

# 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.)

14.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)

16.01 Die Milchstrasse (H.B.)

23.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)

06.02 Pruefung (C.F. & H.B.)

# Klausurtermin(e)

Derzeitige andere Termine:

Mo 03.02.2014 PEP3

Di 04.02.2014 PTP1

Mi 05.02.2013 PEP5

Do 06.02.2014 PTP3

Fr 07.02.2014 PEP1

Sa 08.02.2014 PMA1

Mi 12.02.2014 PMP3

→ AstroI Termin wird noch geklaert.

# Themen heute

## Dimensionen

Sonne - Erde – Mond System

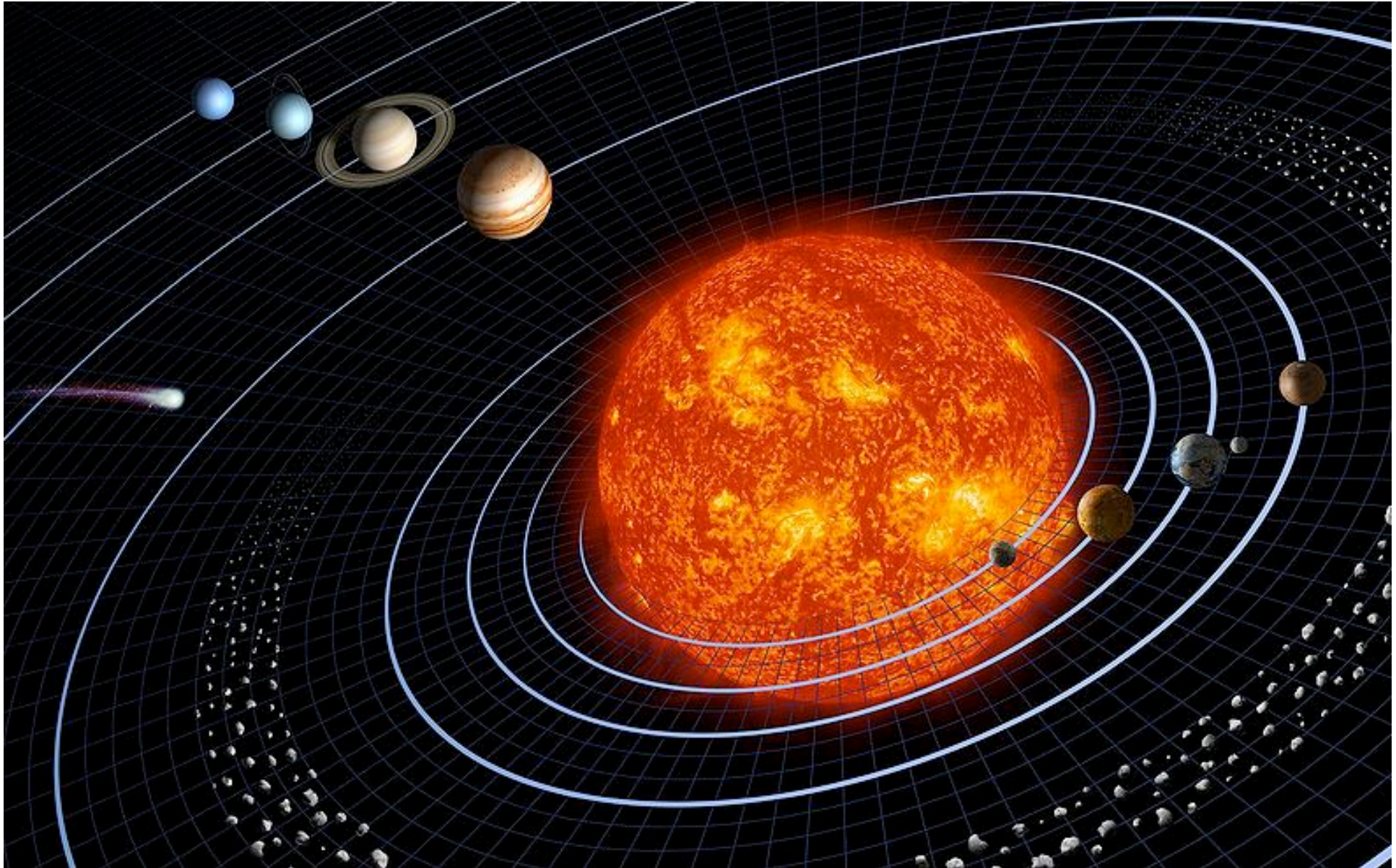
Planeten

Trans-Neptun Objekte, Kuiperguertel, Oort-Wolke  
und Asteroidenguertel

Was wird heute nicht besprochen:

Sonne → naechste Woche bei Sternen

# Das Sonnensystem

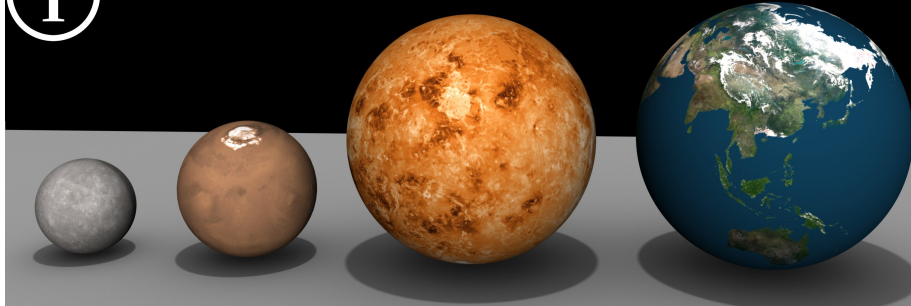


# Das Sonnensystem

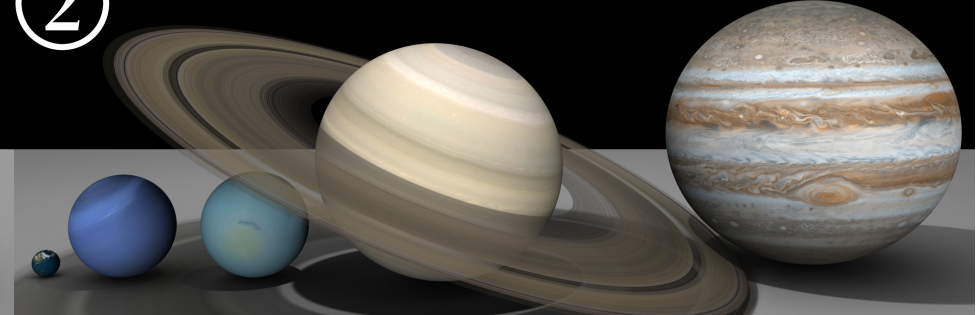
	Masse [kg]	Durchmesser [km]	Abstand [AU]	v [km/s]
Sonne	2.0e30	1.4e6	0	
Merkur	3.3e23	4.9e3	0.39	48
Venus	4.9e24	1.2e4	0.72	35
Erde	5.0e24	1.7e4	1 (=1.5e8km)	30
Mars	6.4e23	6.8e3	1.52	24
Jupiter	1.9e27	1.4e5	5.20	13
Saturn	5.7e26	1.2e5	9.58	10
Uranus	8.7e25	5.1e4	19.20	7
Neptun (Pluto)	1.0e26 1.3e22	4.9e4 2.3e3	30.05 39.48	5 5
Asteroiden ( $\sim 10^7$ )	$\sim 10^{21}$	1-800	im Mittel 2.1	
Kupier-Guertel mit TNOs und Kometen ( $10^7$ - $10^{11}$ )	$10^{21}$ - $10^{23}$	1-1000	<5e4	
Oort Wolke ( $10^{11}$ - $10^{12}$ )	$10^{21}$ - $10^{23}$	1-1000	$\sim 2e4$ - $1e5$	

# Planeten- und Sterngrößen

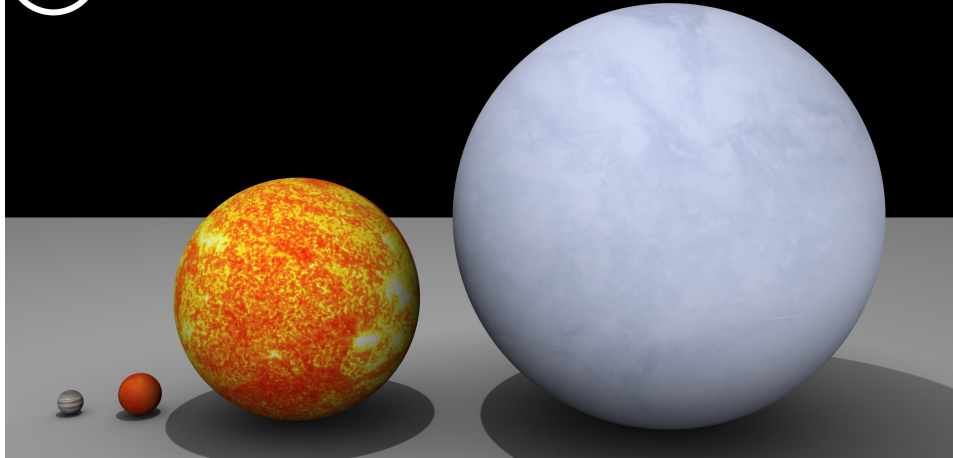
① Mercury < Mars < Venus < Earth



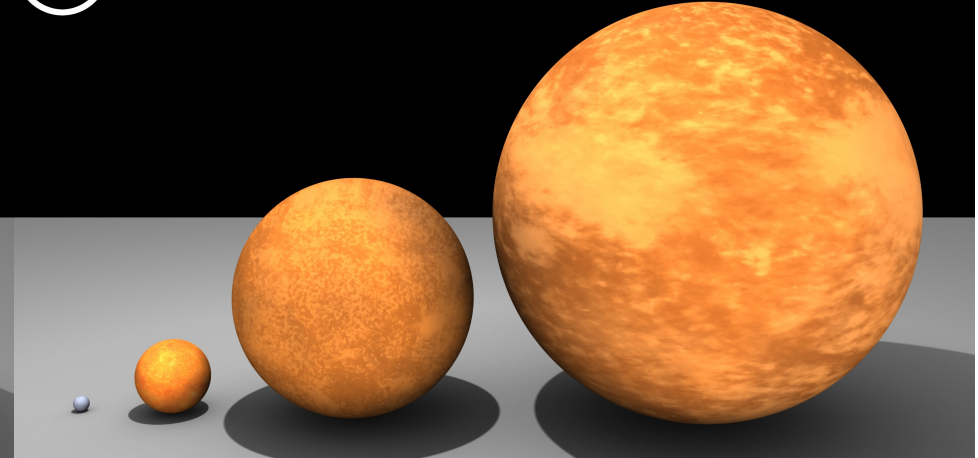
② Earth < Neptune < Uranus < Saturn < Jupiter



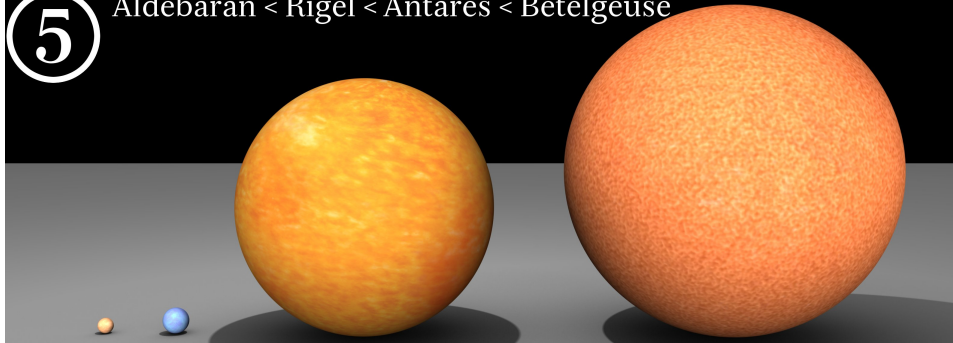
③ Jupiter < Wolf 359 < Sun < Sirius



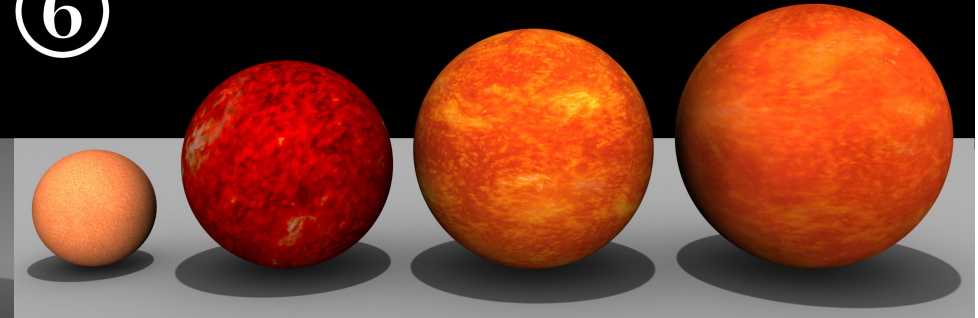
④ Sirius < Pollux < Arcturus < Aldebaran

