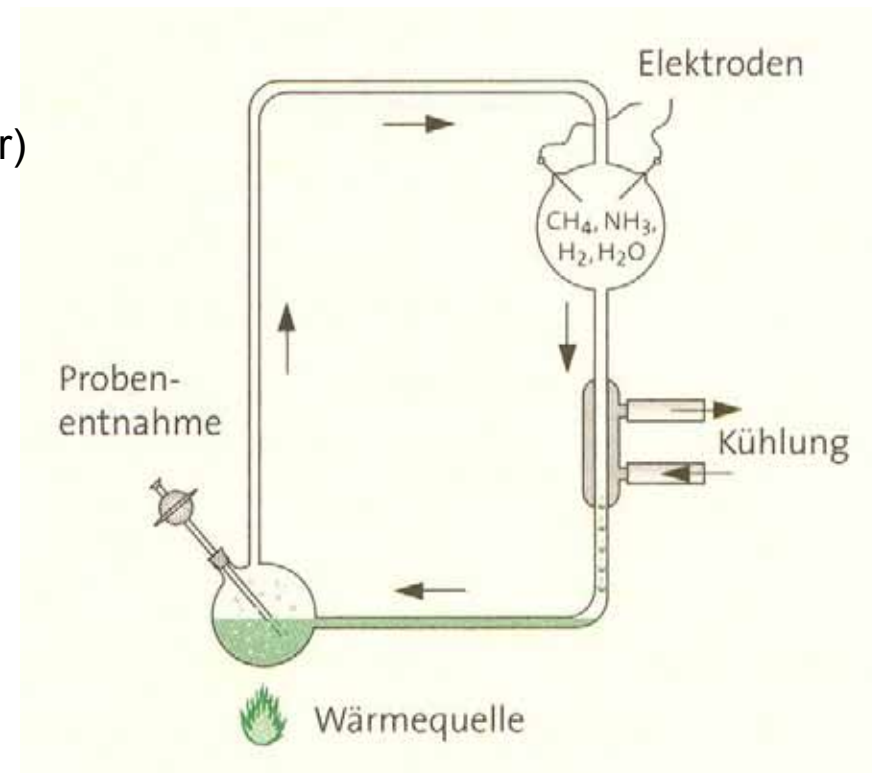
- T, p so, daß flüssiges Wasser existieren kann (~0...100°C)
- CO₂-Partialdruck $\geq 10^{-5}$ bar (Photosynthese der C4-Pflanzen)
- geodynamische Prozesse, Oberflächenbeschaffenheit (Kontinente), Zusammensetzung der Atmosphäre (Wasser, Treibhausgase)



Das Miller-Urey-Experiment im Herbst 1952 *

Kann "Leben" aus "toter Materie" entstehen?

- **Simulation der Uratmosphäre:**
Methan, Ammoniak, Wasserstoff, Wasser
Energie: thermisch (Sonne), elektrisch (Gewitter)
- **Ergebnis:**
einfache organische Verbindungen wie
Aminosäuren (Glycin, Ameisen-, Essig-,
Milchsäure,...)
- **Folgerungen**
Beweis, daß sich in der frühen Erdatmosphäre
organische Moleküle bilden **konnten**(!)
- **Konsequenz:**
Präbiotische Chemie, experimentelle Abiogenese



* Stanley **Miller**, Harold **Urey** (Universität Chicago):

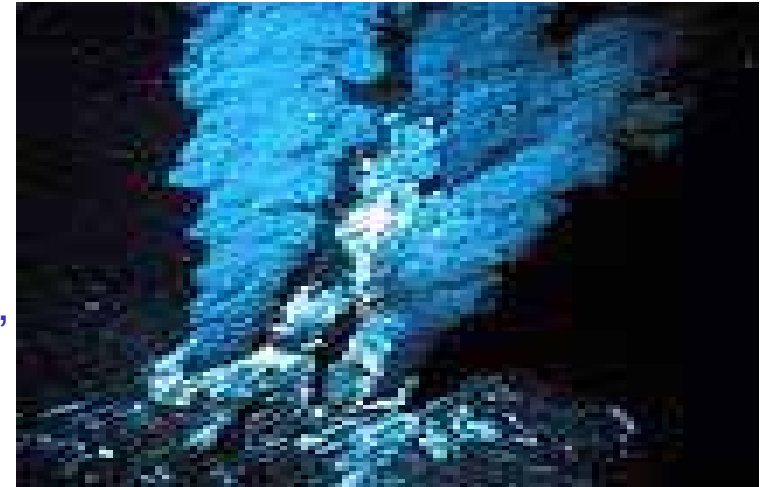
A production of amino acids under possible primitive earth conditions. *Science* 117, 528-529 (1953)

