

Von Galilei bis Darwin: die Entdeckung extrasolarer Planeten

Christoph Scheidenberger



Was sind (extrasolare) Planeten? Unser Sonnensystem

Methoden zu Entdeckung und Nachweis extrasolarer Planeten

Exemplarische Ergebnisse der gesammelten Daten

Gibt es extraterrestrisches Leben?

Was geschah vor 400 Jahren?

In Gießen wurde die heutige Justus-Liebig-Universität gegründet



In Italien entwickelte Galileo Galilei sein Fernrohr



1564 – 1642

Italienischer Mathematiker,
Physiker und Astronom

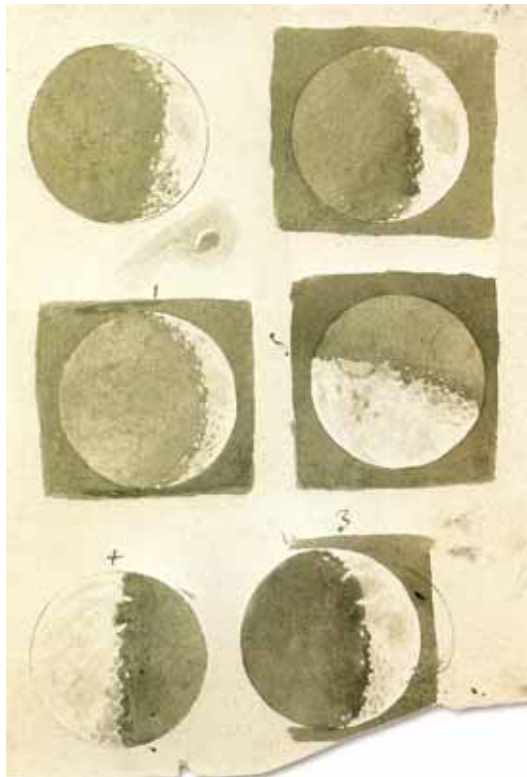


Was geschah vor 400 Jahren?

In Gießen wurde die heutige Justus-Liebig-Universität gegründet



In Italien entwickelte Galileo Galilei sein Fernrohr

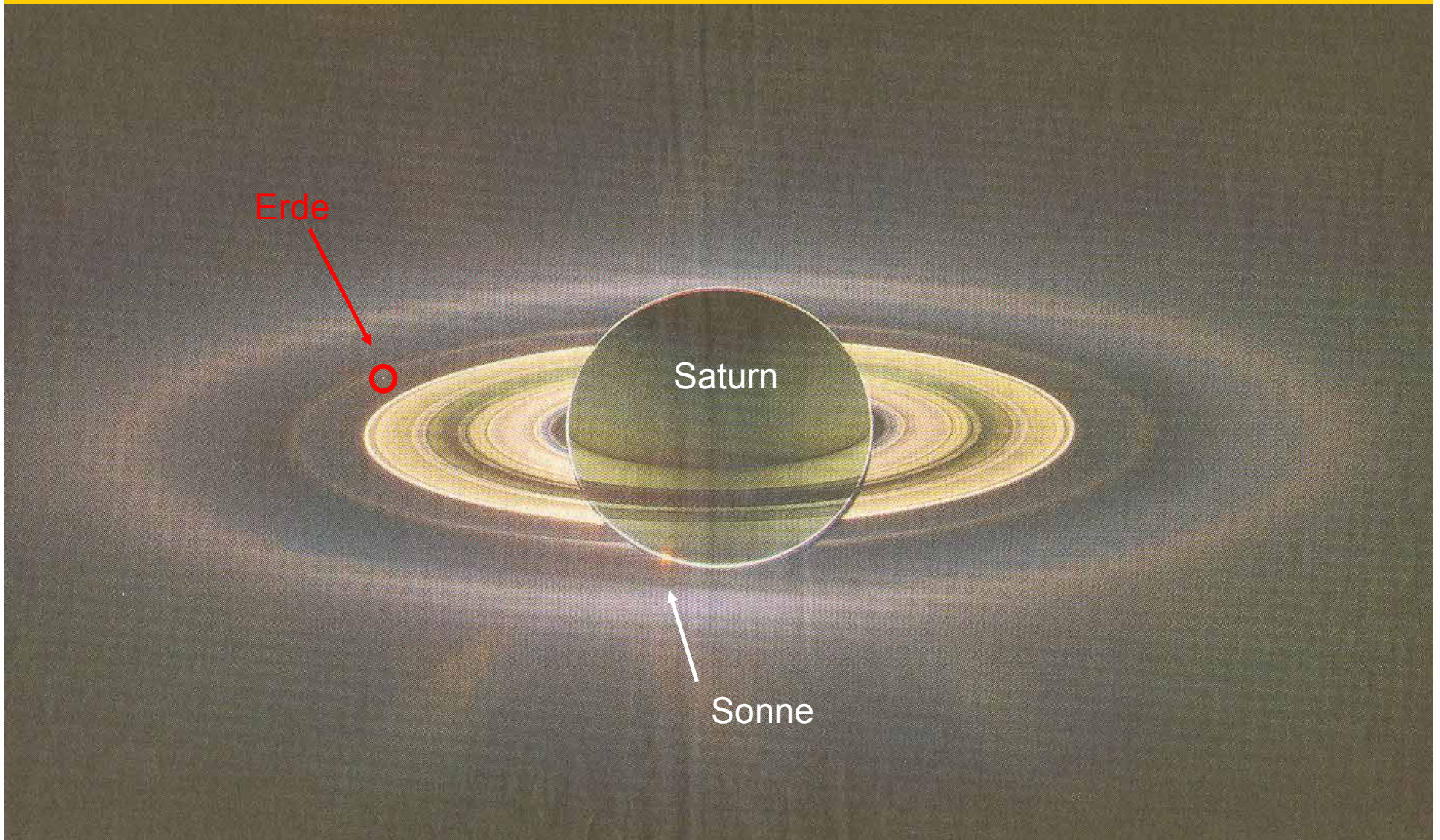


Galileo beobachtete die Schatten der Mondgebirge
er entdeckte die 4 inneren Monde des Jupiter (Io, Europa, Gany-
er beschrieb die Ringe des Saturn ("Ohren") med, Kallisto)
und er behauptete (entgegen der Lehrmeinung der Kirche):