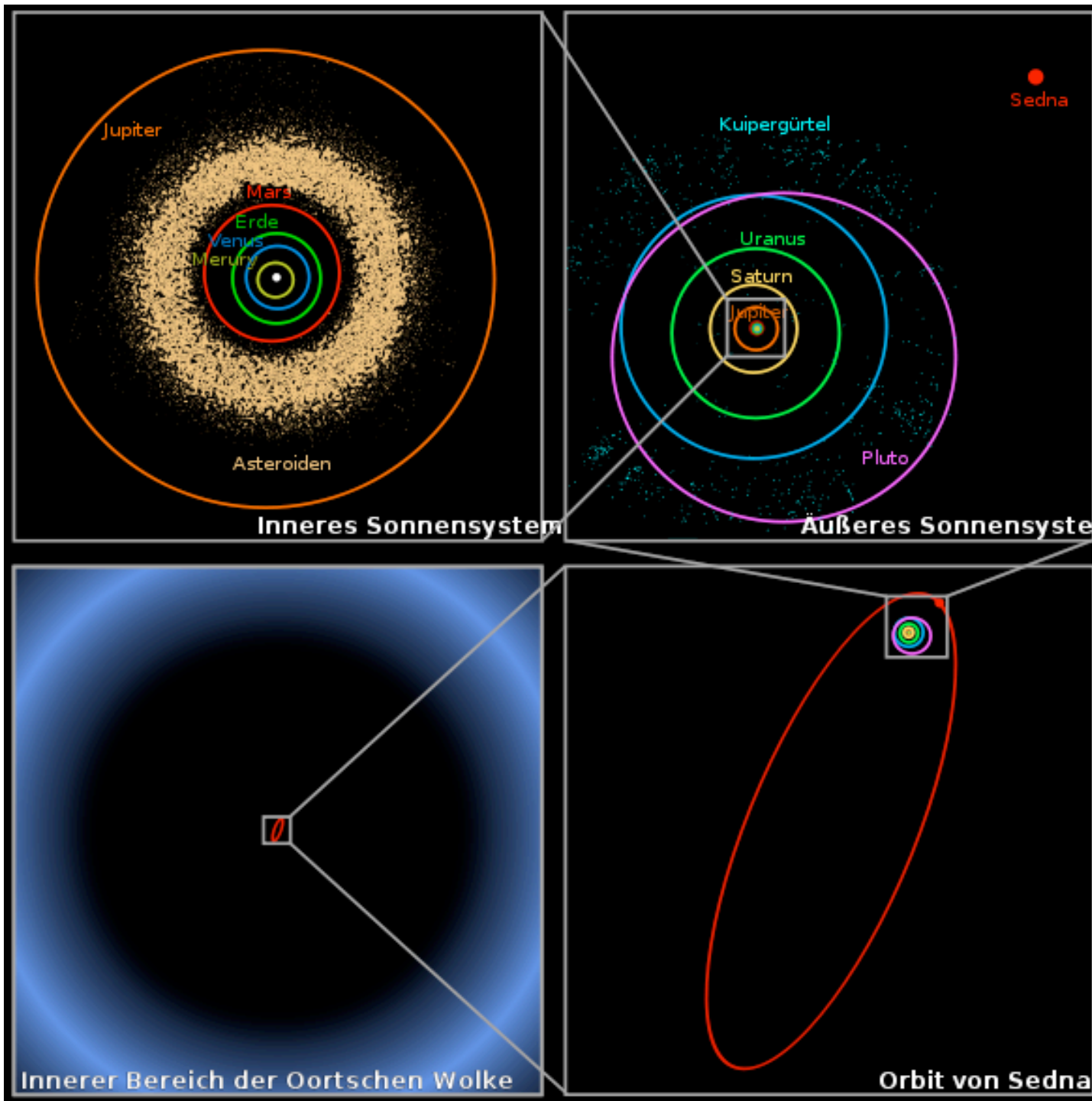


⑤ Aldebaran < Rigel < Antares < Betelgeuse



⑥ Betelgeuse < Mu Cephei < VV Cephei A < VY Canis Majoris





# Themen heute

*Dimensionen*

Sonne – Erde – Mond System

Planeten

(a) erdaehnliche Planeten

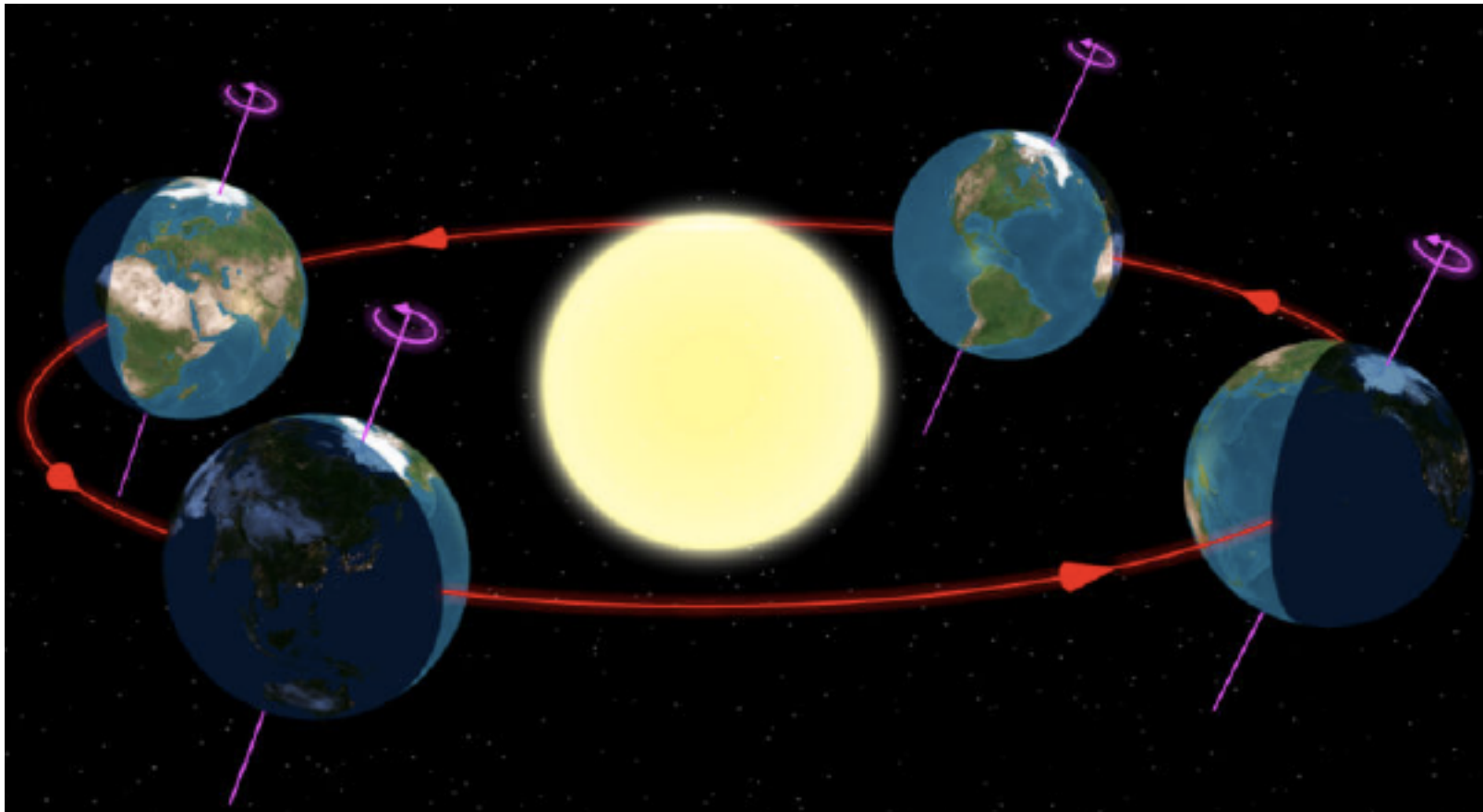
(b) Gasriesen

Trans-Neptun Objekte, Kuiperquertel, Oort-Wolke  
und Asteroidenguertel



# Ekliptik und Jahreszeiten

Rotationsachse der Erde um 23.5 Grad zur Ekliptik geneigt



## Tagundnachtgleichen (Äquinoktia, equinoxes)

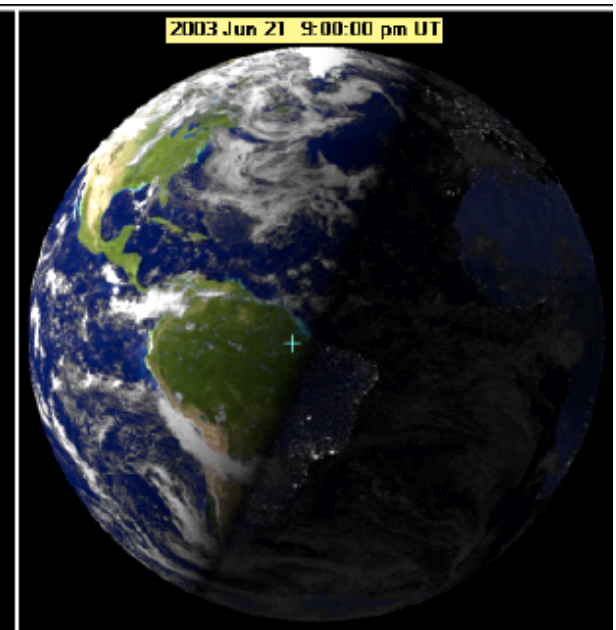
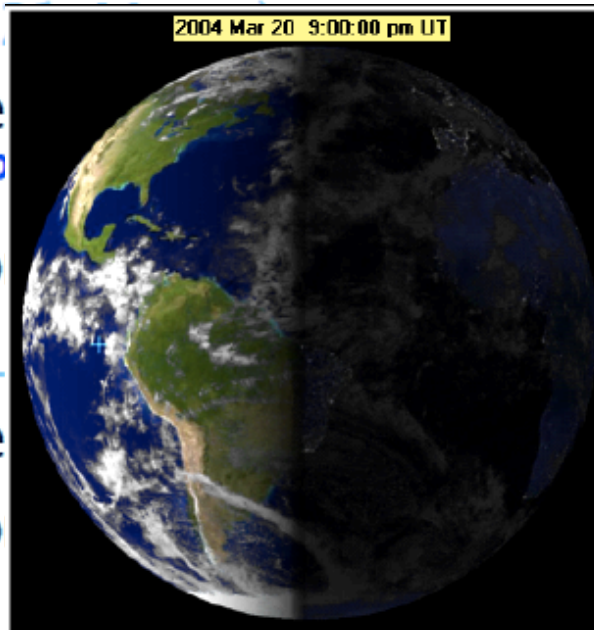
- **Frühlingspunkt** (~ 21. März):
  - ★ Sonne überquert Himmels-Äquator von Süden nach Norden (auch **Widder-Punkt**)
  - ★ Sonnen-Position:  $\alpha = 0^h$ ,  $\delta = 0^\circ$
- **Herbstpunkt** (~ 21. Sept.):
  - ★ Sonne überquert Äquator von Norden nach Süden
  - ★ Sonnen-Position:  $\alpha = 12^h$ ,  $\delta = 0^\circ$

## Sonnenwenden (Solstices)

- **Sommersonnenwende** (~ 21. Juni):
  - ★ Sonne nimmt ihre nördlichste Position ein
  - ★ Sonnen-Position:  $\alpha = 6^h$ ,  $\delta = +23.5^\circ$
- **Wintersonnenwende** (~ 21. Dez.):
  - ★ Sonne nimmt ihre südlichste Position ein
  - ★ Sonnen-Position:  $\alpha = 18^h$ ,  $\delta = -23.5^\circ$

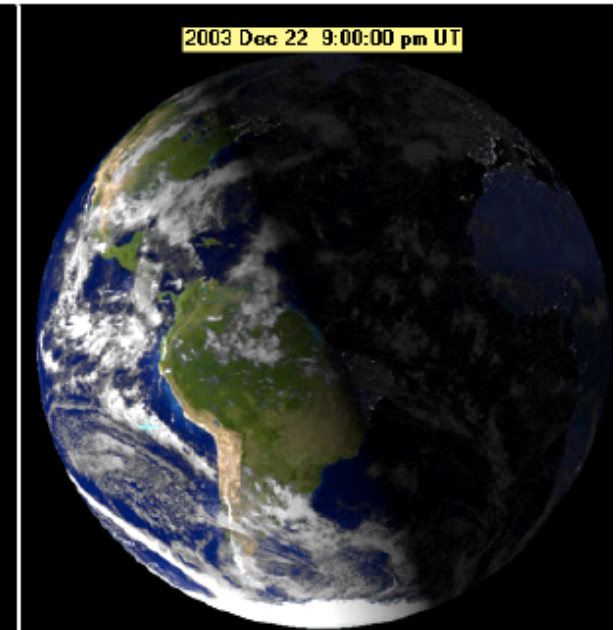
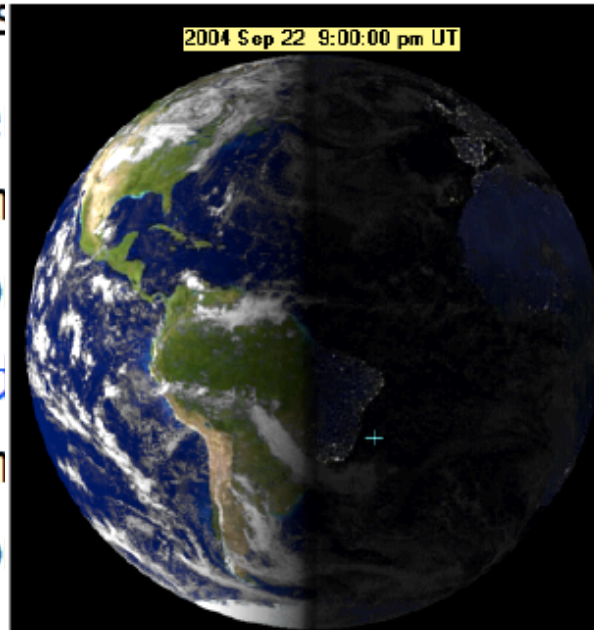
## Tagundnachtgleichen (Äquinoktia, equinoxes)

- **Frühlingspunkt** (~ 21. März)
  - ★ Sonne überque (auch Widder-P)
  - ★ Sonnen-Positio
- **Herbstpunkt** (~ 21. Sept.)
  - ★ Sonne überque
  - ★ Sonnen-Positio



## Sonnenwenden (Solstices)

- **Sommersonnenwe**
  - ★ Sonne nimmt ih
  - ★ Sonnen-Positio
- **Wintersonnenwenc**
  - ★ Sonne nimmt ih
  - ★ Sonnen-Positio



# Mondparameter

## ➤ Entfernung des Mondes

- Im Mittel 384,404 km
- Kleinste Entfernung 356,334 km
- Grösste Entfernung 406,610 km
- = 30 mal Erd-Durchmesser

## ➤ Grösse des Mondes

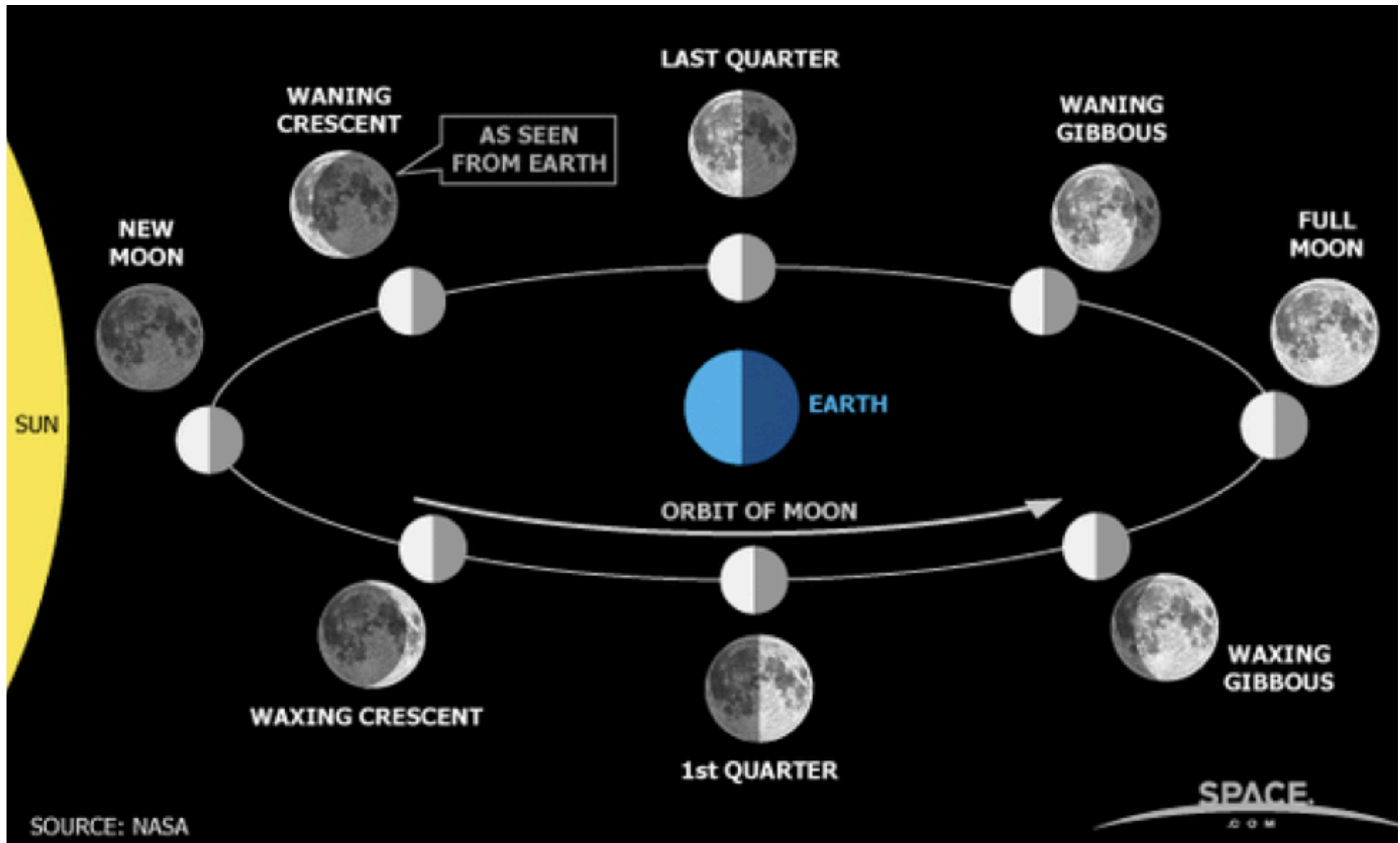
- Durchmesser 3,475.9 km
- = 0.27 mal Erd-Durchmesser
- Mondmasse  $1/81.3$  Erdmasse
- Mondvolumen  $1/49$  Erdvolumen
- Mond-Erde "Doppelplanet" mit Barizentrum 4,627km vom Erdzentrum

Src: Murphy



# Mondphasen

Mondphasen resultieren aus relativer Position zwischen Mond und Sonne

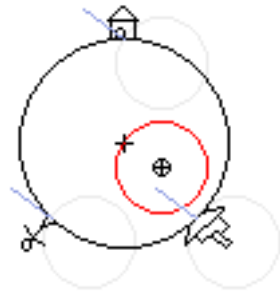


# Mondphasen

Mondphasen resultieren aus relativer Position zwischen Mond und Sonne

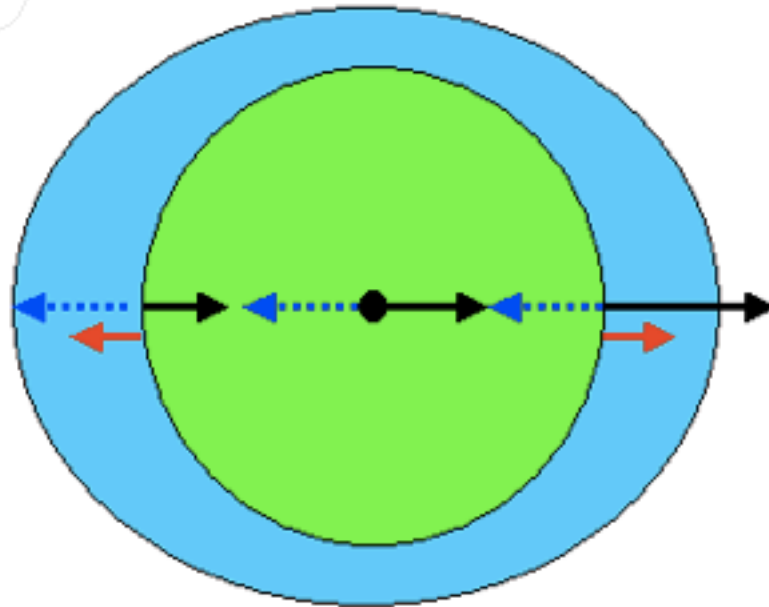


# Gezeitenkraefte I



**Erde**

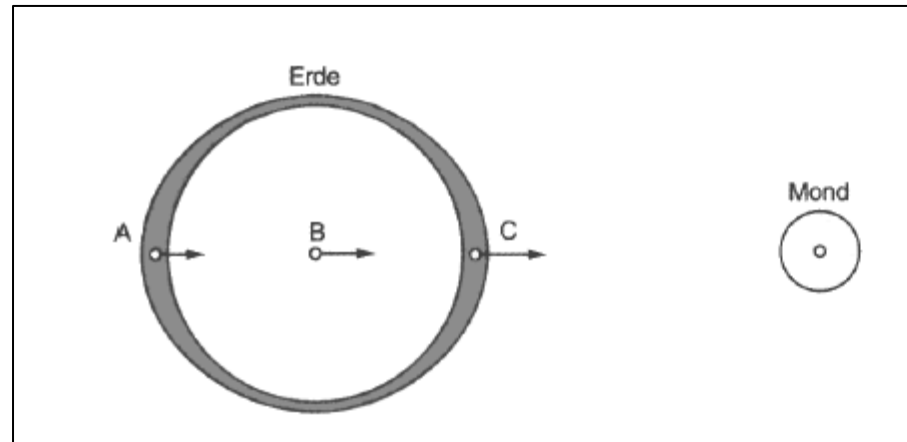
**Mond**



- Anziehungskraft des Mondes
- ←..... Fliehkraft
- Gezeitenkraft

# Gezeitenkraefte II

Genauerer Blick auf die differenziellen Gezeitenkraefte:



Gravitationskraft bei A kleiner als bei B kleiner als bei C.

Zentrifugalkraft ueberall gleich da in 1. Naehung starrer Koerper.

