



# **Planeten- bewegung**

**Christian Anders**

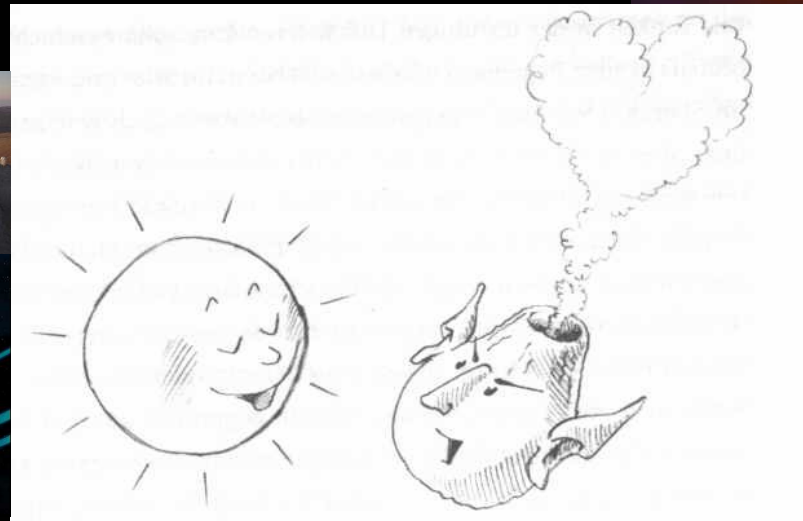
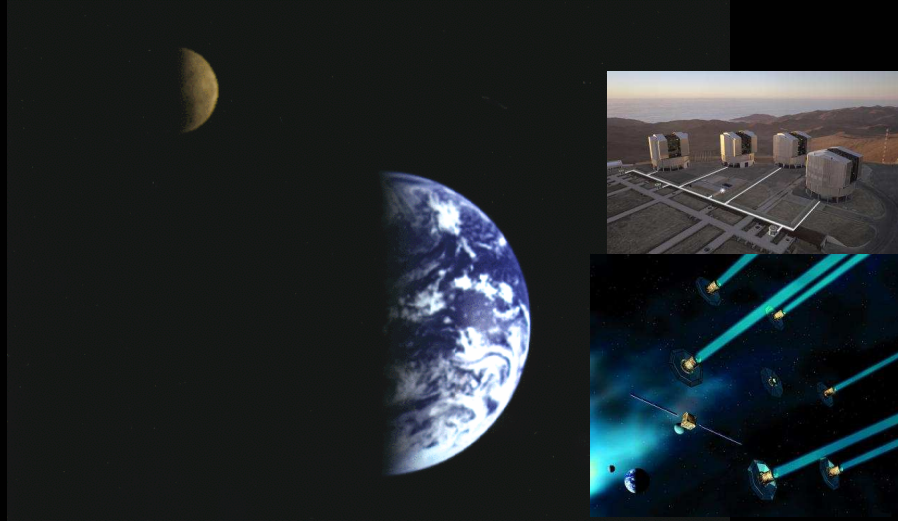
**AG Urbassek**

**Computersimulation  
und Materialwissenschaften**

Picture source

© Mark A. Garlick  
space-art.co.uk

# Wo ist Leben möglich? Und was hat die Astronomie bereits entdeckt?



Erde und Mond [beobachtet von Galileo-Raumsonde]