- die Sonne steht im Mittelpunkt des Planetensystems
- die Erde ist ein Planet wie Merkur, Venus und Mars
- alle Körper im Weltall bewegen sich nach festen Gesetzen

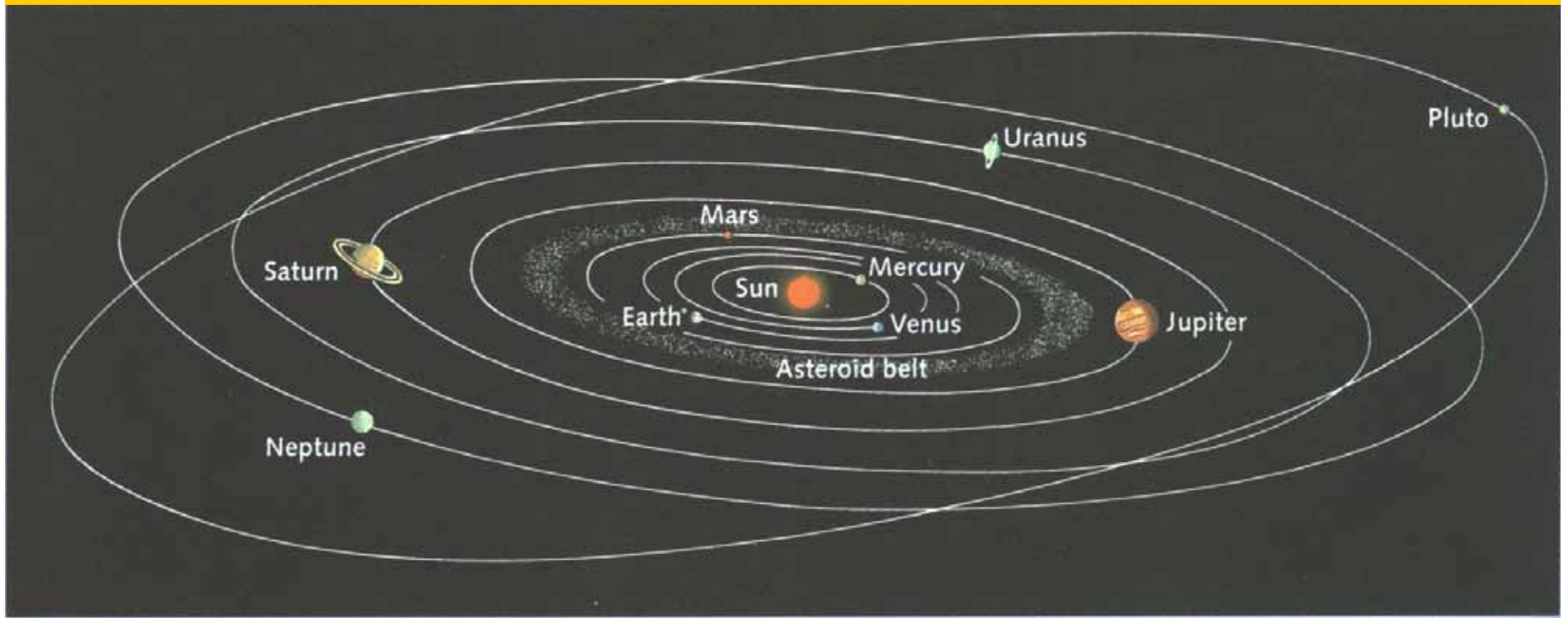
Er wurde verurteilt und mußte widerrufen, trotzdem blieb er bei
seiner Überzeugung: "... uns sie (die Erde) bewegt sich doch..."

Unser heutiges Bild: Sonne, Saturn, Erde



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

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

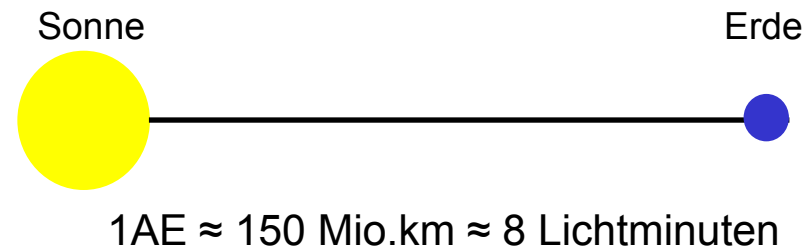
$$M_J = 0,00096 \cdot M_A = 318 \cdot M_D$$

Zusammensetzung: Wasserstoff (und Helium)

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



- Astronomische Einheit (AE)