Grav. Mondbeschleunigung im Erdzentrum B:  $b_B = G \frac{M}{r^2} =$  Zentrifugalbeschleunigung im Erdzentrum

$$\text{Mondbeschleunigung bei A: } \Delta b_A = \frac{GM}{(r+R_E)^2} - \frac{GM}{r^2}$$

$$\text{Mondbeschleunigung bei C: } \Delta b_C = \frac{GM}{(r-R_E)^2} - \frac{GM}{r^2}$$

$$\text{Allgemein: } \Delta b = \frac{GM}{r^2(1 \pm R_E/r)^2} - \frac{GM}{r^2} = \dots \sim \frac{\pm 2GMR_E}{r^3}$$

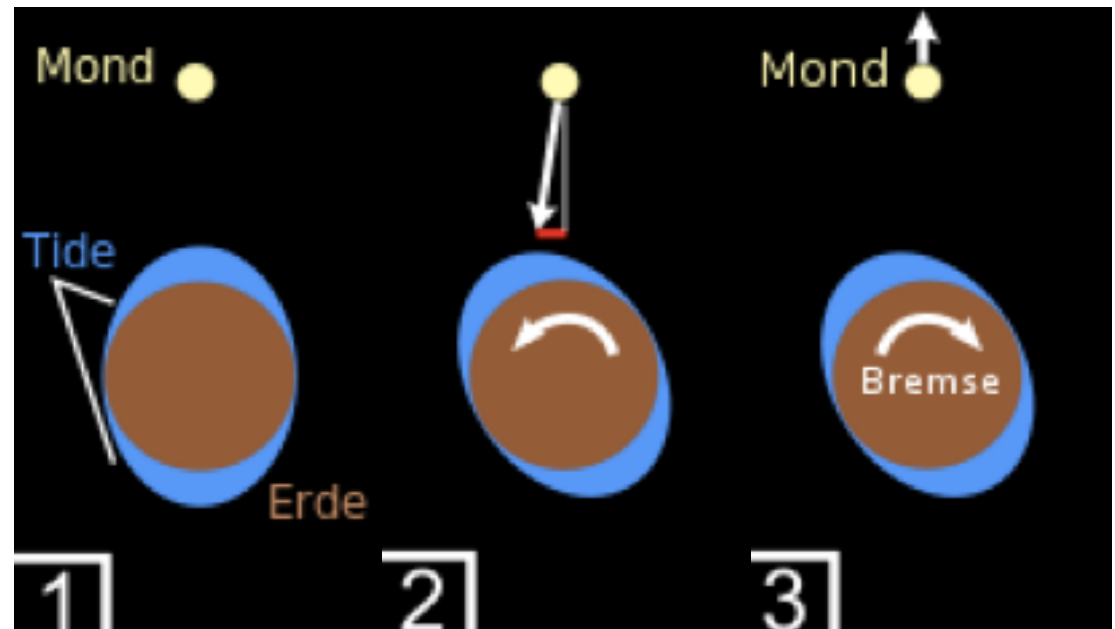


# Weitere Gezeitenaspekte

- Wenn Sonne und Mond in einer Linie Springflut, andernfalls Nippflut.

- Gezeitenbremsung:

- Mond verursacht Tide
- Erdrotation bewirkt, dass Flutberg vor Mond
- Gravitation des Mondes auf Flut beschleunigt Mond und bremst Erde.
- Mond steigt auf, Erde verliert Energie



- Bremsung:  $1.6 \times 10^{-5} \text{ s/yr}$ , im Devon (vo 370 Mio Jahren) 1 Jahr  $\sim$  400 Tage
- Abstand Erde Mond vergrößert sich um  $4 \text{ cm/yr}$  → keine totale Sonnenfinsternis in  $\sim 1$  Milliarde Jahren

# Themen heute

*Dimensionen*

*Sonne – Erde – Mond System*

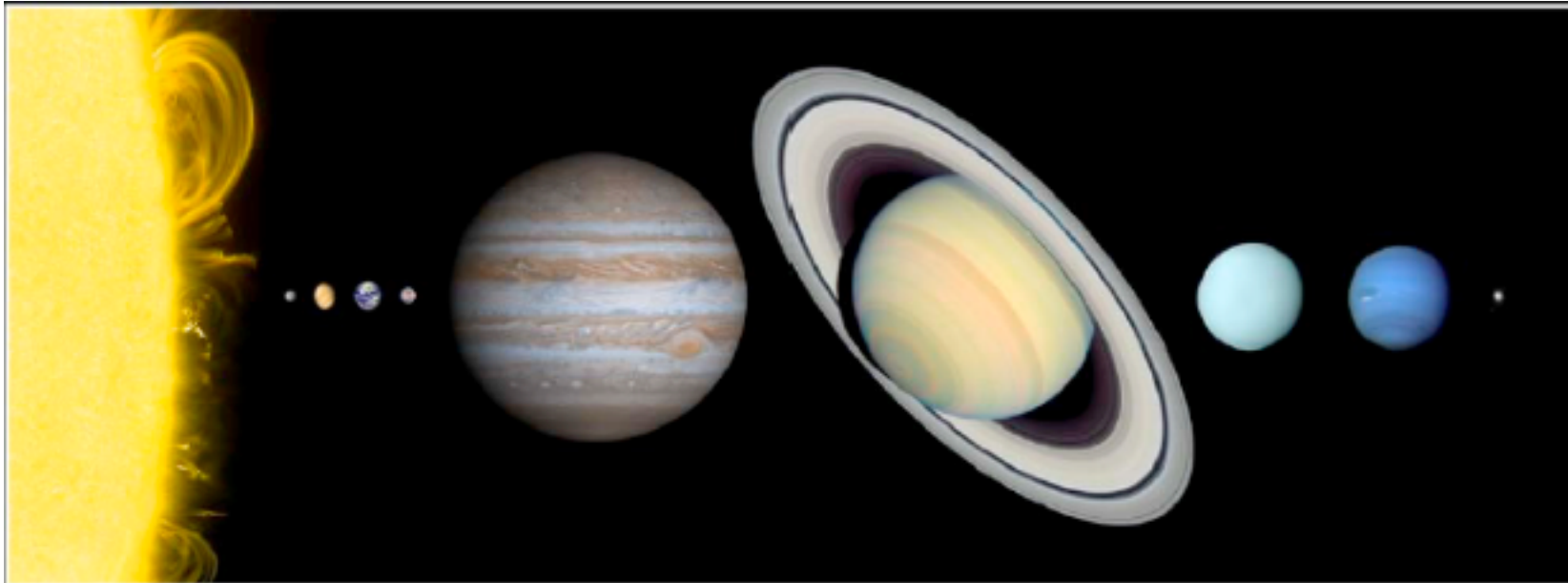
**Planeten**

(a) erdaehnliche Planeten

(b) Gasriesen

Trans-Neptun Objekte, Kuiperquertel, Oort-Wolke  
und Asteroidenguertel

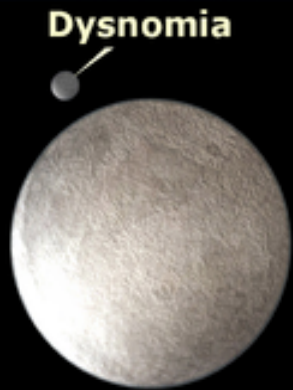
# Planeten



## Historisch:

- Die 7 Wandelsterne: Merkur, Venus, Mars, Jupiter, Saturn, Mond, Sonne  
Seit Jahrtausenden bekannt und mit dem Auge zu beobachten
- Uranus und Neptun erst spaeter entdeckt,  
Uranus von Herschel (1781)  
Neptun 1845 nach Berechnungen der Bahnstoerungen des Uranus  
(Pluto auch erst 1930)
- Entdeckung von Eris (2005) und Sedna (2003) erforderten neue Defintion.  
→ Eris groesser als Pluto (anfaenglich kurzfristig auch 10. Planet bezeichnet).

# Largest known trans-Neptunian objects (TNOs)



**Eris**



**Pluto**



**Makemake**



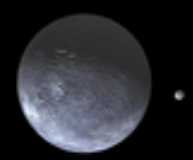
**Haumea**



**Sedna**



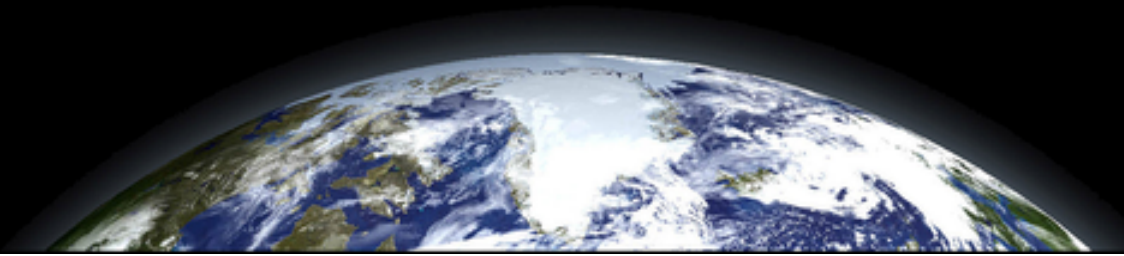
**Orcus**



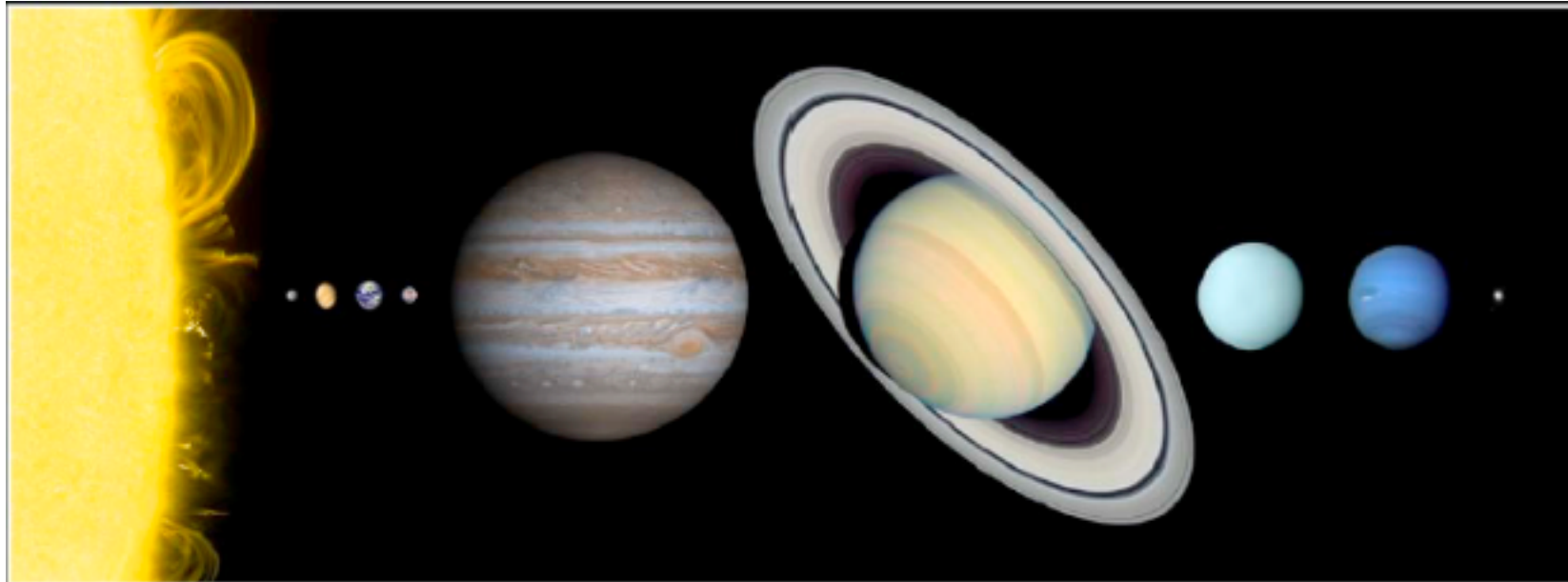
**Quaoar**



**Varuna**



# Planeten

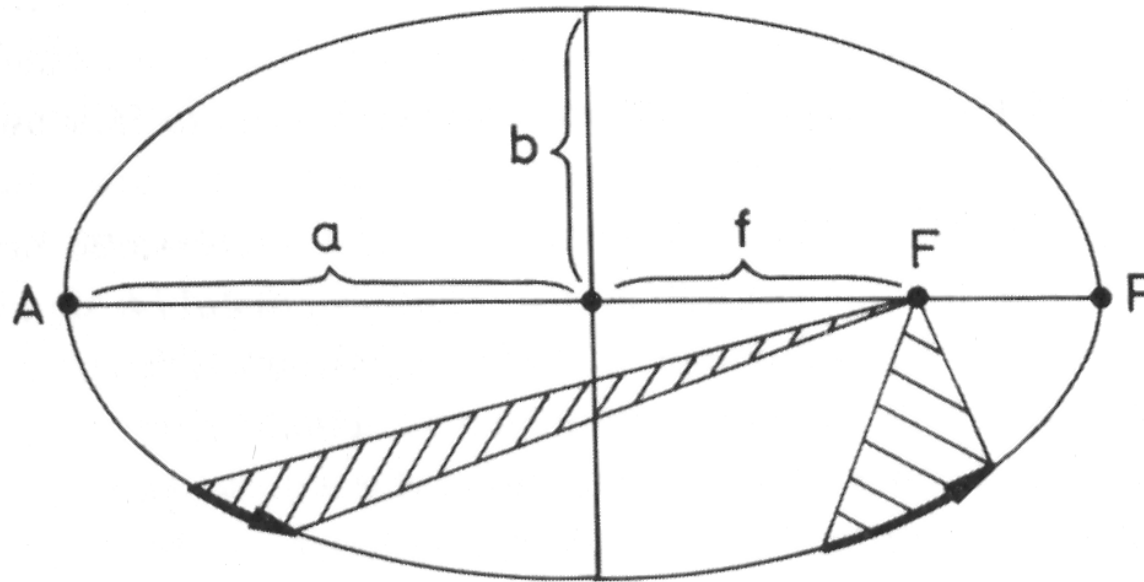


Definition Planeten: (a) in Umlaufbahn um die Sonne, (b) Eigengravitation gross genug, dass er hydrostatisches Gleichgewicht annimmt (nahezu rund) (c) hat Umlaufbahn von anderen Koerpern "befreit".

Definition Zwergplanet: (a) und (b) wie Planet, (c) hat seine Umlaufbahn nicht von anderen Koerpern befreit, (d) ist kein Mond → Pluto Zwergplanet

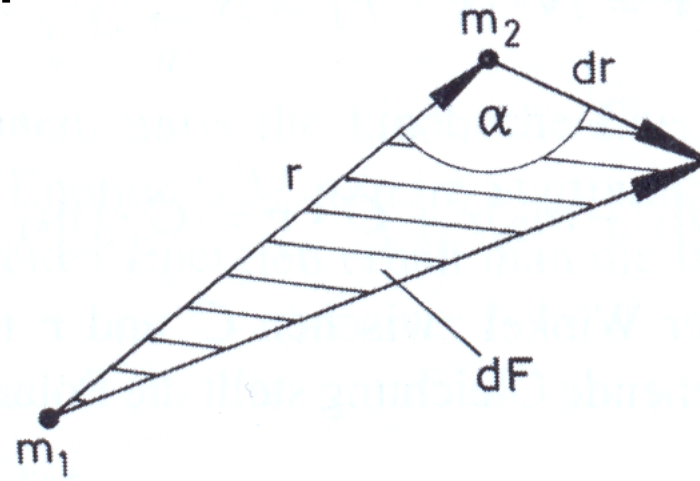
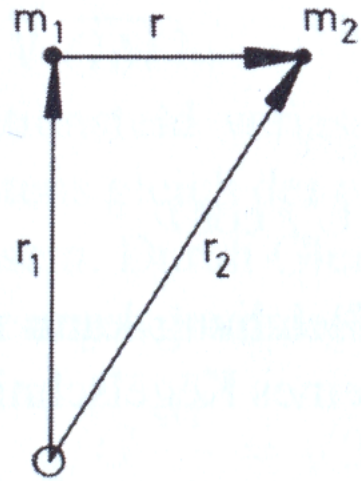
Alle anderen Koerper (ausser Monde) im Sonnensystem sollen als "Small Solar System Bodies" bezeichnet werden (beinhaltet Asteroiden, Kometen, die meisten Trans-Neptun Objekte).

# Keplergesetze



- 1.) Die Körper bewegen sich relativ zur Sonne in Ellipsen, in deren einem Brennpunkt die Sonne steht.
- 2.) Der von der Sonne zum umlaufenden Himmelskörper gezogene Radiusvektor überstreicht in gleichen Zeiten gleiche Flächen.  
→ Konstanz des Bahndrehimpulses
- 3.) Das Quadrat der Umlaufzeit wächst proportional zur dritten Potenz der grossen Halbachse und umgekehrt proportional zur Massensumme:  
$$U^2 = 4\pi^2 a^3 / (G(m_1 + m_2))$$
 Da  $m_2 \ll m_1 \rightarrow U^2$  proportional zu  $a^3$

# Skizze des 2. Keplerschen Gesetzes



$$m_2 \frac{d^2 \mathbf{r}_2}{dt^2} = -G m_1 m_2 / r^3 \mathbf{r}$$

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_2}{dt^2} = -G m_1 / r^3 \mathbf{r}$$

und

$$m_1 \frac{d^2 \mathbf{r}_1}{dt^2} = G m_1 m_2 / r^3 \mathbf{r}$$

und

$$\frac{d^2 \mathbf{r}_1}{dt^2} = G m_2 / r^3 \mathbf{r}$$

(Vektoren dick und rot!)