bisher entdeckte Exoplaneten

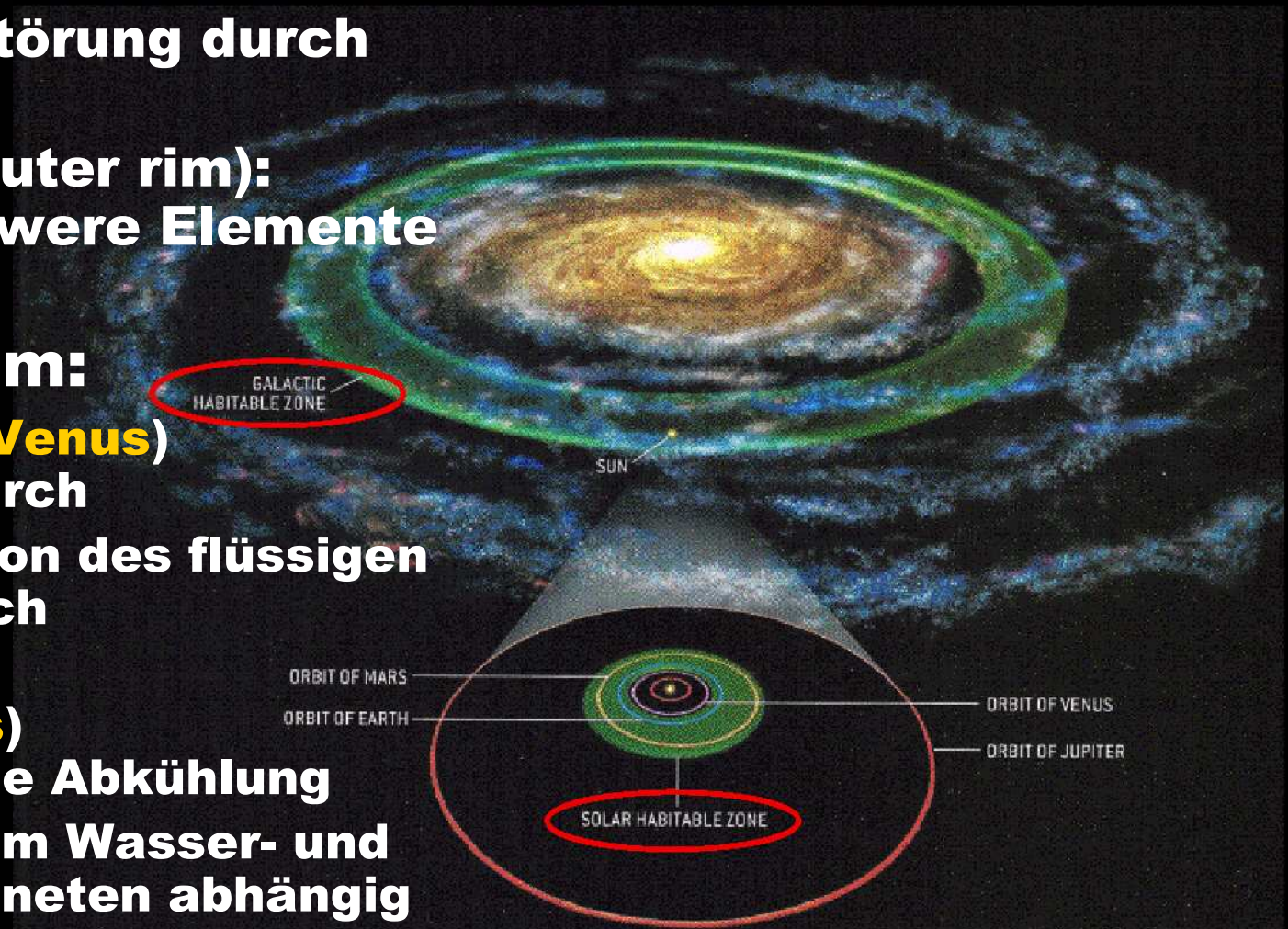
- Leben wie auf der Erde braucht flüssiges **H<sub>2</sub>O**
- Leben erzeugt Sauerstoffatmosphäre, Ozon ist nachweisbar (**O<sub>2</sub>** -> **O<sub>3</sub>**)
- Entwicklung von intelligentem Leben nur wenn Planetenbahnen über Jahrmilliarden stabil
- sternnahe heiße "Vulkane"
- Jupitermasse, "Übererden"
- Erdartige Planeten brauchen weltraumgestützte Großteleskope
  - Kepler 2008 (Transit erdgroßer Planeten)
  - DARWIN (Biomarker) et al.
  - Radiosignale? SETI