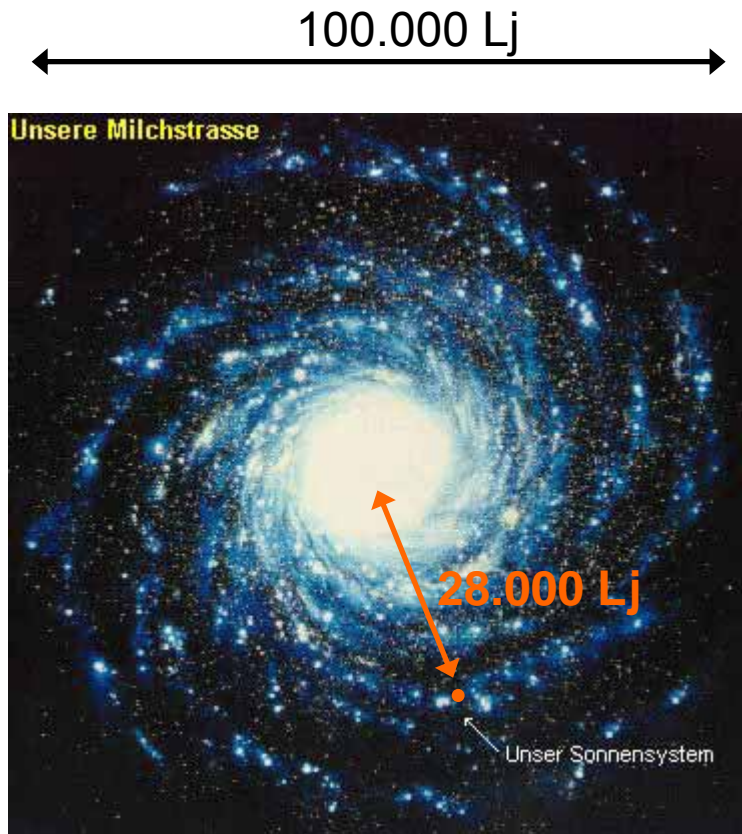


- Lichtjahr

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

(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

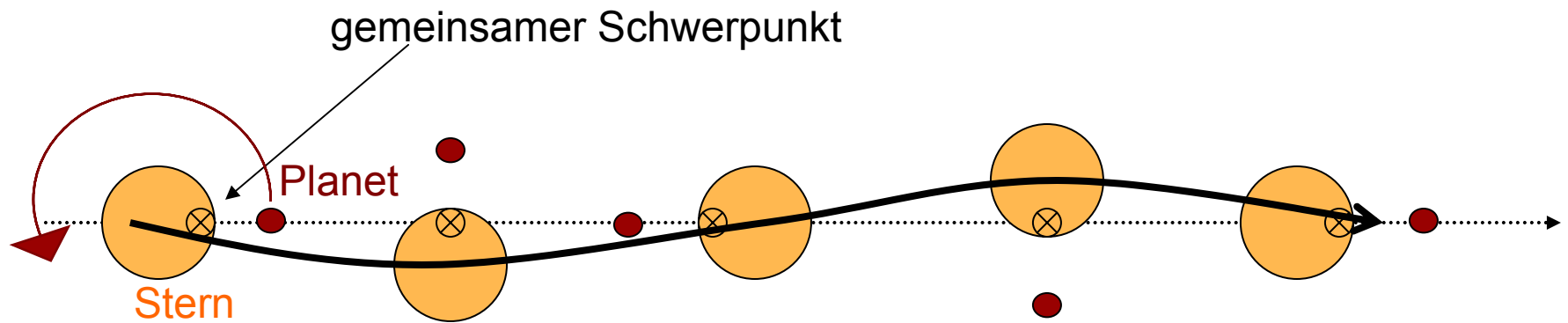


Entdeckung des ersten extrasolaren Planeten im Jahr 1995



1. Wie kann man sie entdecken ?

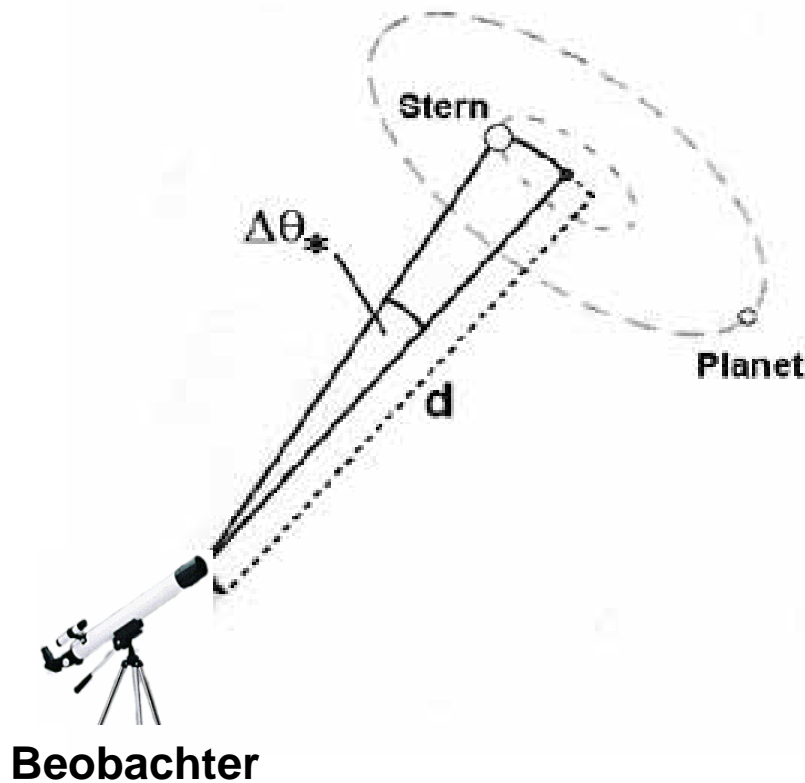
Wie kommt die Schlingerbewegung des Sterns zustande?



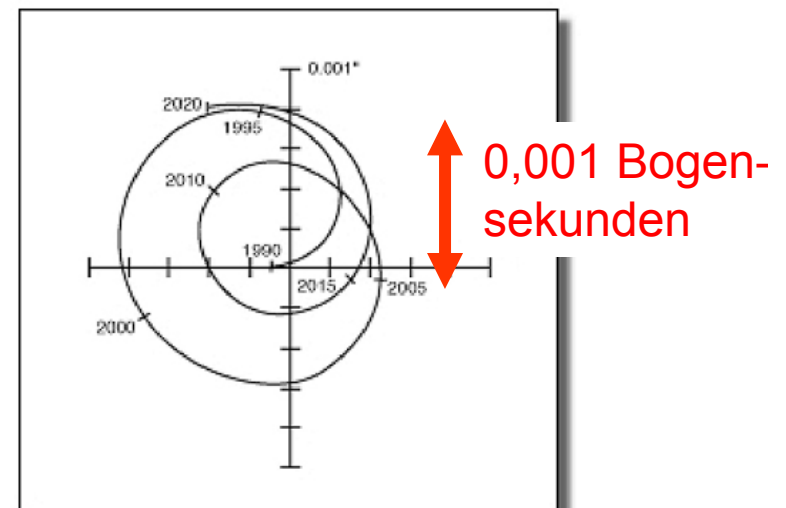
Der Stern und sein Begleiter drehen sich um den gemeinsamen Schwerpunkt