"Herstellung von Aminosäuren unter möglichen Bedingungen einer einfachen Erde"

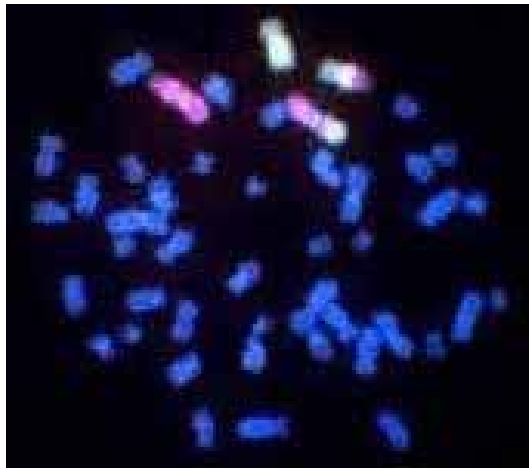
Gibt es andere Lebensformen ?

Im Jahr 1977 wurden in 2500 m Tiefe
schornsteinartige heiße Quellen entdeckt

Die "schwarzen Schlote" bilden sich an Stellen,
an denen sich der Ozeanboden aufspreizt,
Magma dringt aus der Tiefe des Erdmantels

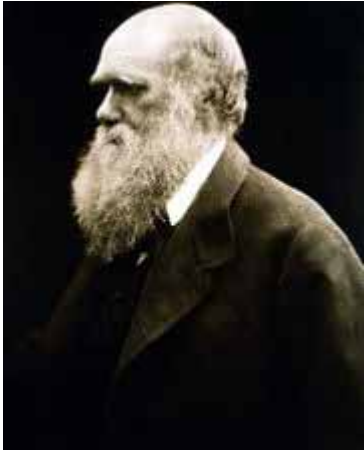


1200°C heißes Wasser, reich an Eisen,
Schwefel, Kohlenmono- und -dioxid, Wasserstoff,



.....und zur Überraschung aller:
Viren, Bakterien, Einzeller

Annahmen der Evolutionstheorie



Charles Darwin
(1809 - 1882)

Englischer Naturforscher,
Begründer der Evolutions-
theorie

Darwins Theorie basiert auf vier Pfeilern:

- Veränderlichkeit:
Die Welt ist nicht unveränderlich, sondern unterliegt einem kontinuierlichen Veränderungsprozess.
- Gemeinsame Abstammung:
Alle Organismen stammen durch einen kontinuierlichen Verzweigungsprozess von gemeinsamen Vorfahren ab.
- Allmählichkeit der Evolution:
Die Evolution erfolgt stets allmählich und nicht in Sprüngen.
- Natürliche Auslese:
Die am besten angepassten Individuen zeugen am meisten Nachkommen, dadurch werden schlechter Angepasste verdrängt. Abänderungen, welche weder vorteilhaft noch von Nachteil sind, werden von diesem Prozess nicht berührt.

....oder hat alles **so** angefangen?



Also gibt es jetzt die grünen Männchen oder nicht ?