# Wann ist ein Planet bewohnbar?

## Geschachtelte Bedingungen

- **galaktisch:**
  - nahe Zentrum  
Strahlung und Störung durch andere Sterne
  - Äußerer Rand (auter rim):  
nicht genug schwere Elemente „Metalle“
- **Im Sonnensystem:**
  - zu nah am Stern (**Venus**)  
Treibhaus geht durch
  - **Habitabel** ist Region des flüssigen Wassers (ggf. durch Treibhauseffekt)
  - zu weit weg (**Mars**)  
selbstverstärkende Abkühlung
- **Bewohnbarkeit ist vom Wasser- und CO<sub>2</sub> Haushalt des Planeten abhängig**

Habitable zones



Q: Sterne und Weltraum Dossier 3/2002 Leben im All

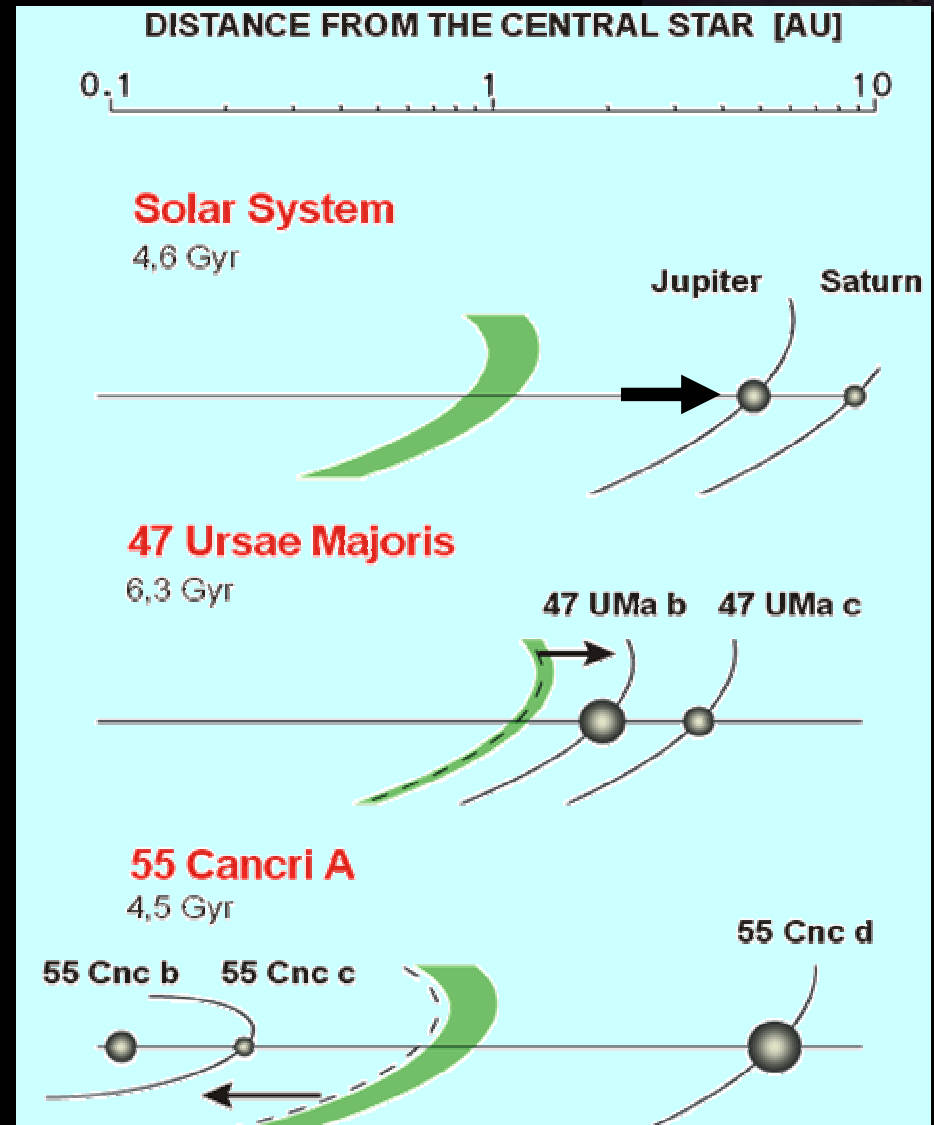
Planetenbewegung

# Bahnen bewohnbarer Planeten

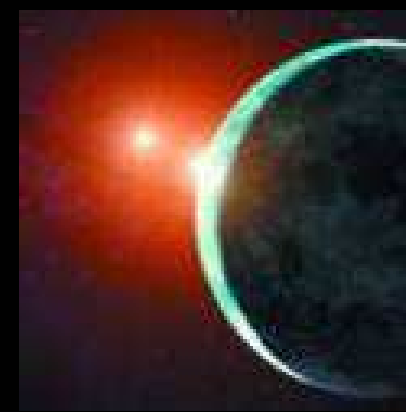
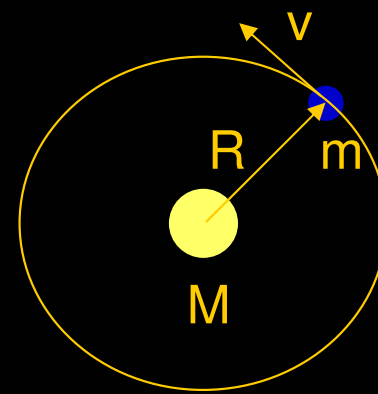
- Die bewohnbare Zone hängt über Helligkeit von Masse und Alter des Sterns ab (**grünes Band**).
- Planeten stören sich gegenseitig, besonders wenn sie schwer sind (Mehrkörperproblem).
- Je nach Masseverhältnissen, Bahnhalbachsen und Exzentrizitäten können Bahnen stabil sein.
- Jupiterartige Planeten weit draußen (oder drinnen) würden die Schwestern der Erde auf ihren Bahnen lassen.
- Die Pfeile auf dem Bild zeigen in die Zone, wo die Bahnen instabil werden und keine Planeten mehr entstehen können.