1. Astrometrie (= Positionsmessung)

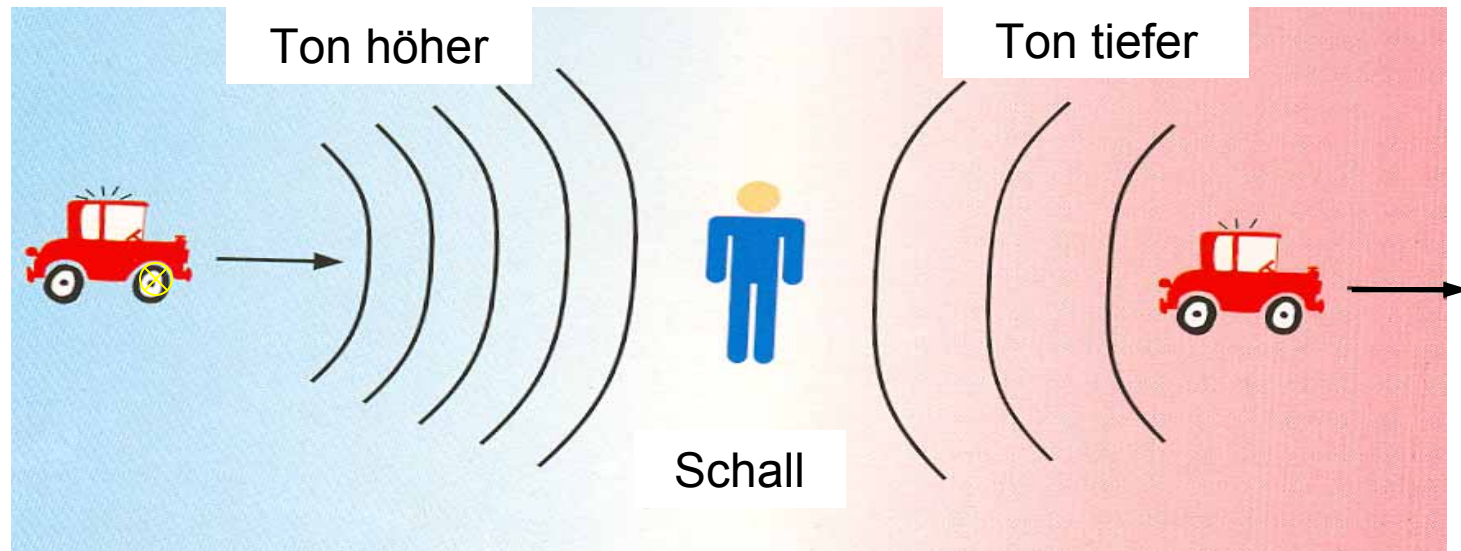
Nachweis der Schlingerbewegung des Sterns durch wiederholte präzise Vermessung des Sternorts erlaubt Nachweis "unsichtbarer" Begleiter