- Weltbilder:

- religiös begründet:

die Erde ist Mittelpunkt der Welt

- Diskrepanz zwischen Denken und Beobachtung (Kopernikus, Cusanus, Brahe, Galilei):

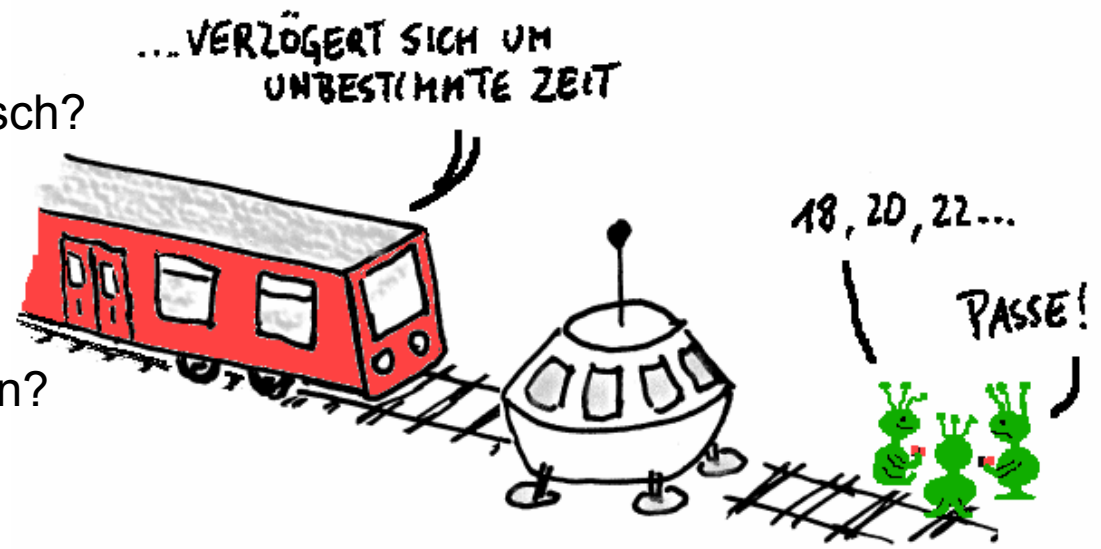
nicht die Erde, sondern die Sonne ist Mittelpunkt des Weltalls

- Kosmologisches Prinzip:

Isotropie und Homogenität des Universums: kein Ort ist ausgezeichnet

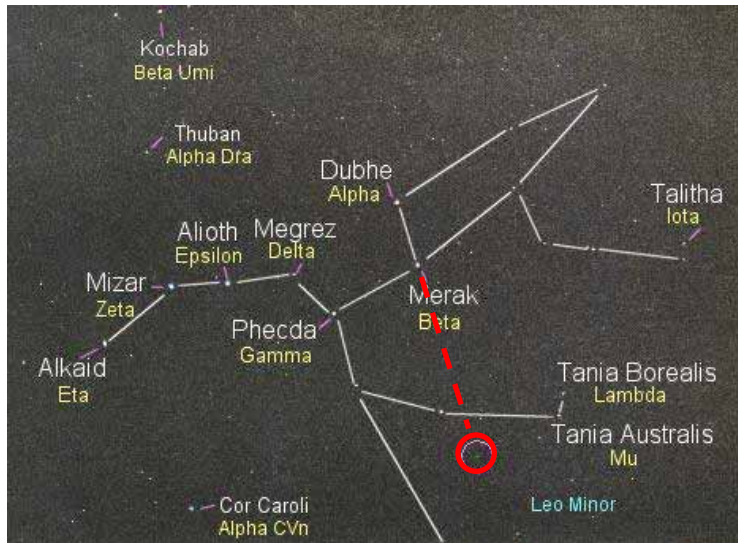
- Fragen:

- Ist das Sonnensystem typisch?
- Sind wir einmalig?
- Wie entsteht Leben?
- Können wir es finden?
- Wurden wir schon gefunden?