vgl. Asteroidengürtel im Sonnensystem

Planetenbewegung



# Simulation der Bewegung im Gravitationsfeld



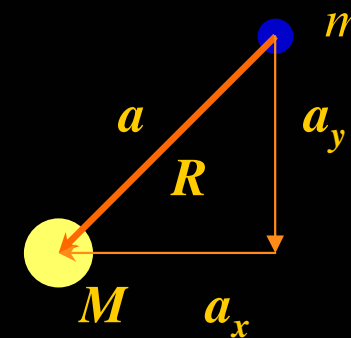
1. Gegeben ist **Ort**  $(x,y)$  und **Geschwindigkeit**  $(\dot{x}, \dot{y}) = (v_x, v_y)$  zum Zeitpunkt  $t$

2. Die Gravitationskraft bewirkt beschleunigte Bewegung

$$\cancel{m}a = F_G = \frac{-GM\cancel{m}}{R^2}$$

3. Computer rechnet koordinatenweise  $\ddot{x} = a_x = a \cdot x/R$

$$\ddot{y} = a_y = a \cdot y/R$$



4. „Integration“ der Bewegungsgleichung

$$v_x(t + \Delta t) = v_x + a_x \Delta t \quad x(t + \Delta t) = x(t) + v_x \Delta t + \frac{1}{2} a_x \Delta t^2$$

$$v_y(t + \Delta t) = v_y + a_y \Delta t \quad y(t + \Delta t) = y(t) + v_y \Delta t + \frac{1}{2} a_y \Delta t^2$$

5. Je kleiner die Schrittweite  $\Delta t$  desto genauer die Bahnberechnung, aber Rundungsfehler sammeln sich an.

6. Neuer **Ort** und neue **Geschwindigkeit** dienen als neue Startwerte usw.

7. Es reicht für Stern und Planet  $x$  und  $y$  in Bahnebene zu betrachten (Kepler I-II) Planetenbewegung

# Die Keplergesetze



1. Planeten bewegen sich auf Ellipsen in deren einen Brennpunkt der Stern steht.
2. Die Verbindung Stern-Planet überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen (Drehimpulserhaltung).
3.  $T^2/a^3$  ist konstant.