Astrometrische Verschiebung der Sonne durch Jupiter aus 30 Lj Entfernung

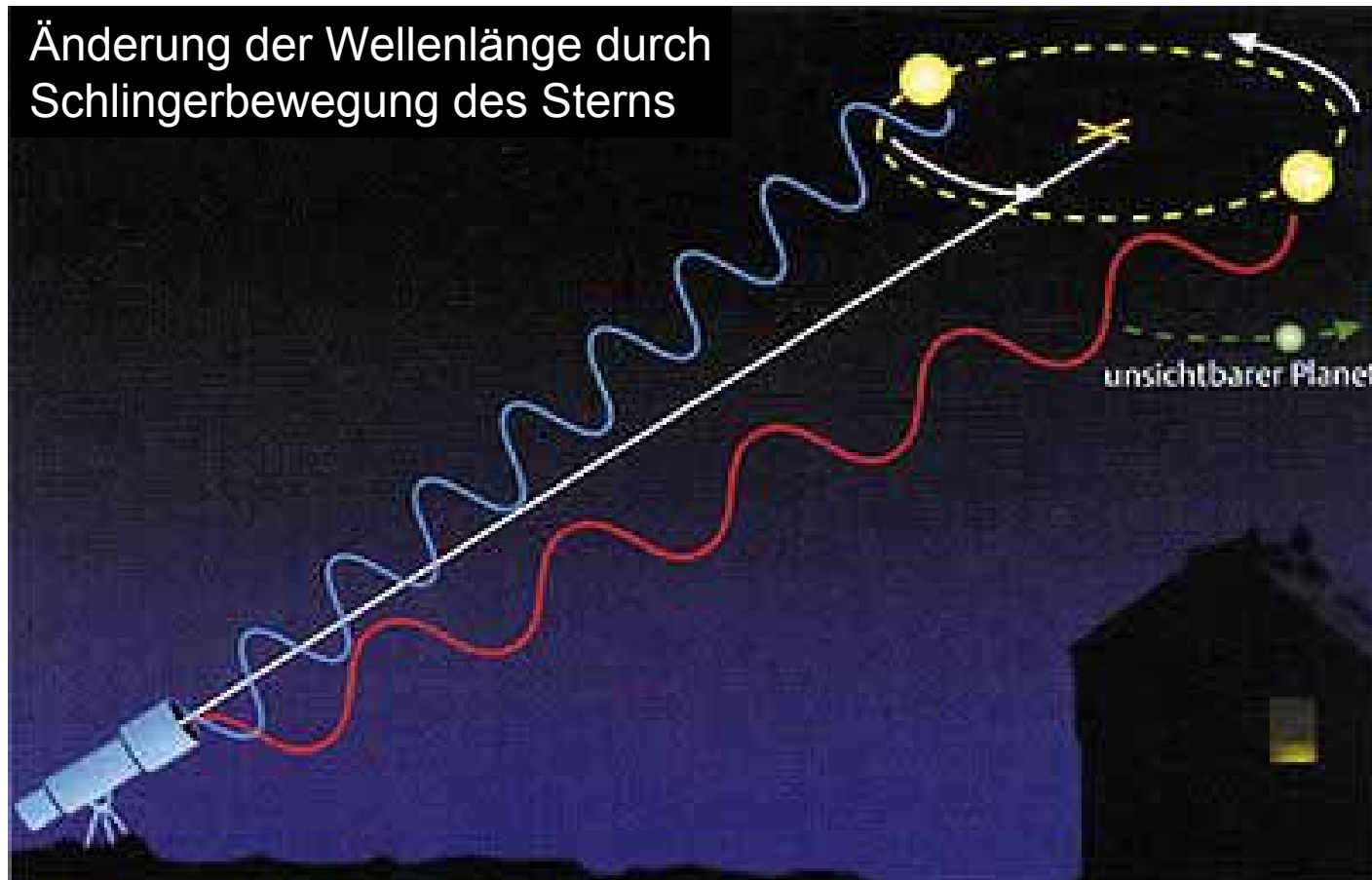


2. Radialgeschwindigkeitsmessung (Änderung der Wellenlänge)



Im Alltag kann man den zugrunde liegenden Effekt hören

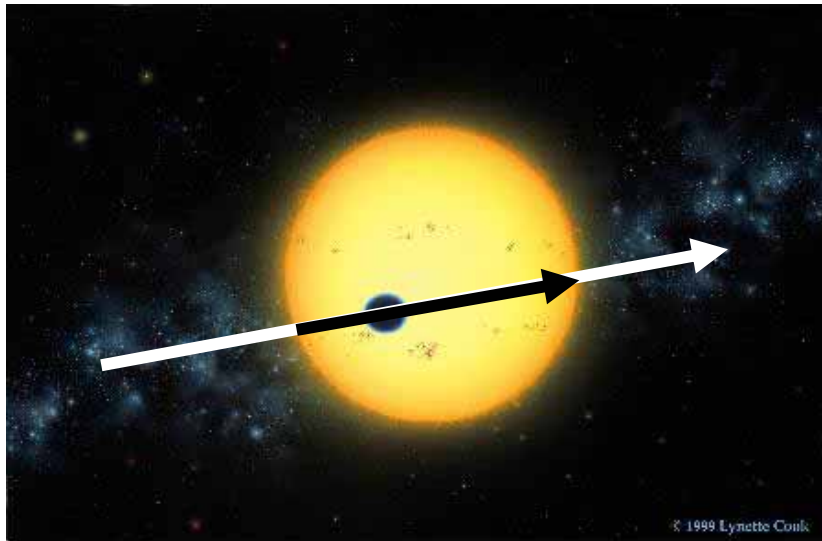
2. Radialgeschwindigkeitsmessung (Änderung der Wellenlänge)



Die Geschwindigkeitskomponente entlang der Sichtlinie führt zur Verschiebung der Wellenlänge

Bisher die (zahlenmäßig) erfolgreichste Methode (>196 Exoplaneten)

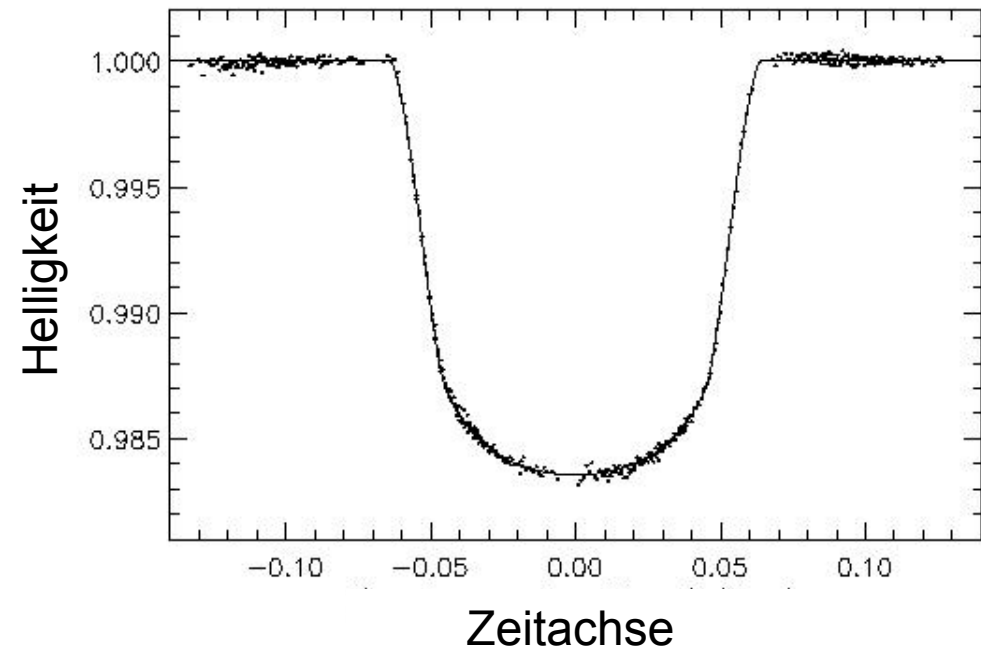
3. Durchgang (Transitmethode)