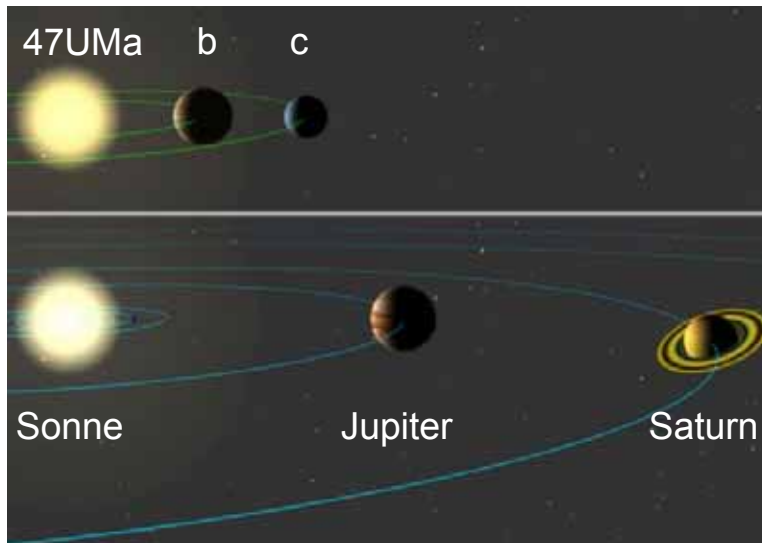


Wo kann man heute Abend Sterne mit Exoplaneten sehen?

Leicht zu finden ist z. B. das Exoplanetensystem um den Stern 47UMa (Ursae Majoris)



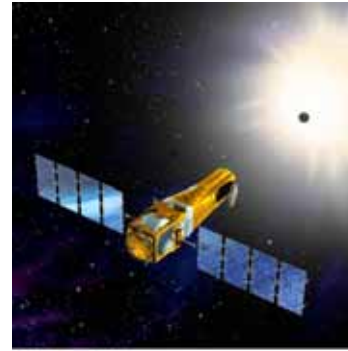
- Typ Gelber Zwerg
- Spektralklasse G0V (Hauptreihe)
- Entfernung 45 Lj
- Luminosität $1,54 \cdot L_A$
- Masse $1,03 \cdot M_A$
- Alter $(6,32 \pm 1)$ Ga



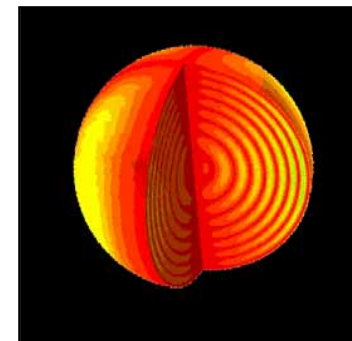
- | | 47UMa b | 47UMa c |
|------------------|---------|---------|
| • Entdeckung | 1996 | 2002 |
| • M/M_F | 2,5 | 0,8 |
| • Mittl. Abstand | 2,1AE | 3,7 |

Weltraummission zur Suche von "Exo-Erden": Ziele der Corot-Mission (gestartet am 27.12.2006)

- Suche nach (kleinen) extra-solaren Planeten
 - Periode, Größe, Masse, Abstand
 - Randverdunkelung



- Astro-Seismologie
 - innere Struktur (Strahlungs- und konvektive Zone)
 - Alter des Sterns
 - chemische Zusammensetzung



- erste Bilder existieren bereits

Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

- Das Planetensystem der Sonne ist eines von vielen (5...10 % der sonnenähnlichen Sterne besitzen Planeten)
- Ob es typisch ist oder nicht, kann gegenwärtig noch nicht entschieden werden (erdähnliche Planeten [Masse, Abstand zum Stern] können z. Z. noch nicht nachgewiesen werden; warum sind die Bahnen des Sonnensystems nahezu kreisförmig?)
- Zumindest gibt es eine viel größere Vielfalt als erwartet
- Die Suche nach erdähnlichen Planeten kann bald beginnen
- Weltraumteleskope werden empfindlichere Beobachtungen ermöglichen
- Weltbild im Aufbruch (Planetenforschung, -entstehung, Leben)

Einige web-links

- <http://vpl.ipac.caltech.edu/>
- <http://www.exoplanet.de/>
- <http://exoplanet.eu>
- <http://www.planeten.ch/>
- <http://www.mpia.de/EXTRA2005/>
- <http://exoplanets.org/>
- <http://www.daviddarling.info/encyclopedia>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/ESA>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Exoplanet>
- <http://www.astronews.com/links/forschung/esp.html>
- google, wikipedia,