## Die 6 Bahnparameter

$a$ : Große Halbachse

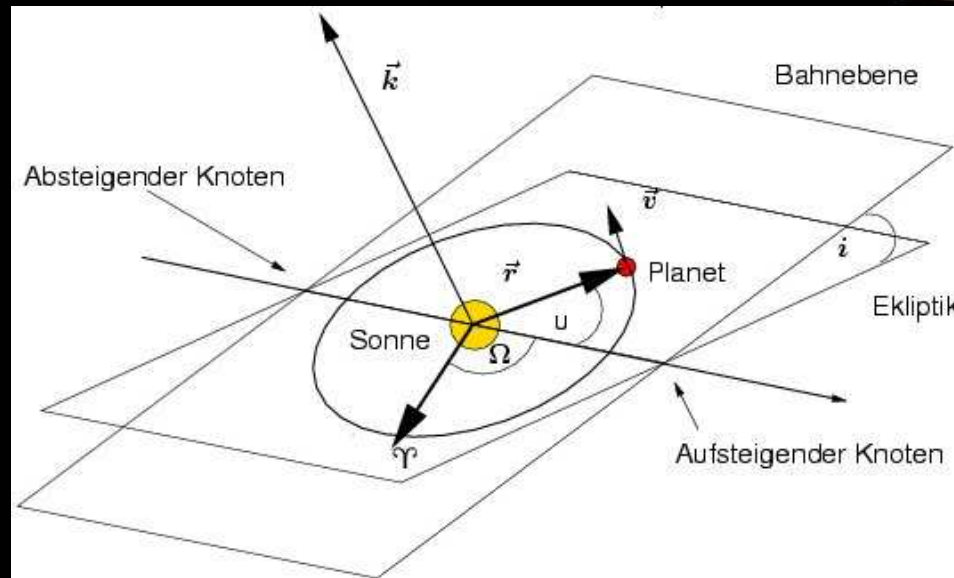
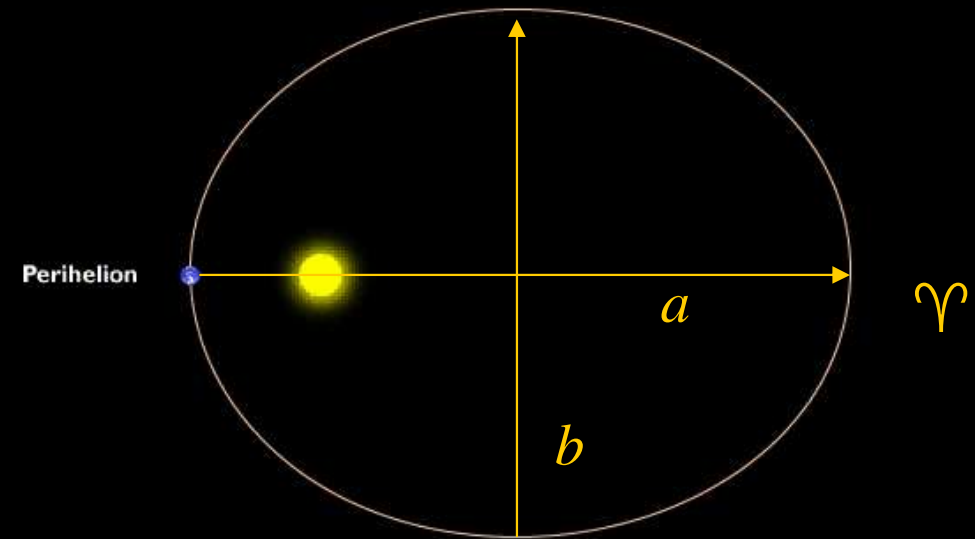
$\varepsilon$ : Exzentrizität  $\varepsilon = \sqrt{a^2 - b^2} / a$

$\omega$ : Perihelwinkel (hier  $180^\circ$ )