Subtraktion ergibt:  $\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} = -G (m_1 + m_2) / r^3 \mathbf{r}$  (mit  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ )

Vektorielle Multiplikation mit  $\mathbf{r} \rightarrow \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \times \mathbf{r} = 0$  (da  $\mathbf{r} \times \mathbf{r} = |\mathbf{r}| * |\mathbf{r}| \sin \alpha$ )

$$\frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \times \mathbf{r} = \frac{d}{dt} (\frac{d\mathbf{r}}{dt} \times \mathbf{r}) = \frac{d\mathbf{N}}{dt} = 0 \quad \text{mit } \mathbf{N} = (\frac{d\mathbf{r}}{dt} \times \mathbf{r})$$

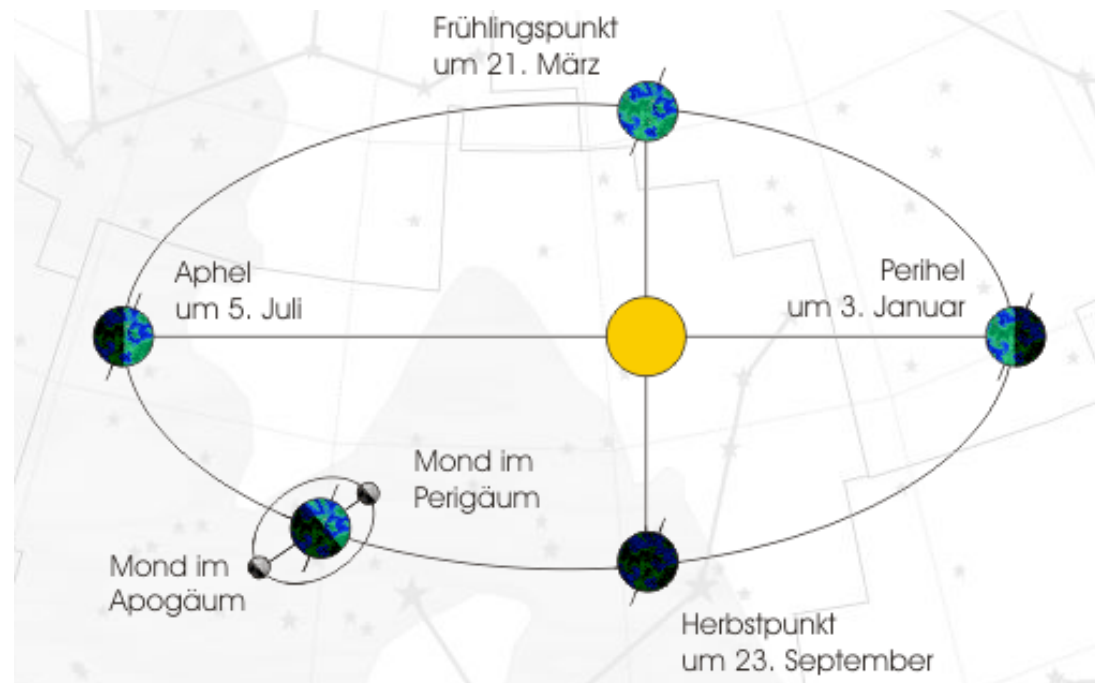
$\mathbf{N}$  ist bis auf die Masse der Drehimpuls  $\rightarrow$  Drehimpuls erhalten!

Blick auf die Flaeche:  $d\mathbf{F} = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times d\mathbf{r} = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt} * dt = \frac{1}{2} \mathbf{N} dt$   
 $\rightarrow$  da  $\mathbf{N}$  konstant folgt  $d\mathbf{F}/dt = \text{konstant}$  (2. Kepler Gesetz)

# Massenbestimmung

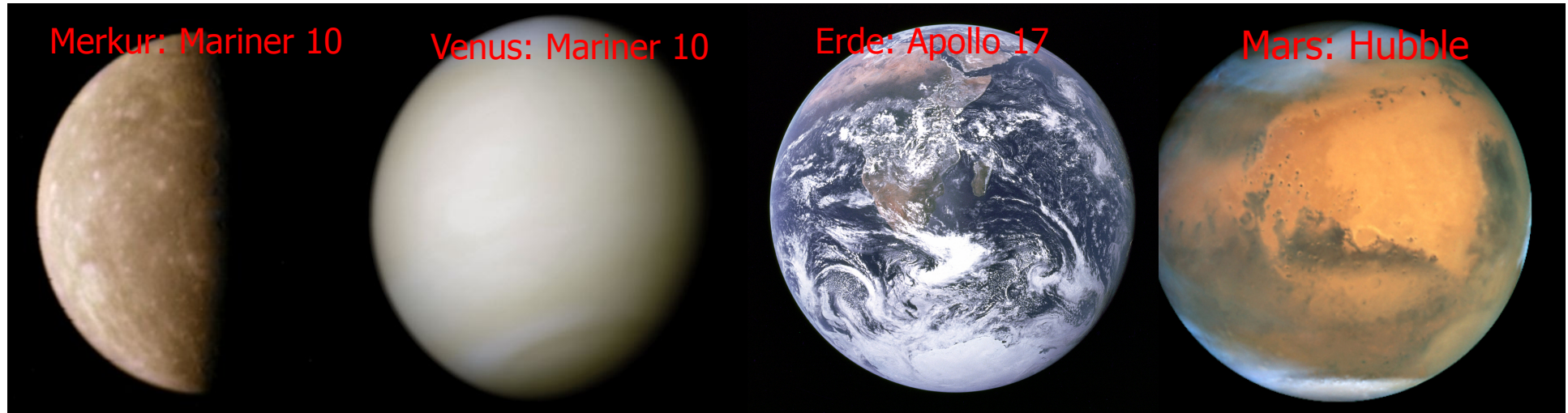
3. Keplerscher Gesetz  $U^2 = 4\pi^2 a^3 / (G(m_1 + m_2))$  essentiell zur Massenbestimmung. Zum Beispiel lassen sich mit Umlaufzeit  $U$  der Erde und deren Distanz  $a$  die Masse  $m_1$  der Sonne errechnen ( $m_2 \ll m_1$ ).

In gleicher Weise lassen sich unter Kenntnisse der Mondbahnen auch die Planetenbahnen bestimmen.





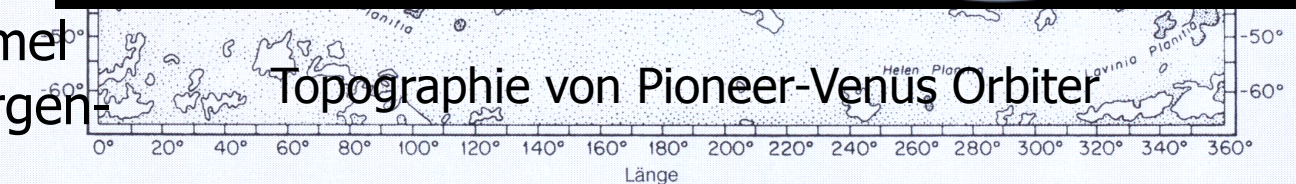
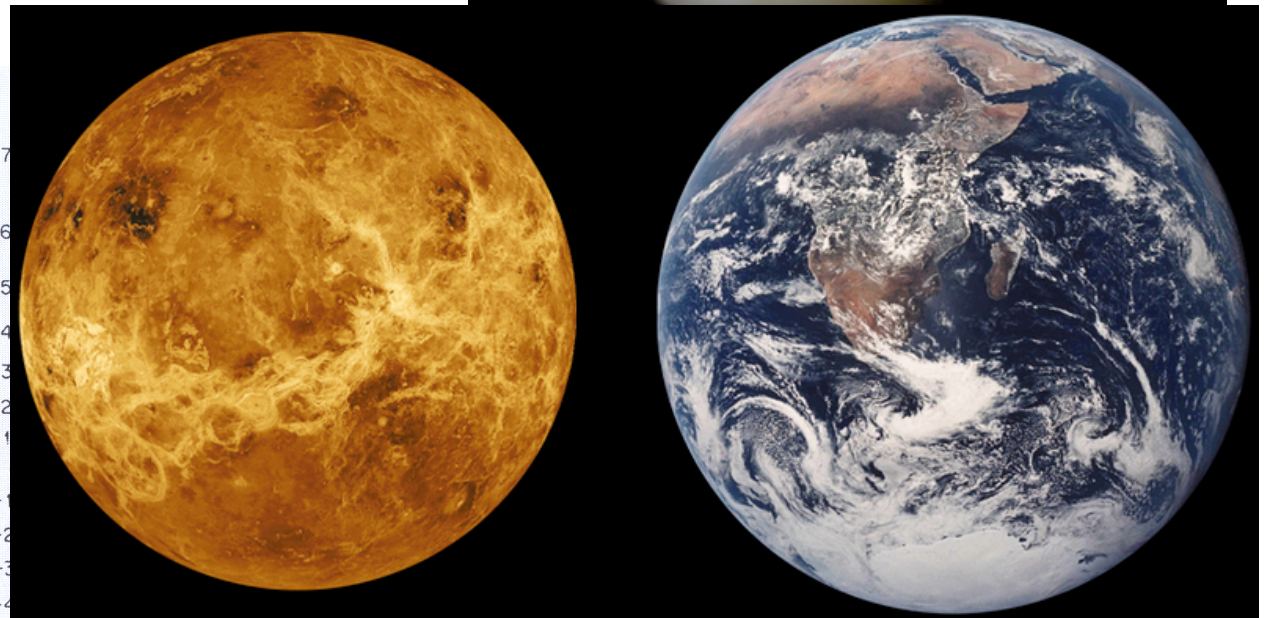
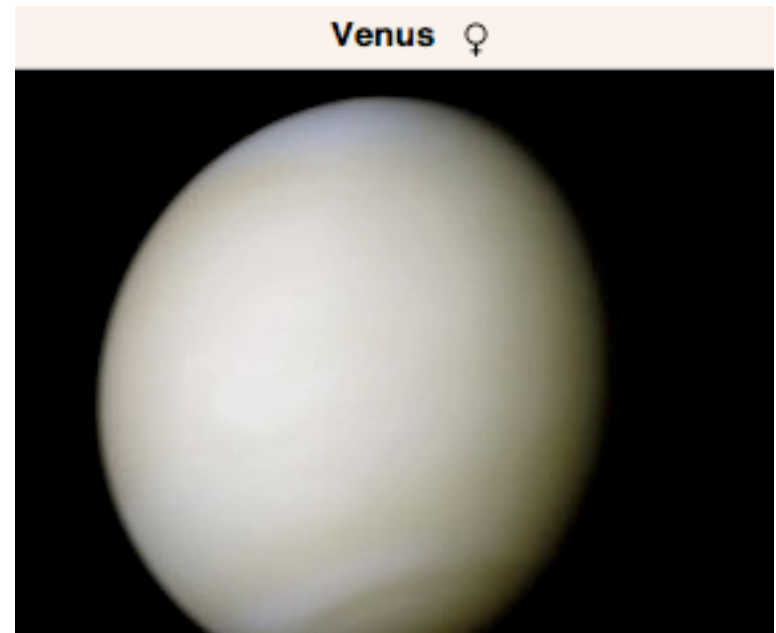
# Erdaehnliche Planeten



- Innerhalb des Asteroidenrings (Planetoidenring)
- Hauptsächlich bestehend aus Festkörpern
- Mittlere Dichten zwischen  $3900$  und  $5500 \text{ kg/m}^3$

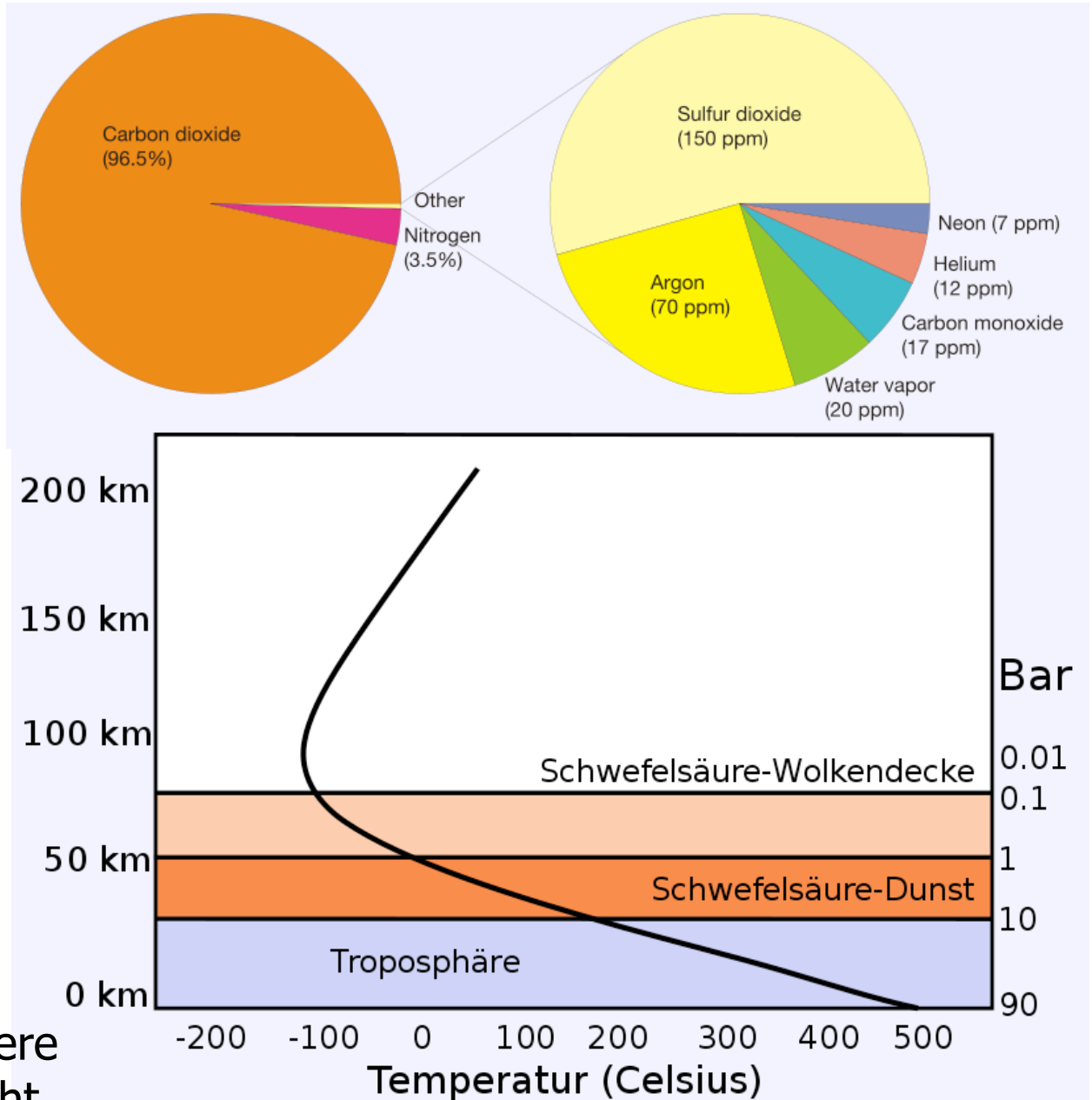
# Venus

- Schwierig zu beobachten, da von dichter Atmosphäre umgeben.
- Erkundung erst durch Radartechniken und Landungen von Raumsonden.
- Pioneer-Venus Orbiter vermess Topologie seit 1978 (14 Jahre lang). Venera 15 und 16 erreichten Mitte der 80er Jahre 1-2km Aufl.
- Magellan in den 90ern tauchte auch in Atmosphäre ein.
- Keine ausgeprägten Höhenunterschiede (<1km ueber 80% der Oberflaeche).
- Oberflaeche von Vulkanismus gepraeagt.
- Durchmesser aehnlich Erde aber ganz andere Atmosphäre.
- Hellste Objekt am Himmel nach Mond (Abend/Morgenstern).