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

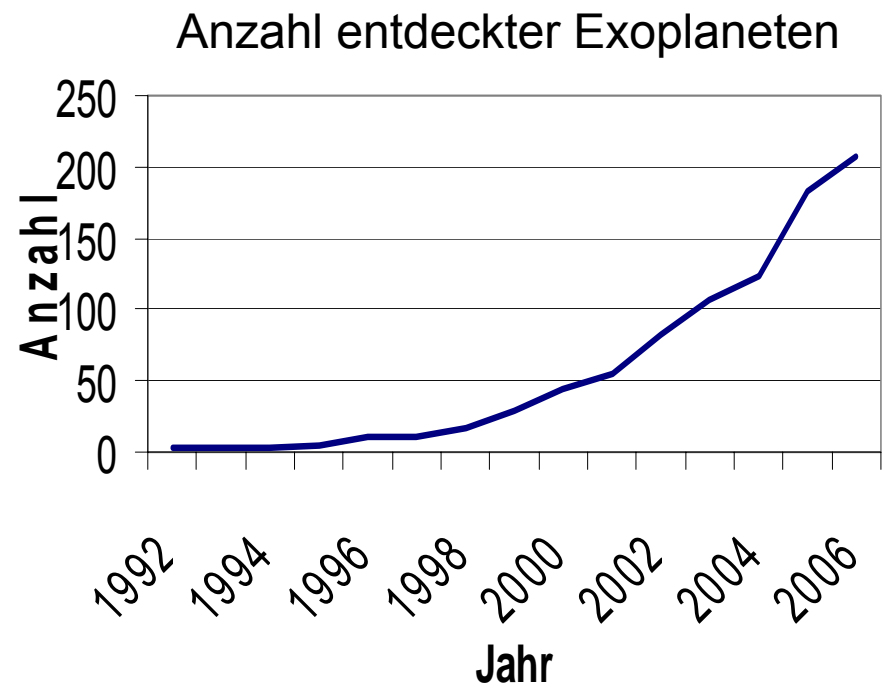
Wir kennen heute

209 Planeten

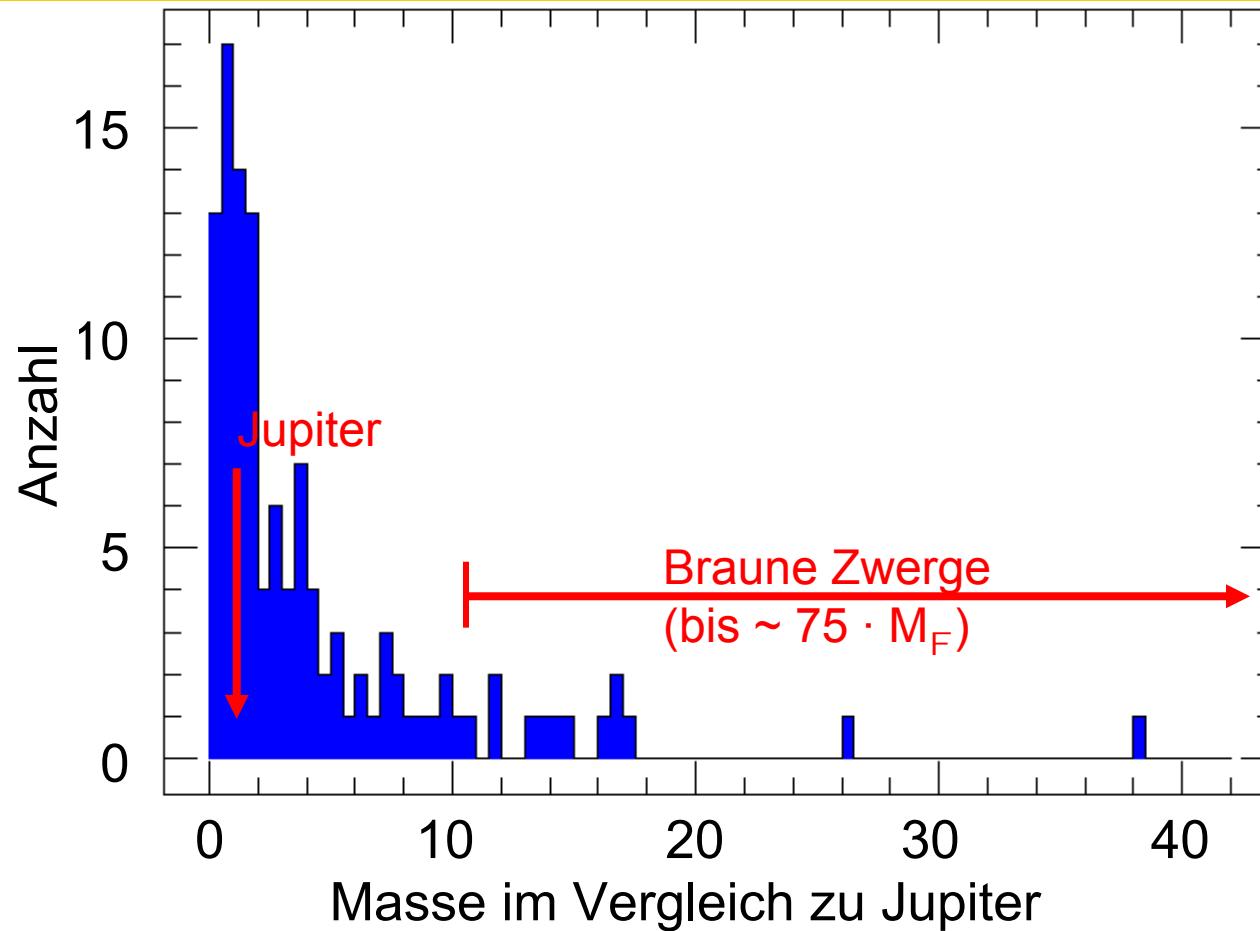
169 Planetensysteme

- davon 20 mit mehreren Planeten
- Maximalzahl: 4 Planeten (55Cnc)