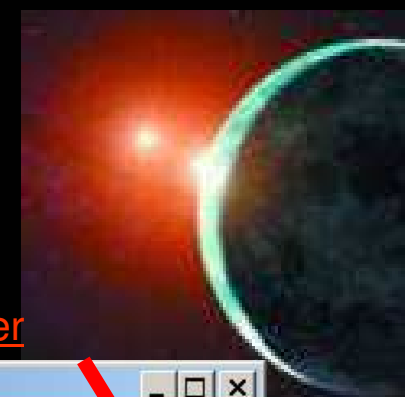
$i$ : Inklination zur Ekliptik

$\Omega$ : Knotenwinkel

$t_p$ : Perihelzeit



# Interaktive Simulation der Planetenbewegung



**System**  
Geschwindigkeit der Simulation regeln (oberer Regler!)

**Abbruch**  
Unerwünschter bei Absturz Auswahl

**Reset**  
bei Absturz

**Laden Starten Stoppen**  
Vorbereitetes System wählen  
**Dialogbereich**  
Fragen hier mit [Input] bestätigen

**Bearbeiten**  
Planet Entfernen  
Bahn ändern  
Planet hinzufügen  
Bahn-Parameter

**Fensterputzer**  
oder [F6]

**Bahnparameter**

**Eingabe**  
[Input] Bestätigen  
[V] : weiterblättern

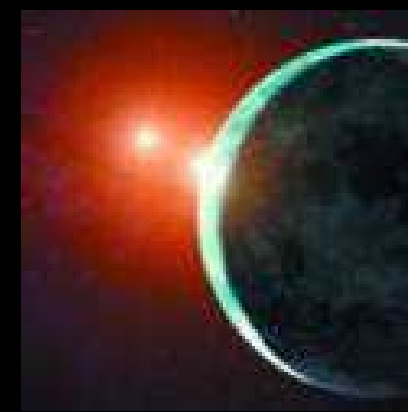
**Zoom**  
rein /S raus

**Schrittweite**  
feiner \*S gröber

**Zustand des Programms**  
Änderungen mit [Input] bestätigen  
oder mit [ESC] abrechnen bis hier Ready steht

**7**

# Experimente



Auf <http://www.physik.uni-kl.de/urbassek/research/anders/Gravity/Anleitung.html> und <http://www.physik.uni-kl.de/urbassek/research/anders/Gravity/presentation/presentationd.html> gibt es deutsche Bedienungsanleitungen und Simulationsvorschläge.

Mit dem Auswahlmenü **Select Sytem!** lassen sich vorbereitete Planetensysteme laden.

- **Größenordnungen und Simulationstechnik**

**InnerSolarSystem** auswählen und starten. Die Erde mit [CE] und Schieberegler neben [Input] als Zentrum wählen und mit [IN] hineinzoomen. Die Mondbahn wird sichtbar. Der Zeitschritt kann mit [<] verleinert bzw mit [>] vergrößert werden. Was passiert mit der Mondbahn wenn sehr großer Zeitschritt eingestellt wird. Welcher wäre optimal? Was bedeutet das für die Simulation des ganzen Sonnensystems? Was muss man beim Zeitschritt beachten, wenn man der Erde mit [+] einen Satelliten hinzufügt (unbedingt mit [M] eine sinnvolle Masse für den Satelliten einrichten!)

Mit [<->] lässt sich ein Menü öffnen in dem man die Geschwindigkeit des Satelliten ändern kann. Um welchen Faktor muss man die Geschwindigkeit auf einer Kreisbahn erhöhen, um die Fluchtgeschwindigkeit zu erreichen?

**Mars Mission** zeigt welche ungeheuren Distanzen Astronauten auf dem Weg zum Mars überwinden müssten. 1 AU sind  $1.5 \cdot 10^{11}$  m oder 150 Million km. Das Marsraumschiff befindet sich bereits so weit weg von der Erde, dass ihr Gravitationsfeld unerheblich ist. Warum muss das Raumschiff schneller als die Erde sein um den Mars zu erreichen? Wie lange dauert der Flug zum Mars?