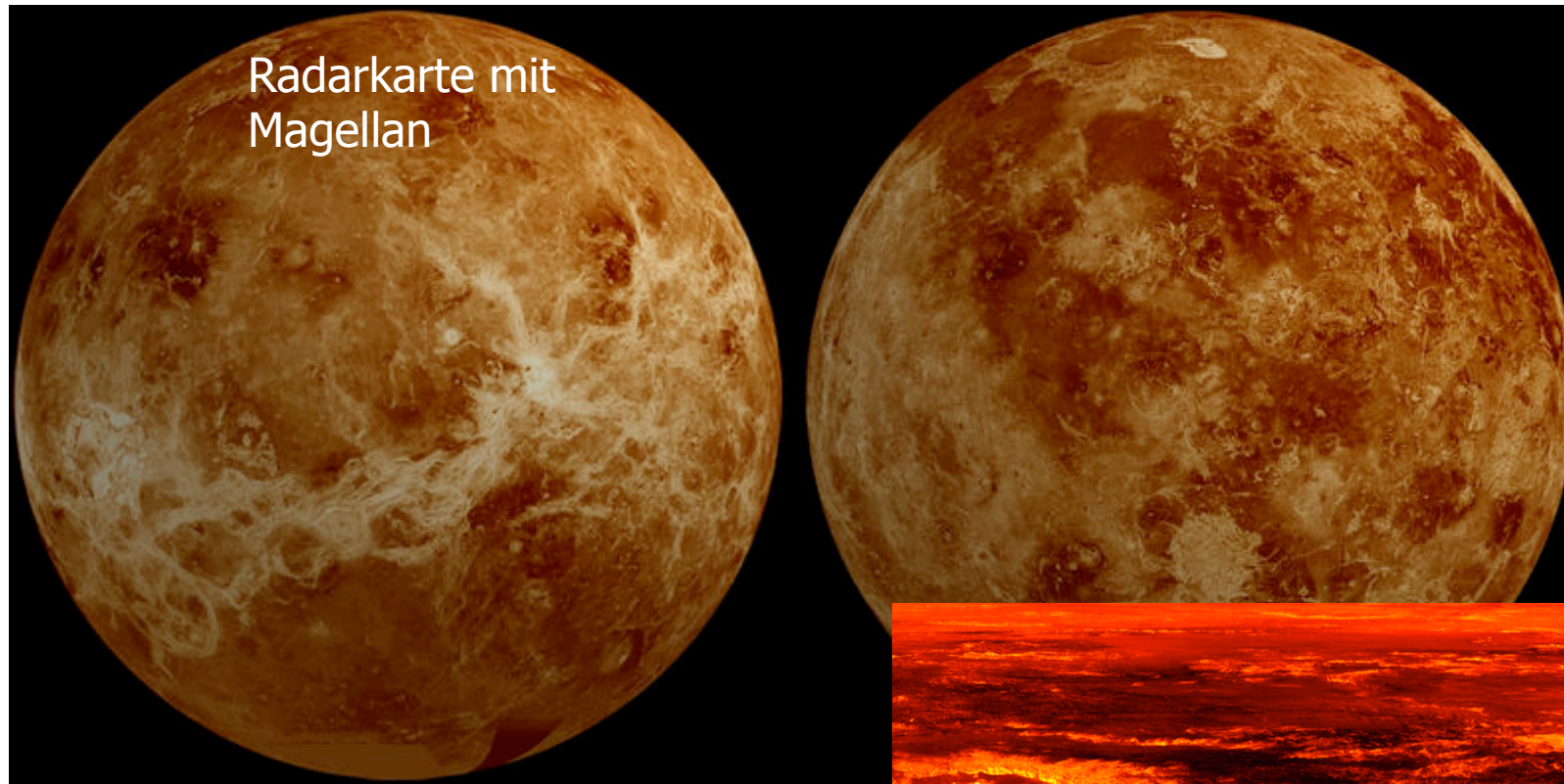


# Venus

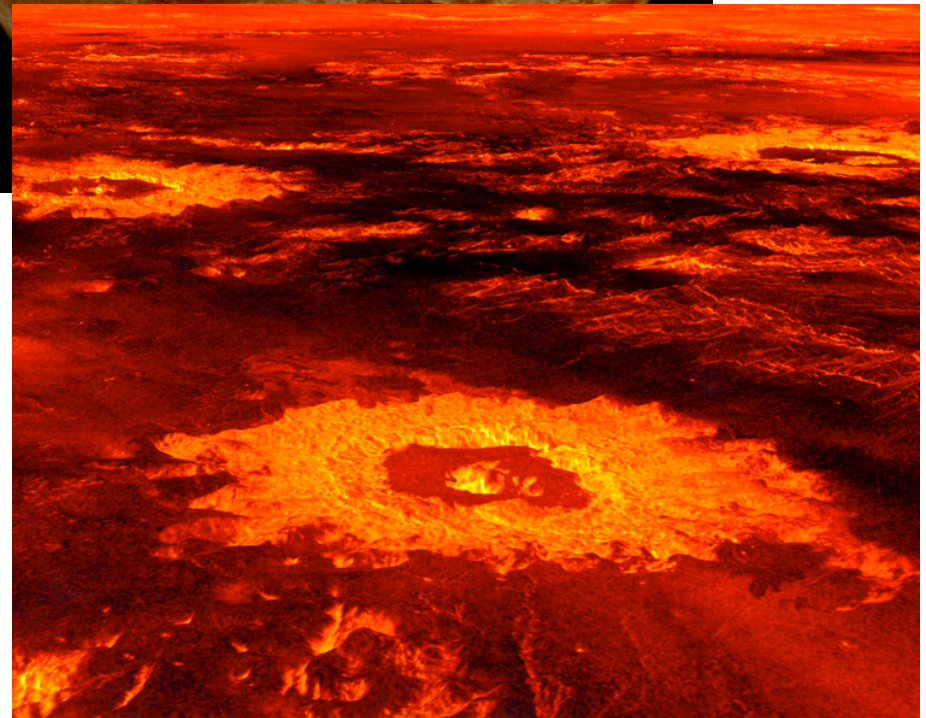
- Rotation retrograd (sonst nur Uranus und Pluto)
- Rotationsachse nur 2.6° gegen Bahnebene geneigt  
→ Keine Jahreszeiten
- Atmosphäre besteht hauptsächlich aus CO<sub>2</sub>.
- Masse der Atmosphäre ca. 90-fache der Erdluftmenge. Ca. 92bar am Boden, vergleichbar mit Druck bei 910m Tiefe auf Erde.
- 90% Masse in Troposphäre bis 28km Höhe. Entspricht ca. Masse 1/3 Weltmeere.



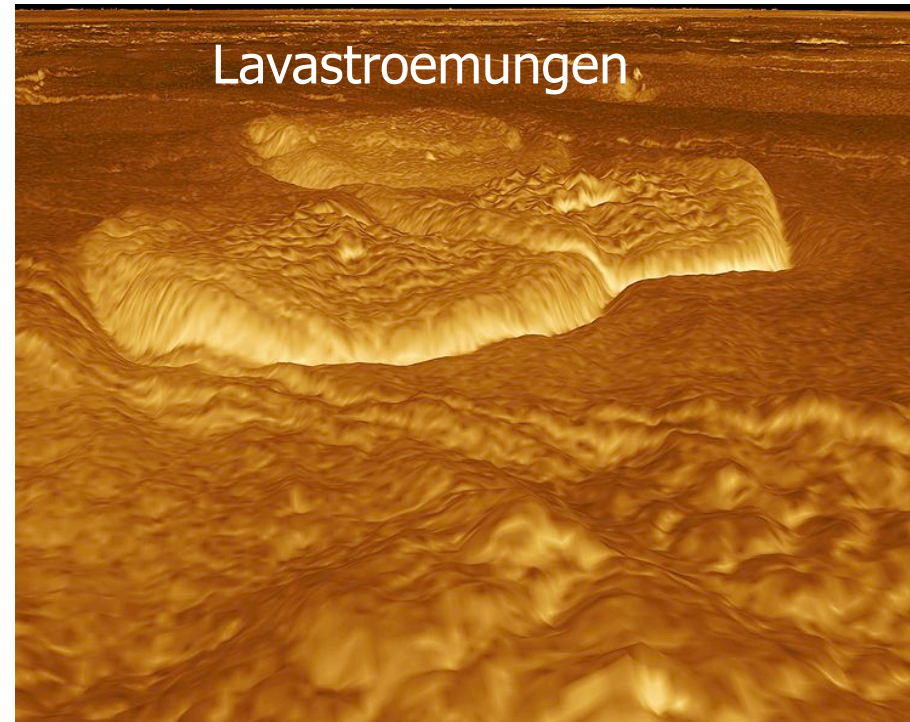
# Venus



- 963 Einschlagkrater (Doppelt so viele wie auf der Erde, aber nur 1/100 so viele wie auf dem Mond).
- Krater zwischen 1.5 und 300km Groesse. Kleinere Einschlaege werden durch die dichte Atmosphaere verhindert.



# Venus



- Ueber 50000 kleine Vulkane, 167 mit >100km Basis
- Es existieren auch grosse Strukturen, die eindeutig auf starke Lavastroemungen schliessen lassen.

Ueberraschend, dass Venus heute nahezu als geologisch tot erscheint...

- Keine Monde

# Venusanimation



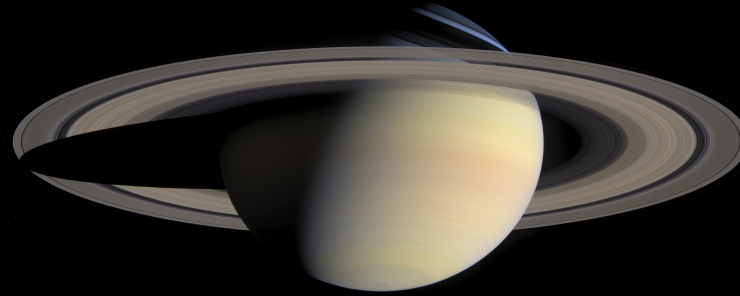
Animation hauptsaechlich aus Magellan Radarbildern,  
ergaenzt mit Pioneer und Venera Daten

# Gasriesen

Jupiter: Cassini



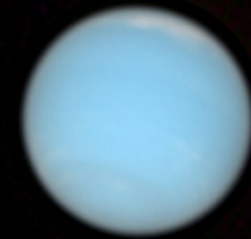
Saturn: Cassini



Uranus: Voyager 2



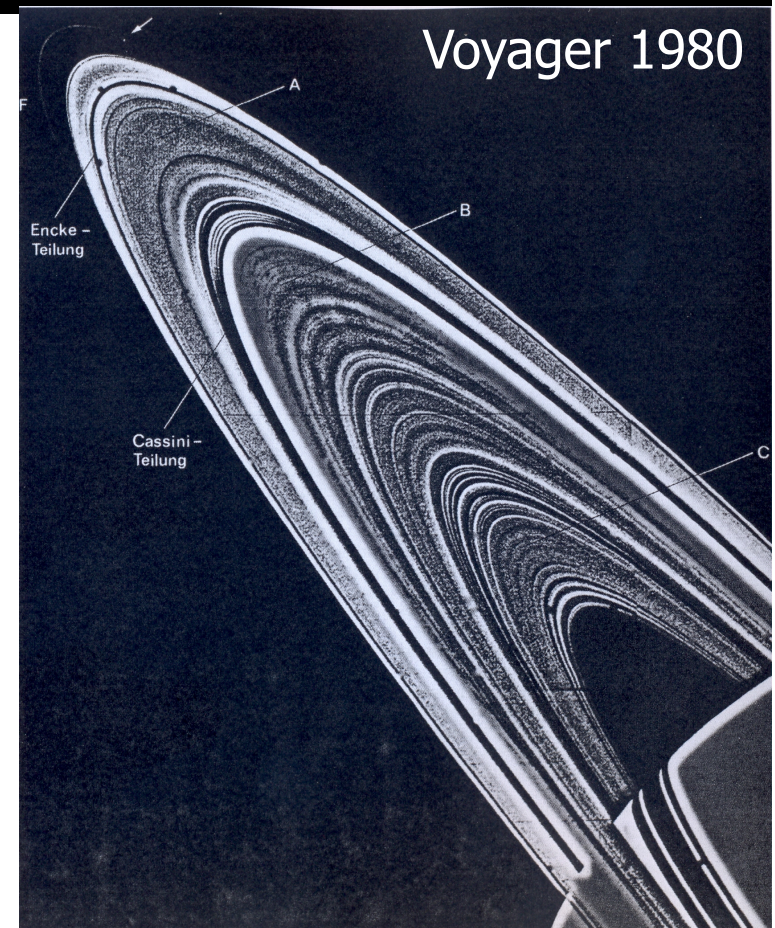
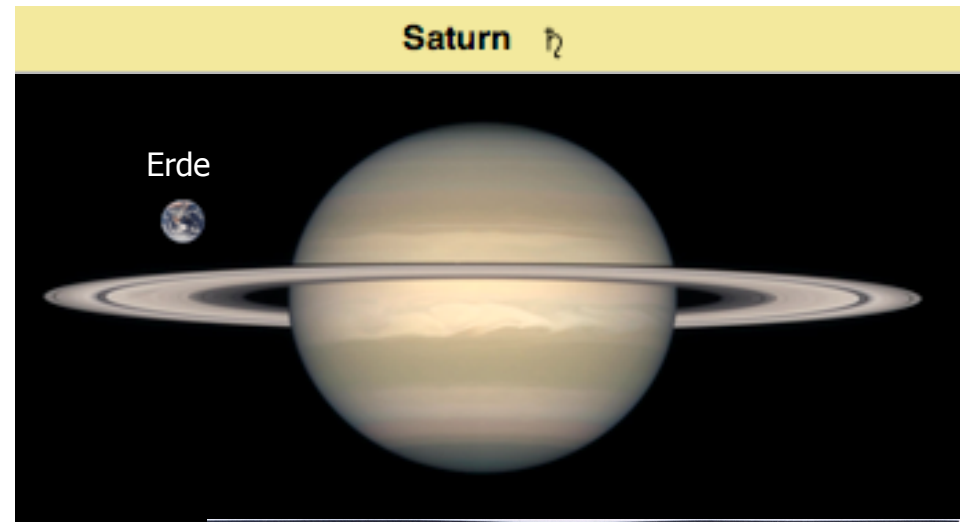
Neptun: Hubble



- Ausserhalb des Asteroidenguertels
- Bestehend hauptsaechlich aus Gas
- Mittlere Dichten geringer als bei erdaehnlichen Planeten, zwischen  $690$  und  $1640 \text{ kg/m}^3$

# Saturn

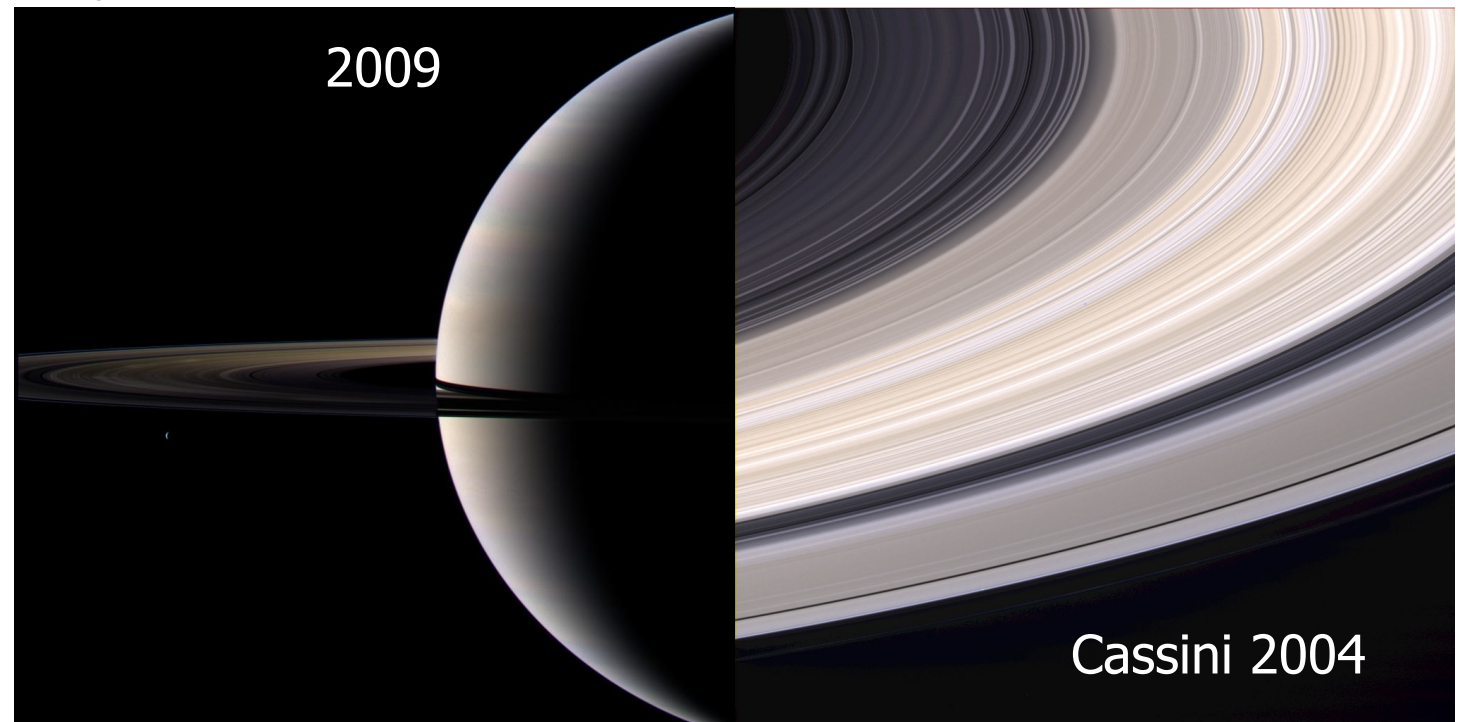
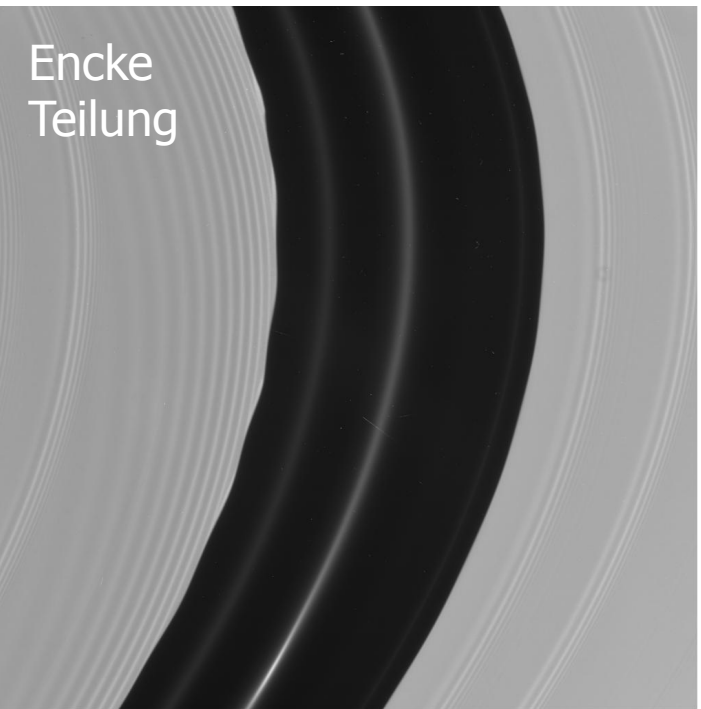
- 2. grösster Planet, niedrigste mittlere Dichte.
- Innerer Aufbau und Atmosphäre sehr ähnlich zu der Jupiters.
- Modellrechnungen ergeben einen Eis-Silikat Kern von  $\sim 16M_{\text{Erde}}$
- Atmosphäre hat geringeren He-Anteil ( $\sim 3\%$ ), Wasserstoff  $\sim 96\%$ .
- Nur geringe Exzentrizität der Bahn. Achsenneigung gegen Bahn nur  $\sim 2.5^\circ$ 
  - keine signifikanten Jahreszeiten.
- Hauptunterscheidung: ausgeprägte Ringstruktur, bekannt seit 1659 (Huygens)
- Ringe folgen 3. Kepler Gesetz → Teilchen
- Durchmesser Saturn  $15''$  bis  $20''$   
Durchmesser mit Ringen  $37''$  bis  $46''$ 
  - Ausdehnung 134000 bis 960000 km.
- Hauptringe mit Buchstabenbezeichnungen, klare Trennungen zwischen verschiedenen Ringen (z.B. Cassini & Encke Teilung)