Stand: Januar 2007

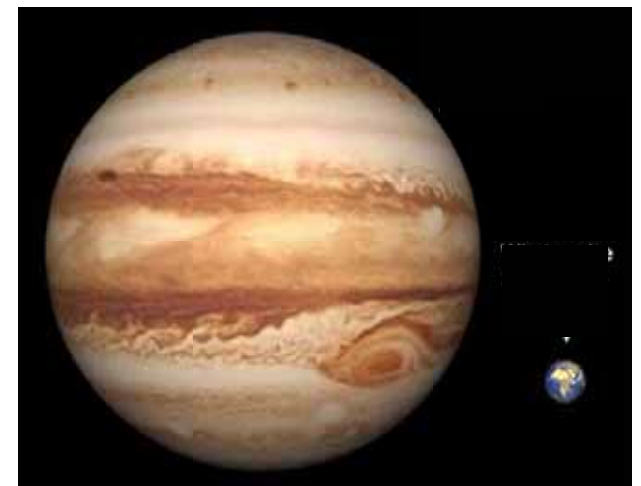


Ergebnisse-1: Masse der Planeten

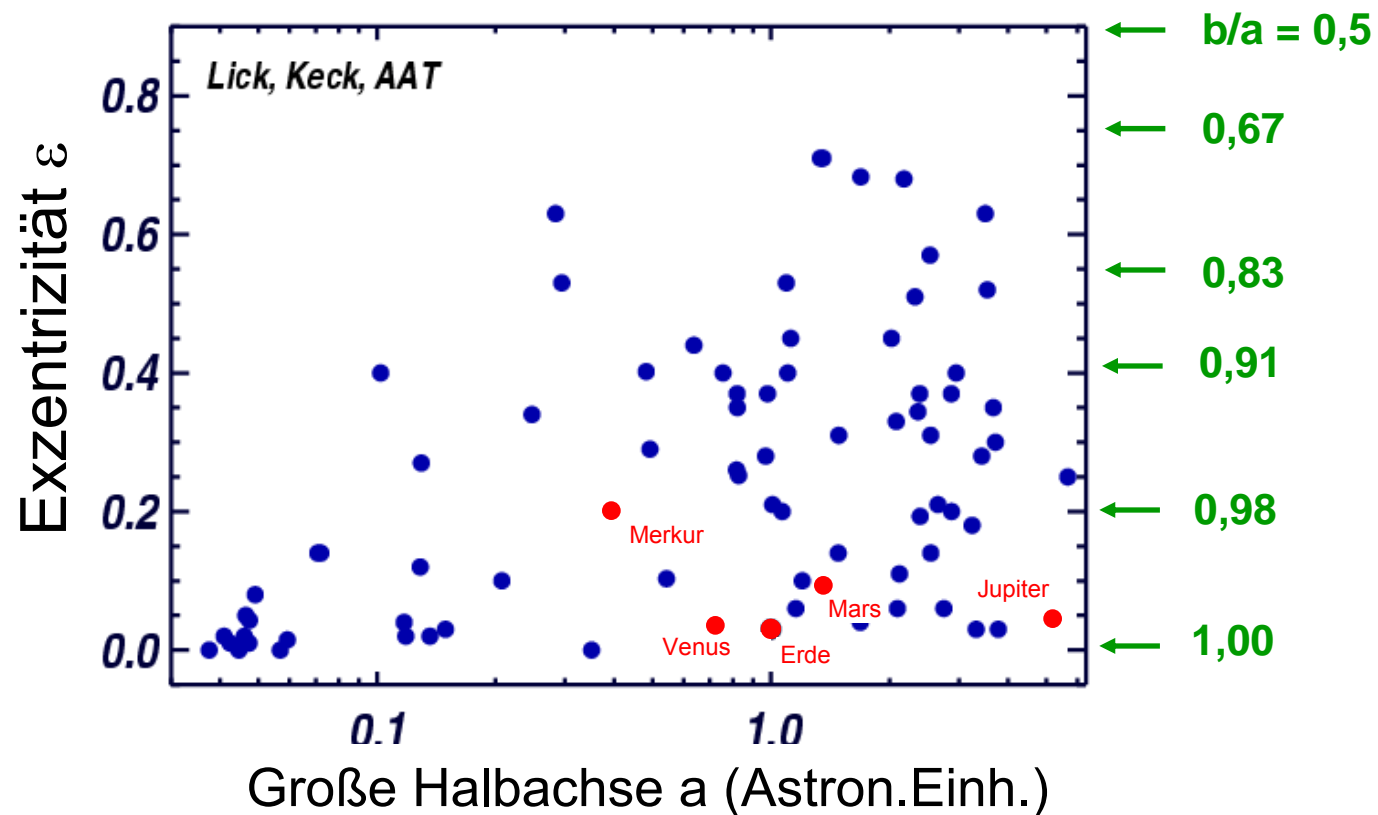
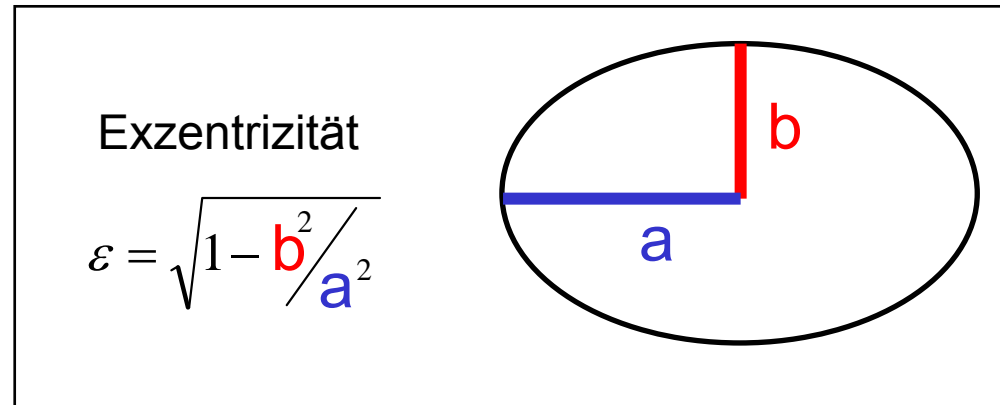


Alle Methoden begünstigen die Entdeckung von

- massereichen Planeten
- sehr großen Planeten

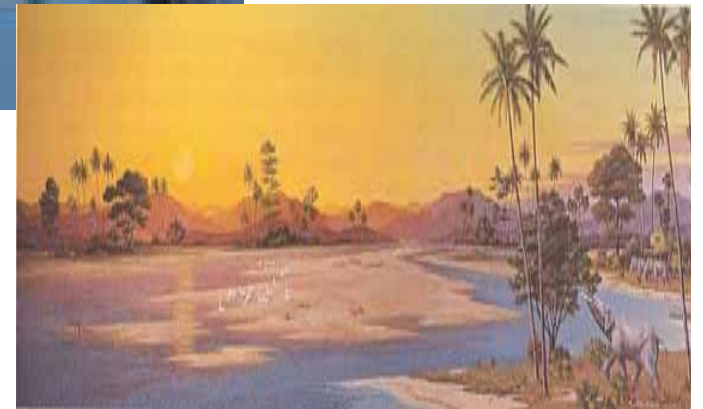
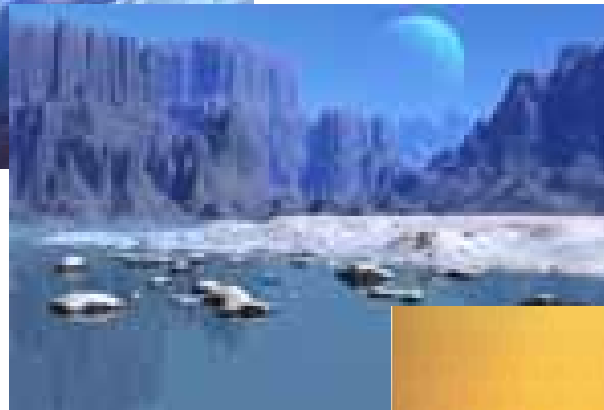


Ergebnisse-2: Verteilung der Bahnelemente



3. Gibt es Leben auf Exoplaneten?

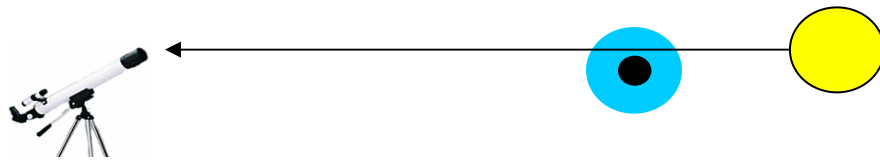
Woher wissen wir, wie es auf einem Exoplaneten aussehen könnte?