- **Bahnelemente**

**Sun&One** laden und starten. Nach Drücken von [Stop], lassen sich in der Liste die Bahnparameter ablesen. Energie, große Halbachse **a** und Exzentrizität **Ex** sind in der gelben Zeile. (Die anderen weiß ausgegebenen Bahnparameter: Perihelwinkel **WP**, Nächster Periheldurchgang **NP**, Inklination **i** und Knotenwinkel **OM** sind für die Form der Bahn unwichtig, sie geben nur Position in Raum und Zeit an, ebenso wird die Umlaufzeit **T** in Jahren angegeben). Mit [<->] und [+P] lassen sich die Bahnen verändern.

Was passiert mit Exzentrizität und großer Halbachse, wenn man die vorgegebene Geschwindigkeit verändert?

Welche Bahnen sieht man bei  $Ex = 0$ ,  $0 < Ex < 1$ ,  $> 1$ ? Welche Bahn hat ein Planet, wenn seine Energie  $> 0$  ist?

Was bedeuten die Bahnparameter des Halleyschen Kometen s. System **HalleysComet** und von Pluto s. **OuterSolarSystem**?

Was passiert im System **SunJupiterComet** mit den Bahnparametern des Kometen beim Vorbeiflug knapp vor Jupiter?

Was passiert in **Swingby** mit den Bahnparametern von Voyager? Warum hat man die Raumsonde knapp hinter Jupiter vorbeigeschickt?

- **Exoplaneten:**

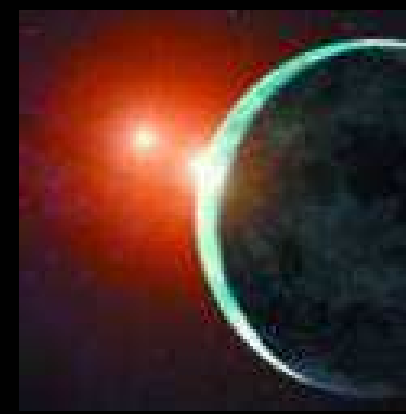
Im System **Swingby**, wird die Voyagersonde auf den Weg zu fernen Sternen gebracht. Doch erstmal zurück zur Sonne: Was sieht man, wenn man mit [IN] so weit vergrößert, dass die Sonne als bildschirmgroße Scheibe sichtbar ist? Warum ruht das Zentrum der Sonne (grauer Punkt) nicht? Was wäre also, wenn ein anderer Stern Planeten wie Jupiter und Saturn hat?

Auch wenn die  $\alpha$ -Centaurianer (Entfernung etwa 4.3 Lichtjahre) unseren Jupiter da zu leuchtschwach nicht direkt sehen können, haben sie mehrere Möglichkeiten ihn nachzuweisen: welche Winkel-Auflösung müsste ihr Teleskop haben um die Positionsveränderung zu sehen, die Jupiter der Sonne aufprägt? Warum ist die andere, die Dopplermethode (Farbverschiebung bewegter Sterne) für sternnahe "Jupiter" erfolgreicher?

In **AlphaCentauri**, **55 CnC**, **47Uma** und **Epsilon Eridiani** werden mögliche Planetenbahnen untersucht. Was machen die Sterne und Großplaneten mit den Bahnen der Kleinen? Welche bleiben in der bewohnbaren Zone? Wo könnten man nach bewohnbaren Planeten suchen?



# Internetseiten



## Simulation der Planetenbewegung

- <http://www.physik.uni-kl.de/urbassek/research/anders/Gravity/Gravitation.html>

## Alle Exoplaneten

- <http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html>

## DARWIN geplante Weltraumteleskope

- <http://sci.esa.int/home/darwin/> (Link ist veraltet)

## Drake Gleichung

- <http://contact-themovie.warnerbros.com/cmp/drake.html>

## Gravitationslinsen

<http://www.cfa.harvard.edu/~sgaudi/> (Link ist veraltet)

## KEPLER Weltraumteleskop der NASA

- <http://www.kepler.arc.nasa.gov/>

## SETI

- <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/>

## Space Art Weltraumkunst

- <http://www.space-art.co.uk/html/planetscapes/fplanetscapes.html>

## Transits: Durchgänge von Planeten vor dem Stern

- <http://www.iac.es/proyect/tep/tephome.html>
- <http://www.hao.ucar.edu/public/research/stare/overview.html>