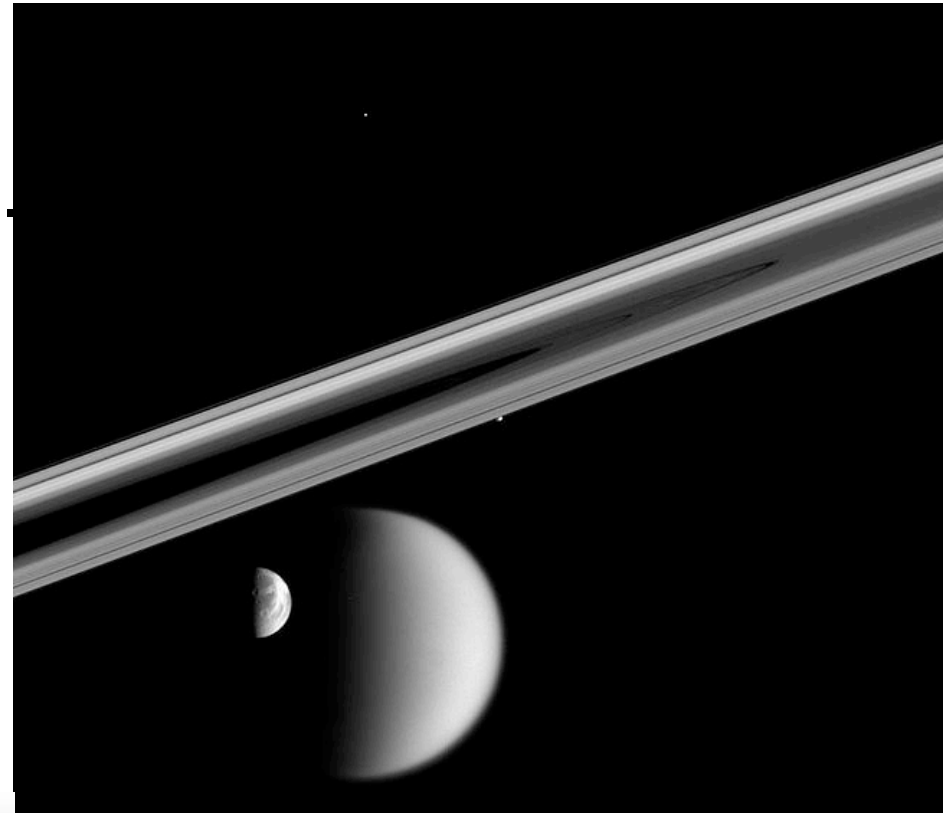
# Saturn

- Senkrecht zur Rinnebene sehr duenn,  $\sim 3\text{km}$
- Gesamtmasse Ringe  $\sim 10^{-5}M_{\text{Saturn}}$
- Mindestens 100000 Ringe.
- Bestehend aus Eis- und Gesteinsbrocken mit Groessen zwischen Staubteilchen und Metern.
- Teilungen wahrscheinlich durch kleine Monde hervorgerufen, auch noch duenne Ringe innerhalb der Luecken
- Entstehung der Ringe diskutiert: Mond durch Gezeitenkraefte zerissen, oder durch Kollision mit anderen Objekt. Ringe koennen aber auch gemeinsam mit Saturn entstanden sein.



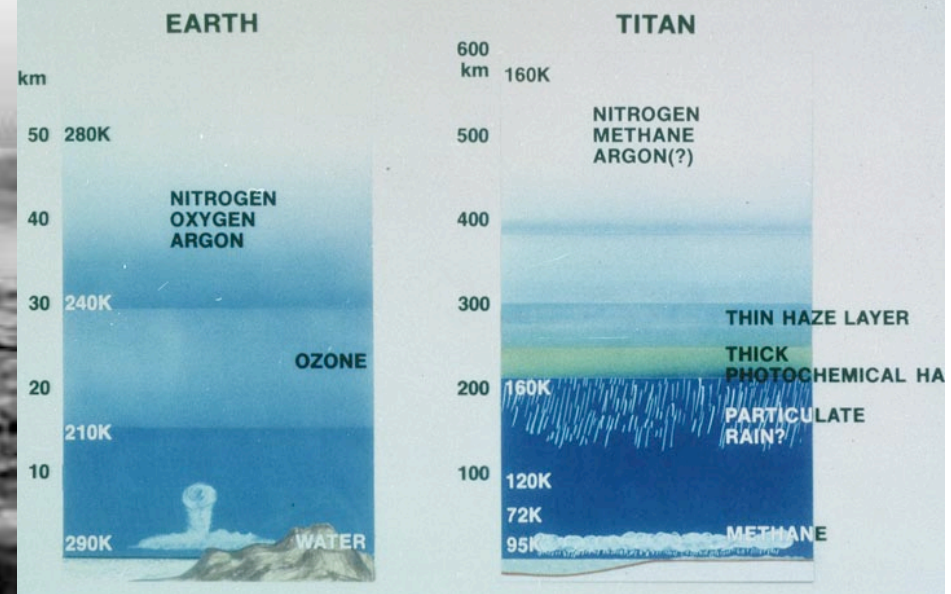
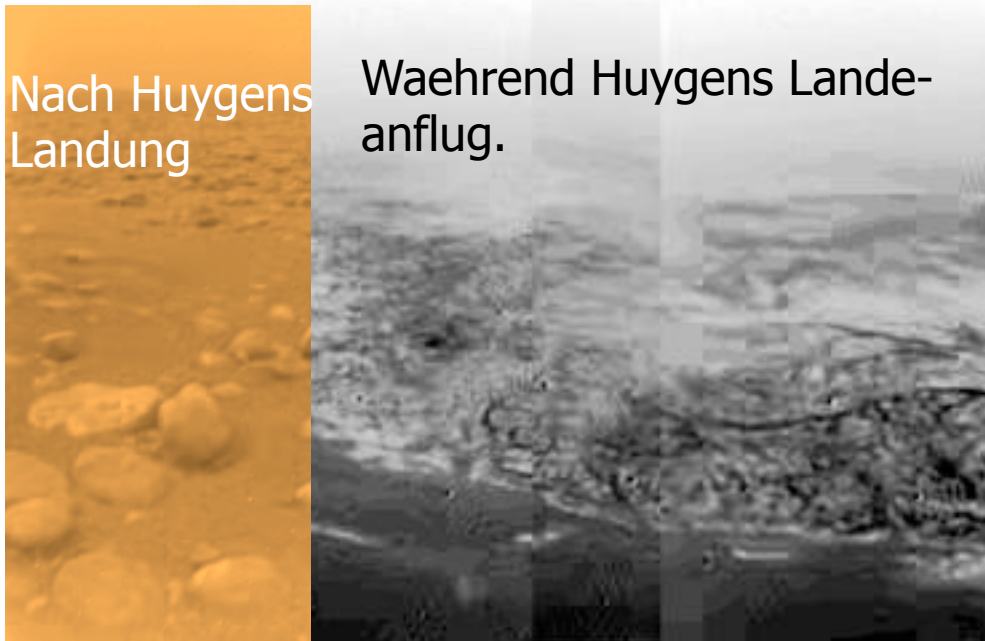
# Saturn

- Ueber 60 bekannte Monde.
- Titan der groesste mit 5150km Durchm.
- Titan gilt als der erdaehnlichste Koerper unseres Sonnensystems.
- Einziger Koerper mit Atmosphaere hauptsaechlich aus Stickstoff.
- Allerdings Lage von Titan zu weit von Sonne → zu kalt → Leben schwerlich moeglich.
- Landung von Huygens spektakulaer.



Nach Huygens  
Landung

Waehrend Huygens Lande-  
anflug.



Genie der Erinnerung – Marcel Proust und sein Jahrhundertroman > Feuilleton

# Süddeutsche Zeitung

NEUESTE NACHRICHTEN AUS POLITIK, KULTUR, WIRTSCHAFT UND SPORT

CHE.DE

HF1

MÜNCHEN, DONNERSTAG, 14. NOVEMBER 2013

69. JAHRGANG / 46. WOCHEN / NR. 263 /

## Licht

...tur der Tiere, dass  
... So jedenfalls se  
... und weil wir diese  
... auf den Tod nicht  
... n wir die Tiere so  
... te einmal einen  
... mens Bauschan,  
... literarisch aus  
... uschan? Nun,  
... Fritz Reuters  
... Auf gefährli  
... ne Leutheus  
... rem Dackel  
... Martin Lu  
... Hund von  
... ten vollen  
... Martin al  
... mag, der  
... Christen

... nd, um  
... marine,  
... e. Sol  
... erta.  
... licht  
... die  
... chü  
... für  
... es  
... m



## Tiefenschärfe

Der Saturn mit seinen wohl geformten Ringen bewirkt die Menschheit seit Langem. Jetzt führt die NASA die Faszination mit einer neu  
er Aufnahme. Die Weltraumbehörde hat ihre Raumsonde Cassini in einer Entfernung von 1,2 Millionen Kilometern vor dem Planeten  
positioniert lassen. So strahlen die dünnen äußeren Ringe wie hell  
weiß. Die Aufnahme setzte die NASA aus 141 Bildern zusammen

## REISE



**Augen auf Der Camel**  
Pushkar zählt zu den  
Besucher sollten ach

**Die dunkle Seite in**  
heute noch an die Sk  
guten Grund.

**Freie Wahlen Bei e**  
Passagiere jetzt sel  
essen wollen.

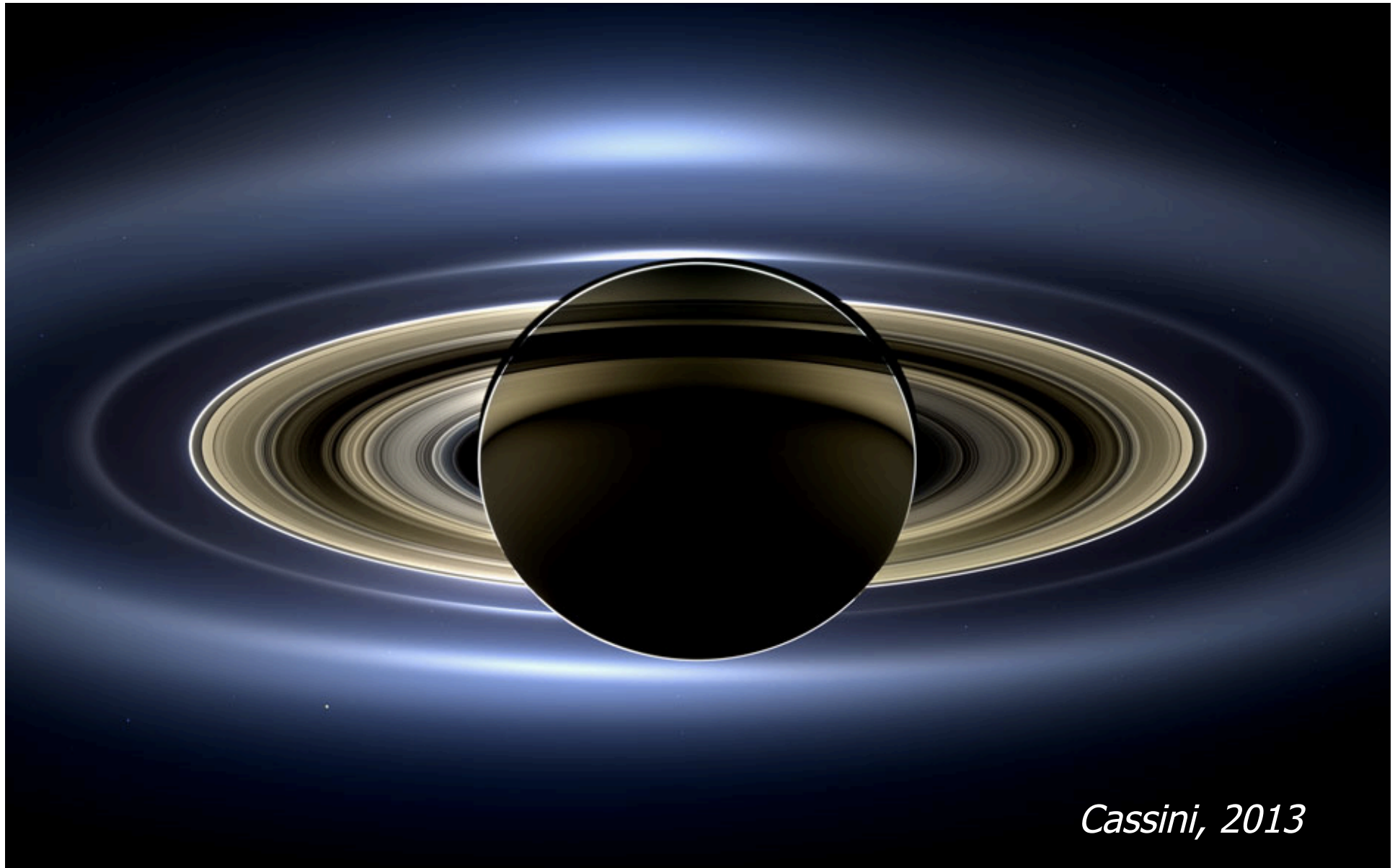
## EU prüft Export

Kommission  
Bundesreg

Brüssel - I  
hat an diese  
gegen die  
dem einig  
deutliche  
soweit d  
die Regel

14. November 2013

# Saturns Nachtseite im Gegenlicht



*Cassini, 2013*



Earth and moon

# Themen heute

*Dimensionen*

*Sonne - Erde - Mond System*

*Planeten*

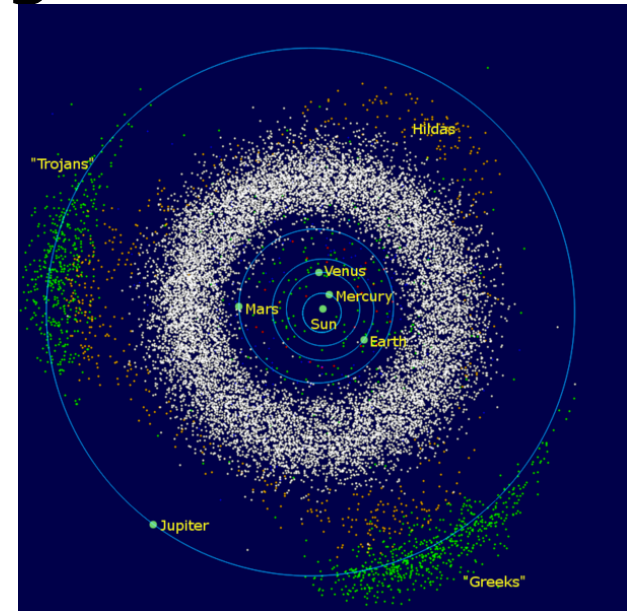
*(a) erdaehnliche Planeten*

*(b) Gasriesen*

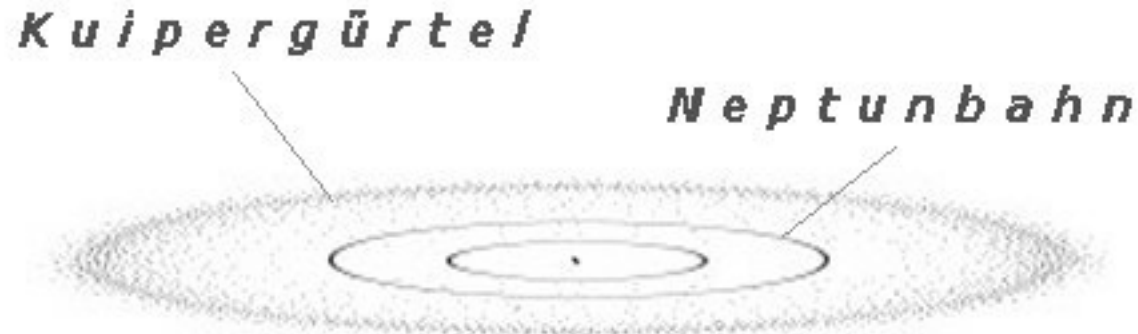
**Trans-Neptun Objekte, Kuiperguertel, Oort-Wolke  
und Asteroidenguertel**

# Asteroiden und Asteroidenguertel

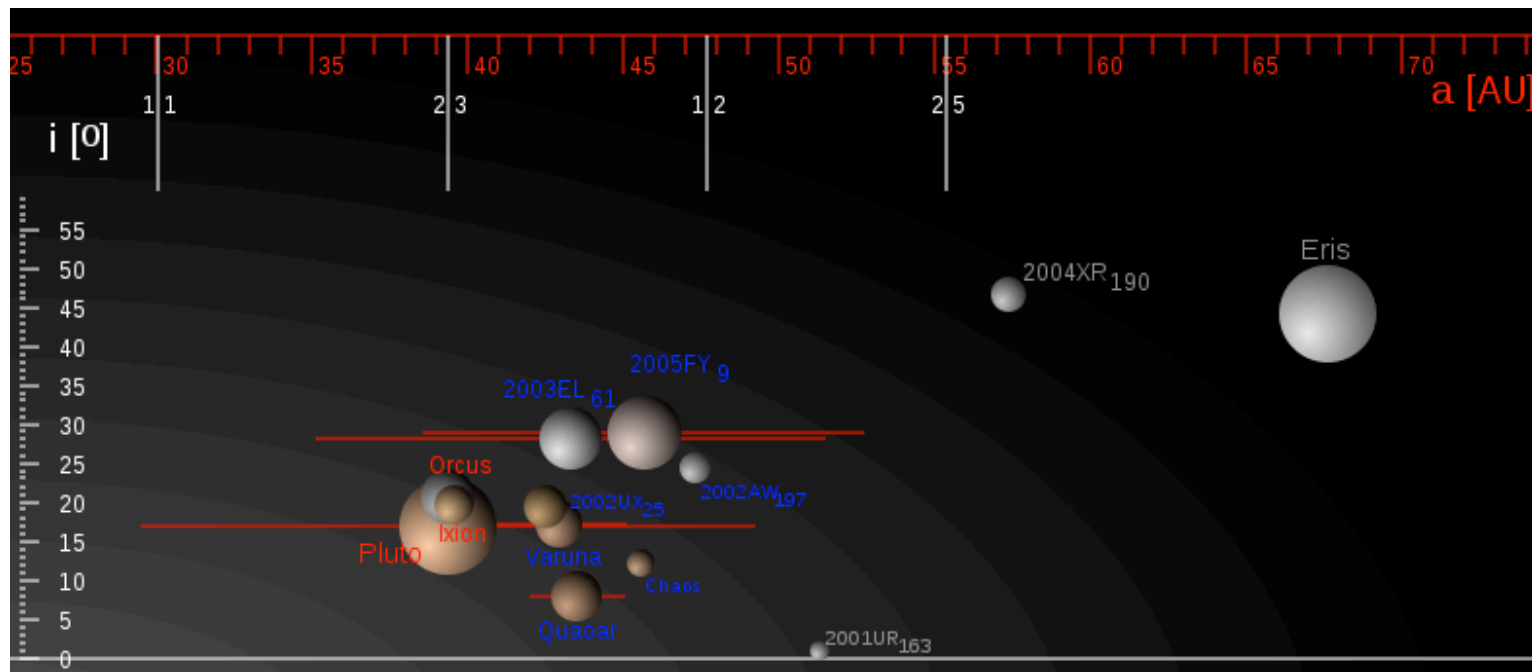
- Asteroidenguertel zwischen Mars- und Jupiterbahn.
- Mehr als 400000 Objekte mit Masse  $< 5\%$  Mond.
- Wahrscheinlich auch aus praesolarem Nebel entstanden, konnte sich aber vermutlich durch Einwirkung des nahen Jupiter nicht zum Planeten entwickeln.
- Objekte variieren zwischen kleinen unregelmäßig geformten Brocken, die aufgrund mangelnder Schwerkraft keine Sphaeren bilden koennen, bis zu Zwergplaneten.
- Asterioden hauptsaechlich auf Kreisbahnen  
→ kaum Kometen aus Asteroidenguertel