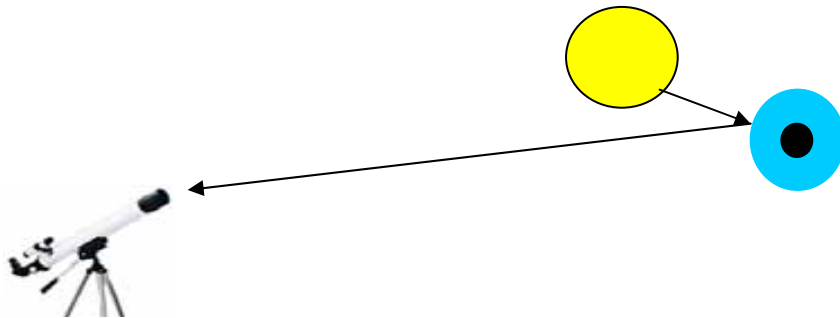
Wie können wir etwas über die Atmosphäre von Exoplaneten erfahren ?

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, ...



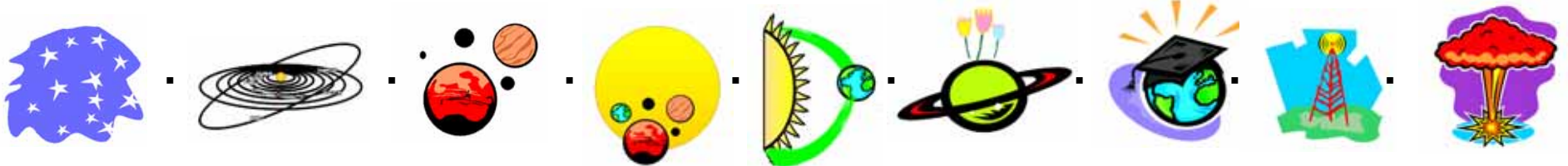
Analyse der Abnahme der Intensität im Infrarot-Bereich
→ Wasser, Temperatur

Leben in der Milchstraße?

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

Zahl der kommunizierenden Zivilisationen =

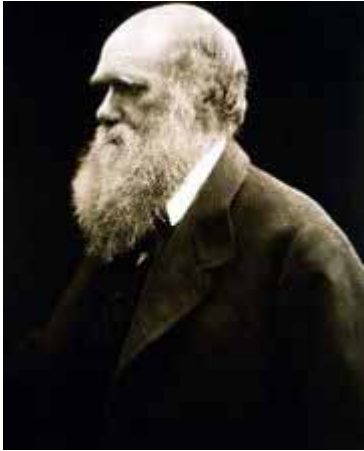
$$N_* \cdot f_{\text{Planet}} \cdot N_{\text{Planet}} \cdot f_{\text{erdähnlich}} \cdot f_{\text{habitabel}} \cdot f_{\text{Leben}} \cdot f_{\text{Intelligenz}} \cdot f_{\text{Technik}} \cdot L/L_{\text{Milchstraße}}$$



	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

Darwin-1: die Evolutionstheorie



Charles Darwin
(1809 - 1882)

Englischer Naturforscher,
Begründer der Evolutions-
theorie

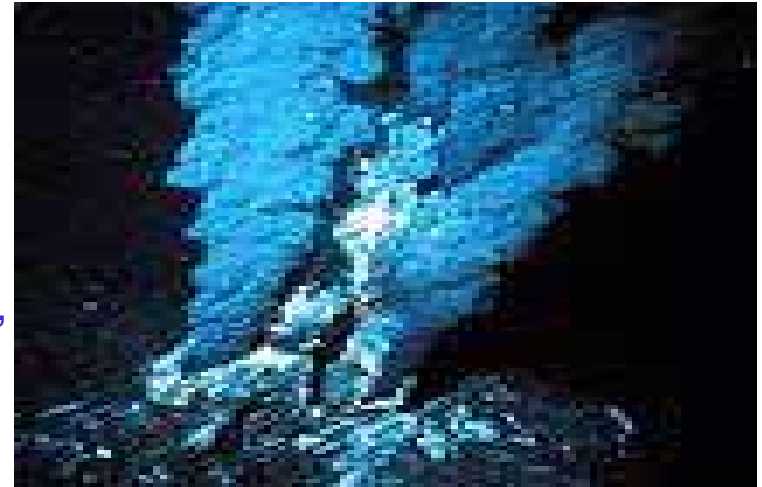
Darwins Theorie basiert auf vier Pfeilern:

- 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.

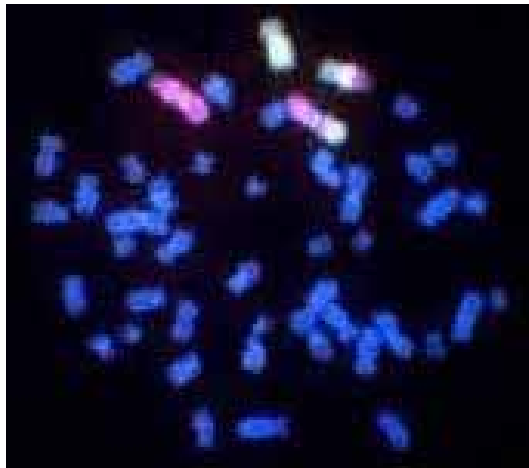
Gibt es andere Lebensformen ?

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

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?



Darwin-2: die Weltraummission zur Suche von "Exo-Erden"

- **Missionen:**

- weltraumgestützte ESA Mission (verbesserte Leistung)
- Start 2015 mit Ariane-5 Trägerrakete
- Analyse der Infrarot-Strahlung (Kohlendioxid, Sauerstoff, Wasser!)

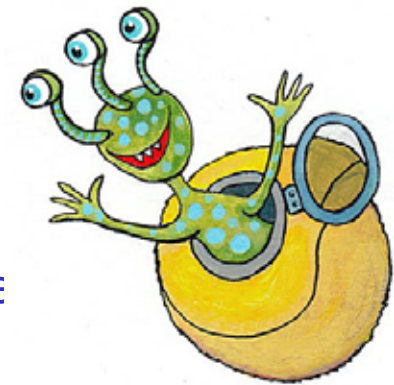
- **Ziele:**

- Suche nach kleineren (erdähnlichen) Planeten
- Sammlung und statistische Auswertung von Daten
 - Ist das Sonnensystem typisch bzgl. Anzahl, Größe, Bahnen.... seiner Planeten?
 - Monde, Ringe,
 - Entstehung von Planeten und Planetensystemen
- Atmosphäre (Zusammensetzung, Dichte, Temperatur,.....)
- Leben, Intelligenz,?



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 beginne
- 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,