# Kuiperguertel und Trans-Neptun Objekte



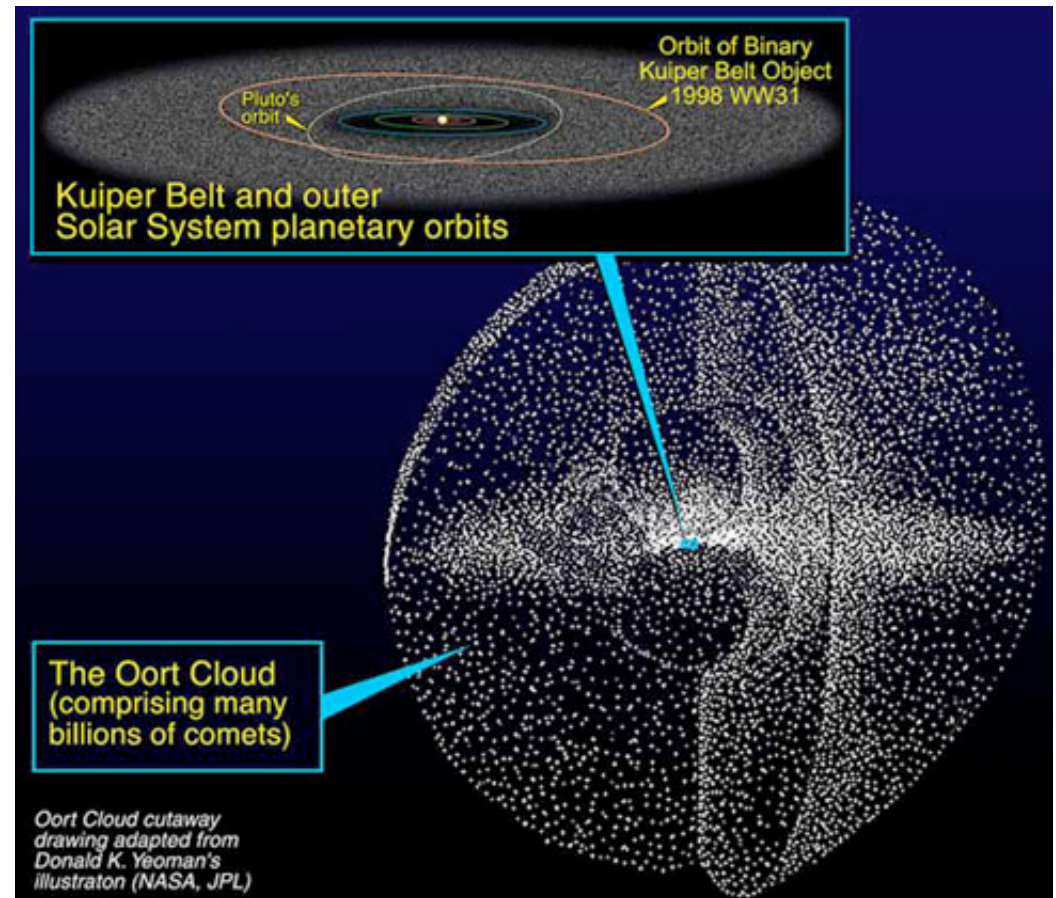
- Kuiper-Guertel erstreckt sich ca. 30 bis 50 AU, Heimat der TNOs und Kometen, geschätzt zwischen  $10^7$ - $10^{11}$  Objekte mit Groessen 1-1000km.
- Entstehung mit urspruenglichem Sonnensystem. Waehrend im dichteren Zentrum Planeten entstanden, formten sich draussen "nur" kleinere Objekte.





# Oortsche Wolke

- 1950 von Jan Hendrik Oort als Ursprung der langperiodischen Kometen postuliert.
- Exzentrizitaet und Neigung der Bahnen passte nicht zum Kuiperg.
- Oort Wolke sollte Sonnensystem schalenfoermig zwischen 300 und  $10^5$ AU umgeben.
- Bestehend aus Gesteins- Staub- und Eisklumpen unterschiedlicher Groesse.
- Wahrscheinlich wurden solche Planetesimale von Jupiter und anderen grossen Planeten in Aussenbereiche geschleudert. Dort konnten die Bahnen durch benachbarte Sterne so gestoert werden, dass die Verteilung heute nahezu isotrop ist. Geht vermutlich kontinuierlich in Kuiperguertel ueber.
- Obwohl Existenz nicht direkt bewiesen, deuten viele indirekte Zeichen die Echtheit dieser Struktur an.



# 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.)*

*14.01 Exoplaneten und Astrobiologie (H.B.)*

*16.01 Die Milchstrasse (H.B.)*

*23.01 Zusammenfassung (C.F. & H.B.)*

*06.02 Pruefung (C.F. & H.B.)*



ANHANG

# ANHANG

*Dimensionen*

*Erde - Sonne - Mond System*

## 5.2 Planeten

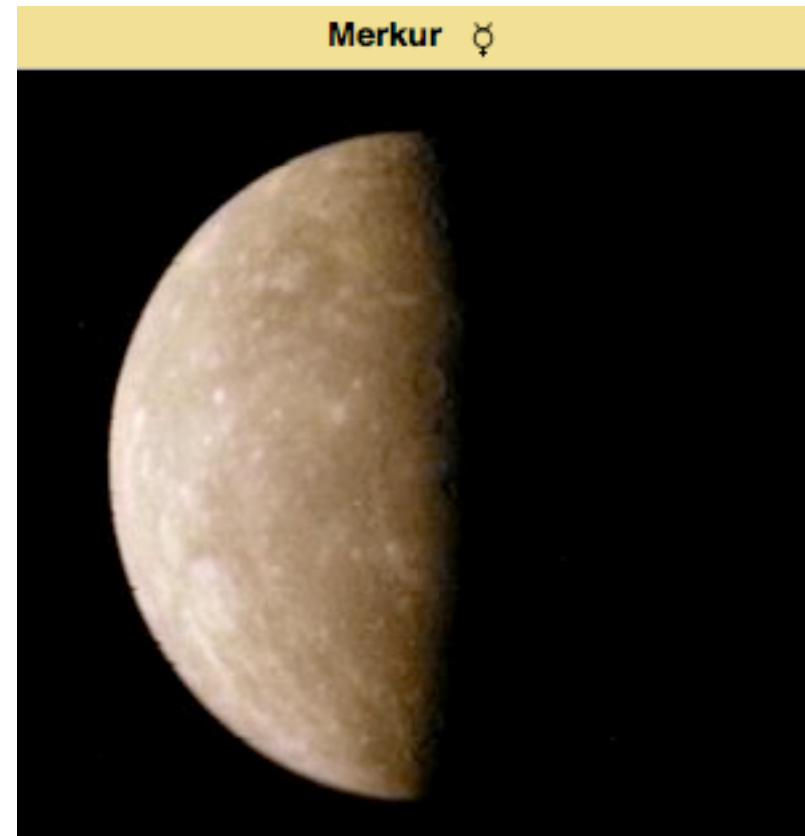
(a) erdaehnliche Planeten

(b) Gasriesen

5.3 Trans-Neptun Objekte, Kuiperguertel, Oort-Wolke  
und Asteroidenguertel

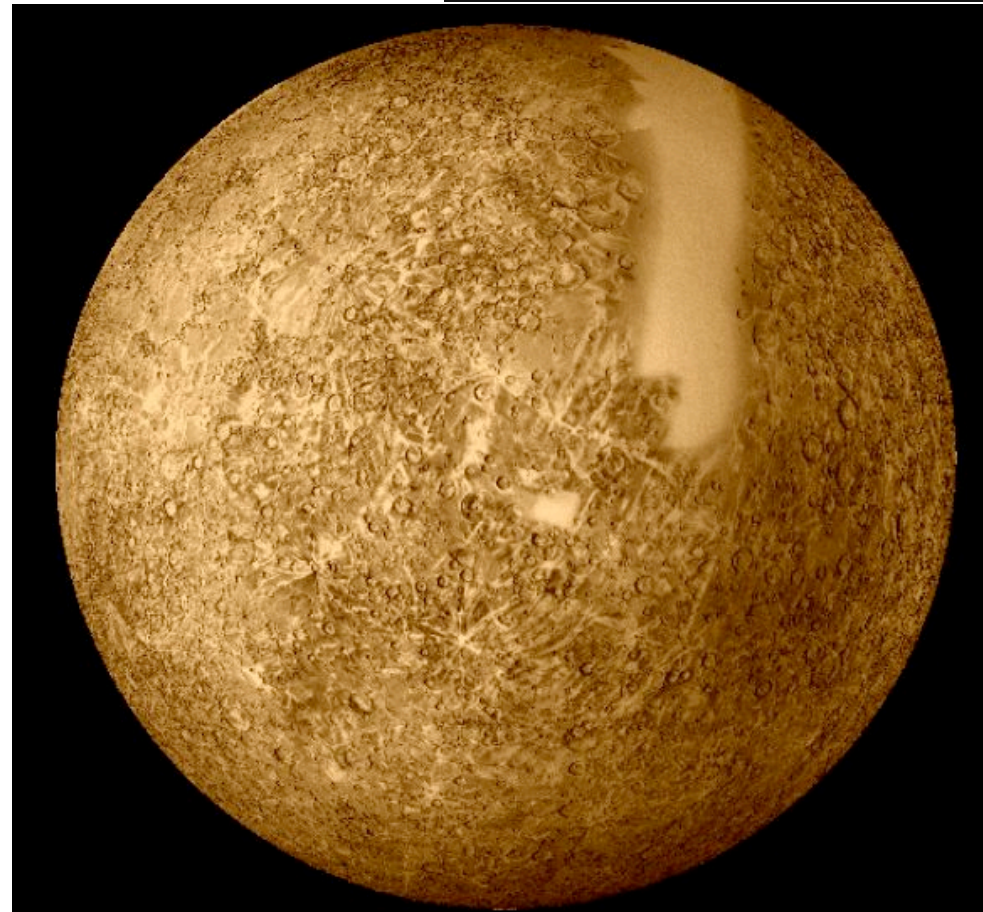
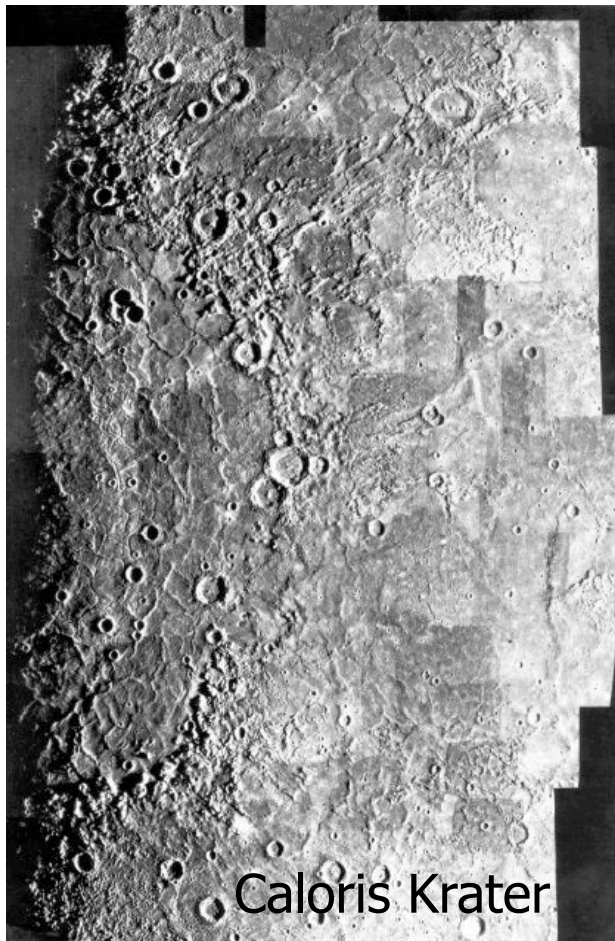
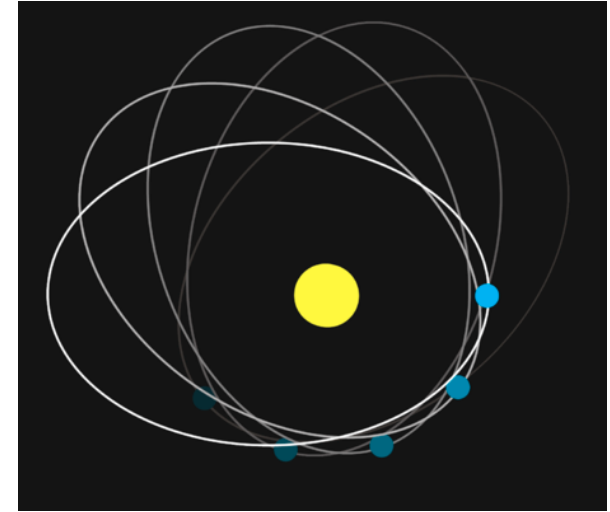
# Merkur

- Kleinster (Durchmesser  $\sim 4880\text{km}$ ) und sonnennahester Planet
- $<28^\circ$  von der Sonne  $\rightarrow$  schwer beobachtb.
- Rotationsdauer 58.68 Tage,  $2/3$  der Umlaufzeit von 88 Tagen.
- Stark exzentrische Bahn mit  $7^\circ$  Grad Neigungswinkel, Rotationsachse nahezu senkrecht zu Bahn.
- Mariner 1974/1975 uebermittelte zahlreiche Bilder mit Aufloesung vergleichbar mit erdgebundenen Mondbeobachtungen
- Dicht mit Kratern uebersaet, der groesste (Caloris) hat Durchmesser  $1300\text{km}$ .
- Wegen groesserer Schwerebeschleunigung veglichen mit dem Mond ist ausgeworfene Materie weniger weit von Kratern entfernt.
- Oberflaecheninformation auf Merkur (aehnlich wie Mond) groesstenteils erhalten, da vulkanische und tektonische Aktivitaet frueh erloschen.
- Kaum Verwitterung, da keine wirkliche Atmosphaere (geringer als Erdvakuum).
- Temperaturschwankungen Tag- und Nachtseite  $+430^\circ\text{C}$  und  $-170^\circ\text{C}$



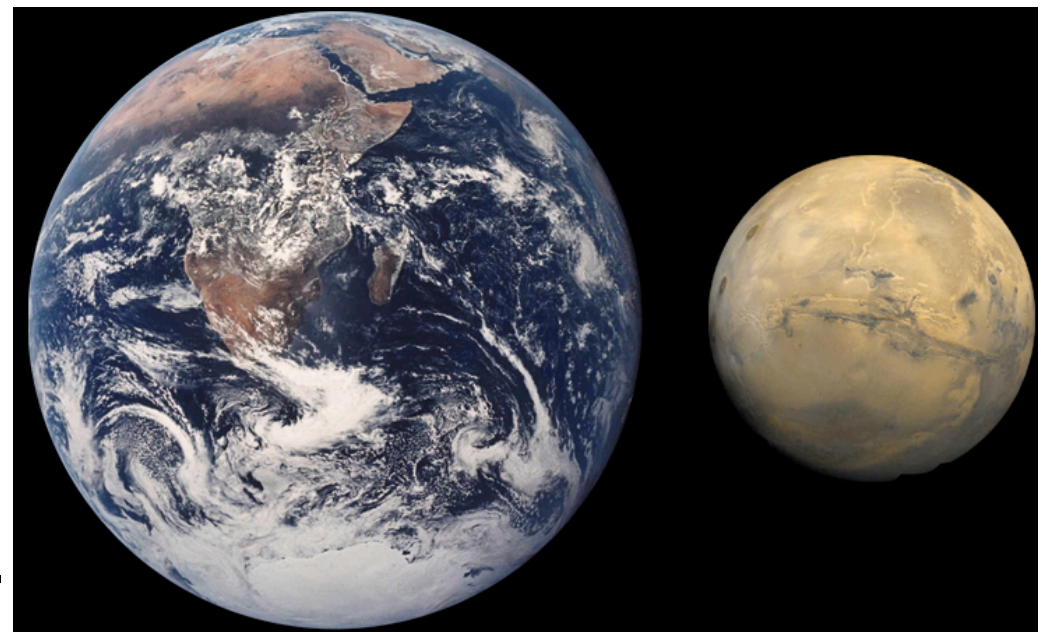
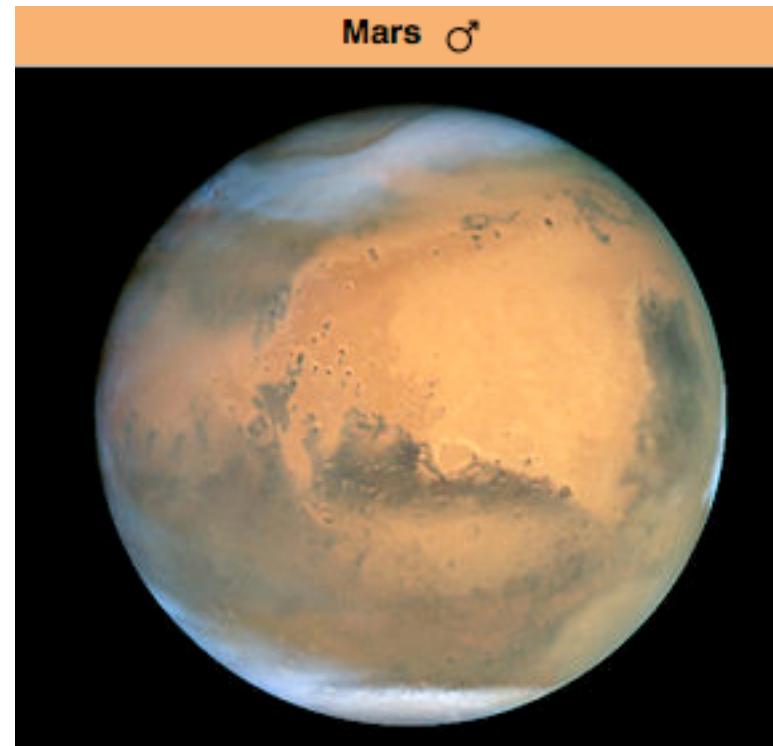
# Merkur

- Aufgrund von Bahnstörungen der anderen Planeten auf 2-Körperproblem zwischen Sonne und Merkur erfährt elliptische Merkurbahn eine Periheldrehung.
- Keine Monde



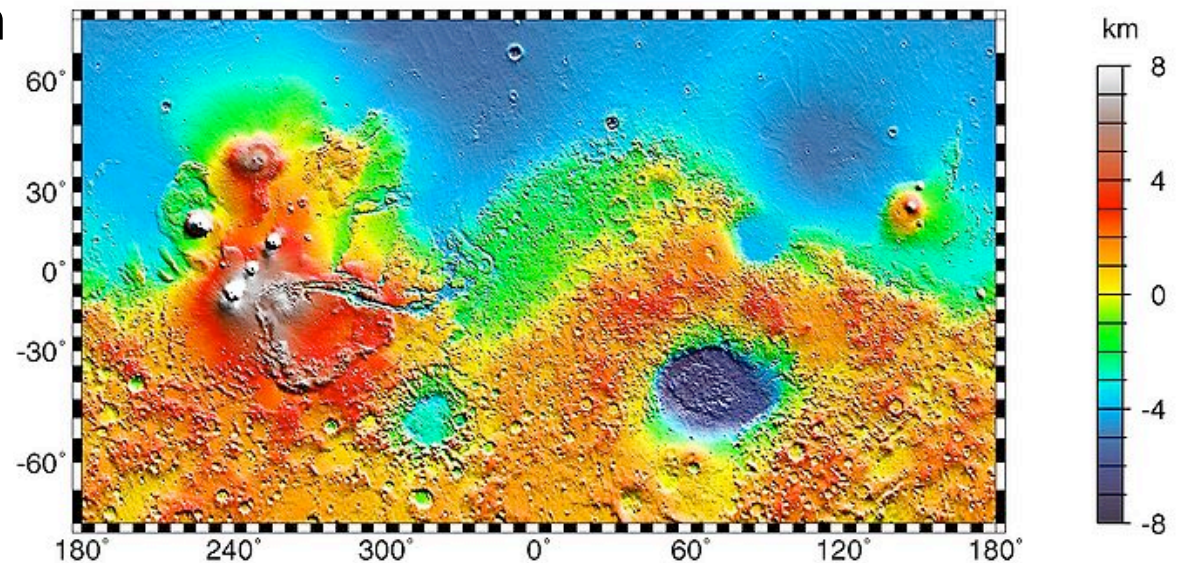
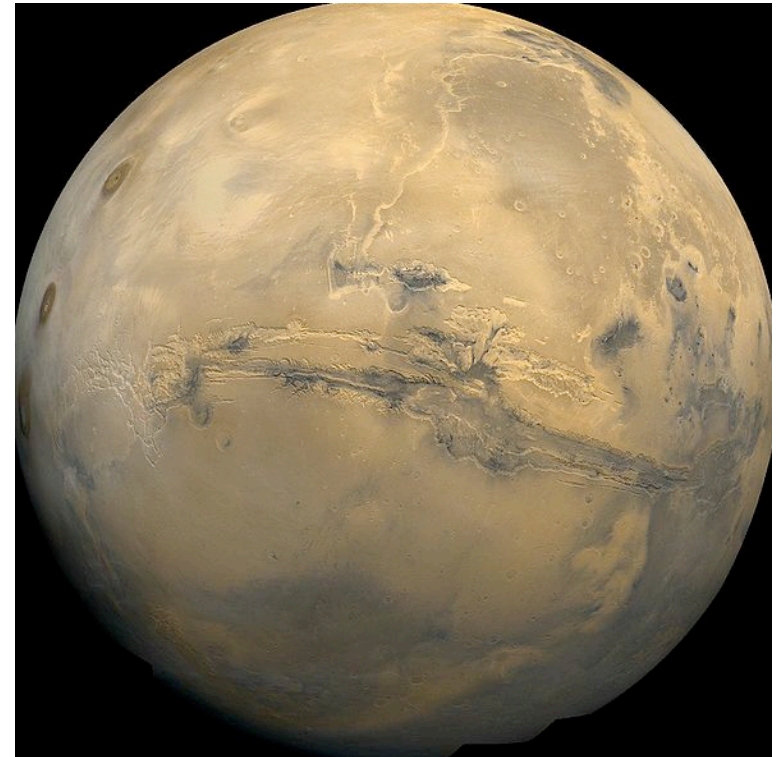
# Mars

- Zweitkleinster Planet nach Merkur.
- Ca. halb so gross wie die Erde.
- Kaum Atmosphaere → hohe Temperaturschwankungen zwischen  $-85$  und  $+20^{\circ}\text{C}$
- Spaerliche Restatmosphaere 95%  $\text{CO}_2$ , aber auch Methan und Formaldehyd detektiert. Herkunft unklar: Vulkanismus, Kometeneinschlaege, Mikroorganismen?
- Rote Faerbung wegen schwaecherer Streuung des kurzwelligen Lichts → hoher Anteil Eisenoxide
- Rotationsachse ca. 25 Grad gegen Bahn geneigt → Jahreszeiten
- Exzentrizitaet der elliptischen Bahn  $\sim 0.1$ , zweitgroesste nach Merkur  
→ Zusammen starke Wetterunterschiede zwischen Nord- und Sued: Suedsommer und Nordwinter im Perihel und umgekehrt.  
→ Norden milder!



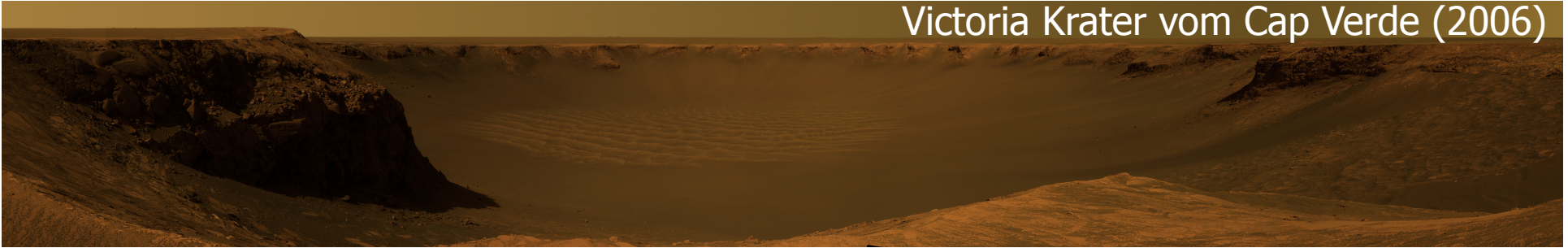
# Mars

- Groesster Teil des Mars wuestenartig. Aber Polkappen vereist ( $\text{CO}_2$  und  $\text{H}_2\text{O}$  Eis).
- Aufgrund des niedrigen Atmosphaerendrucks kann Wasser heute nicht fluessig existieren.
- In Vergangenheit vermutlich dichtere Atmosphaere und fluessiges Wasser moeglich.
- Starke topographische Unterscheidung zwischen Nord & Sued.
- Diese Dichotomie koennte durch ein fruehes Impaktereignis hervorgerufen worden sein, Einschlag eines Asteroiden koennte Silikatkruste zerschlagen und Lava austreten lassen.



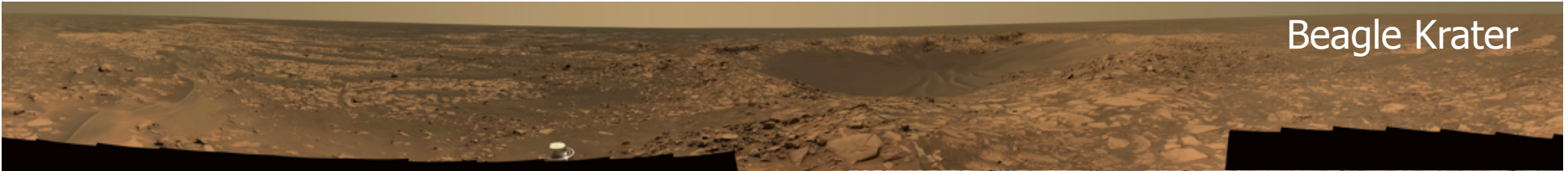


Victoria Krater vom Cap Verde (2006)



The image cannot be displayed. Your computer may not have enough memory to open the image, or the image may have been corrupted. Restart your computer, and then open the file again. If the red x still appears, you may have to delete the image and then insert it again.

Beagle Krater



Sonnenuntergang am Gusev Krater (2005)



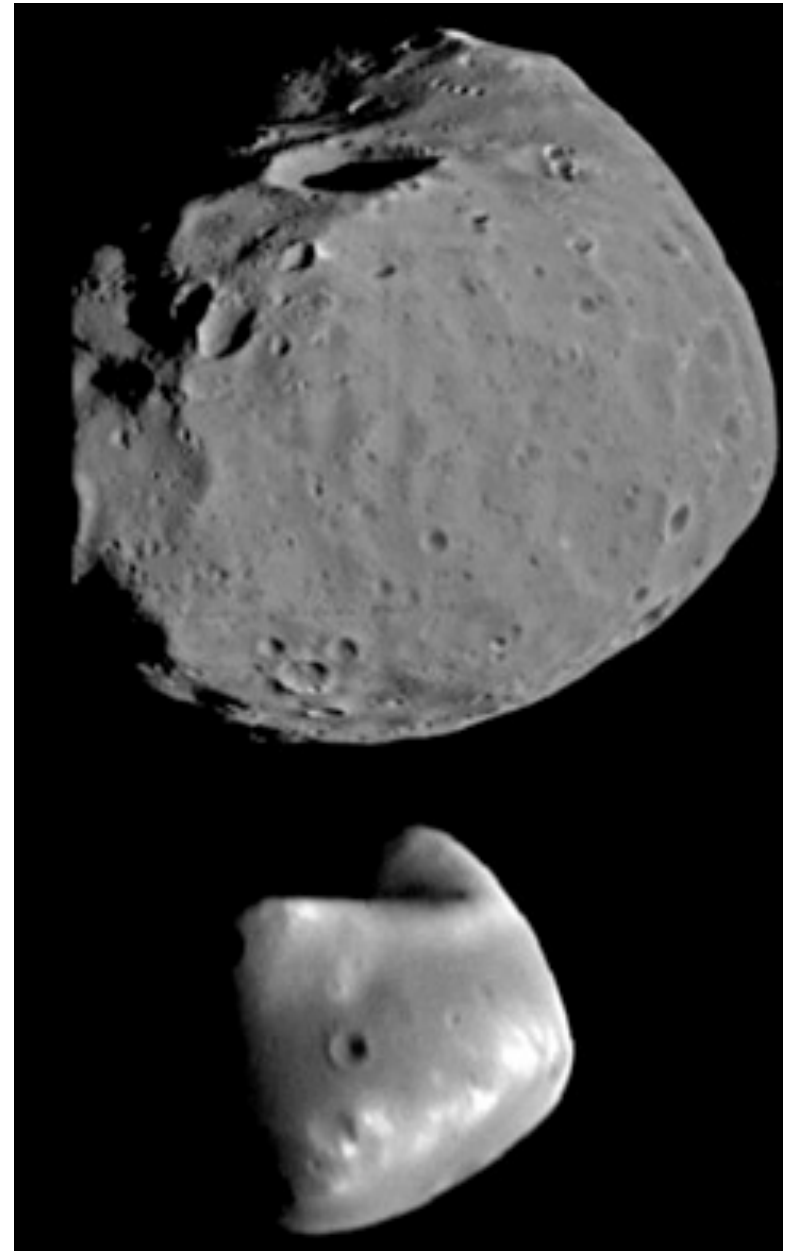
Röver Opportunity

# Marsmonde

- 2 Monde: Phobos & Deimos
- Durchmesser ca. 23 und 12 km
- Abstand Mars 9400 & 23500km  
(vergleiche Mond 380000km)
- Nahezu jeder Phobosumlauf produziert Sonnenfinsternis.

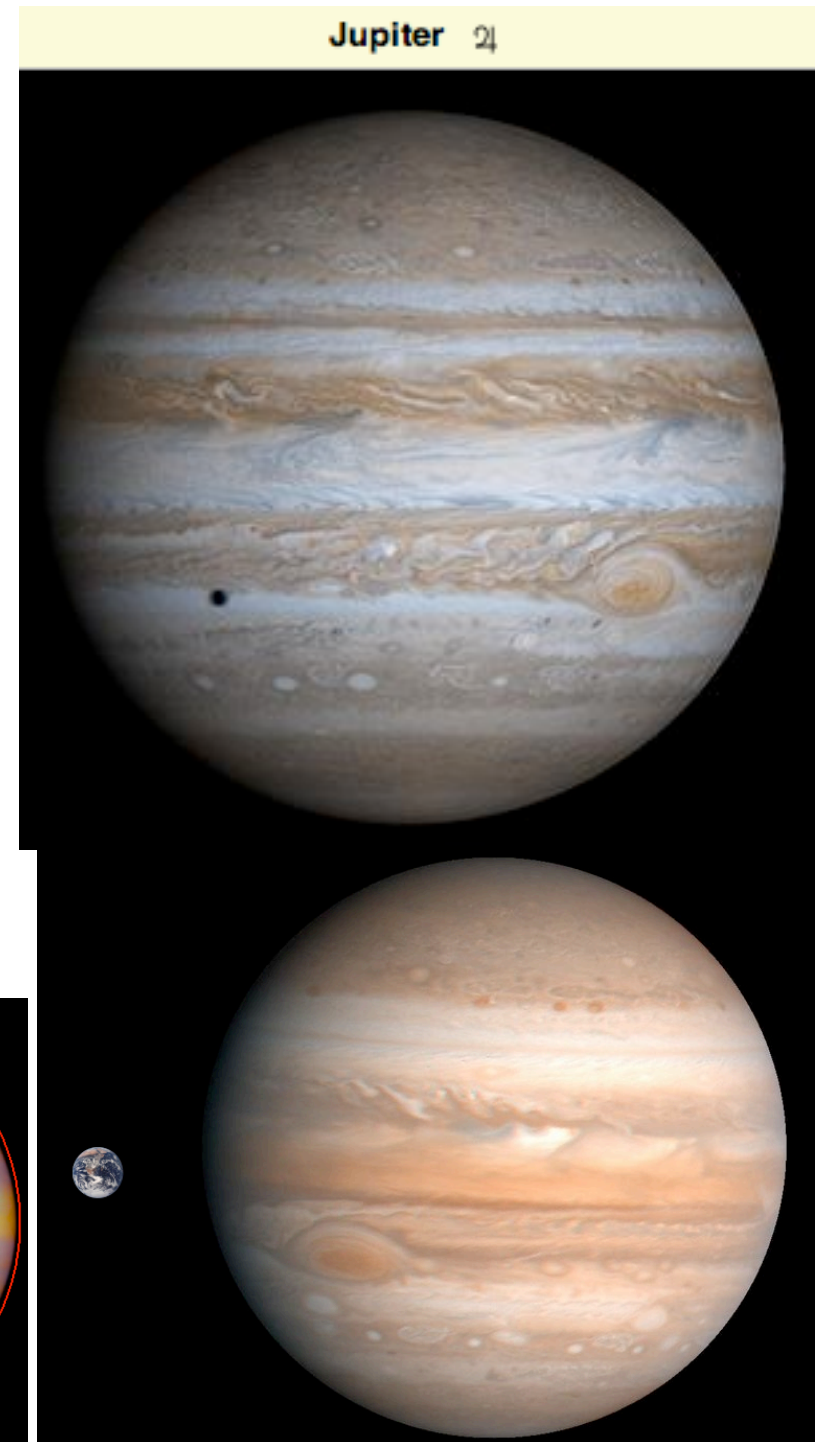
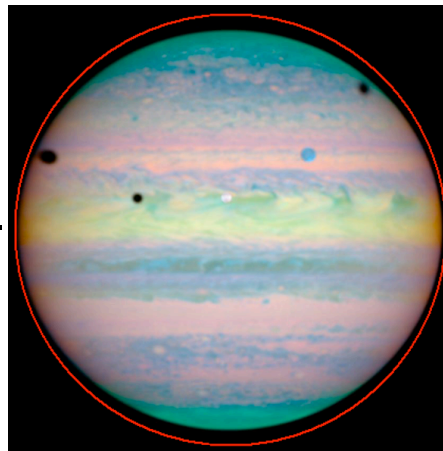
Partielle Sonnenfinsternis durch  
Phobos

Beobachtet mit Opportunity



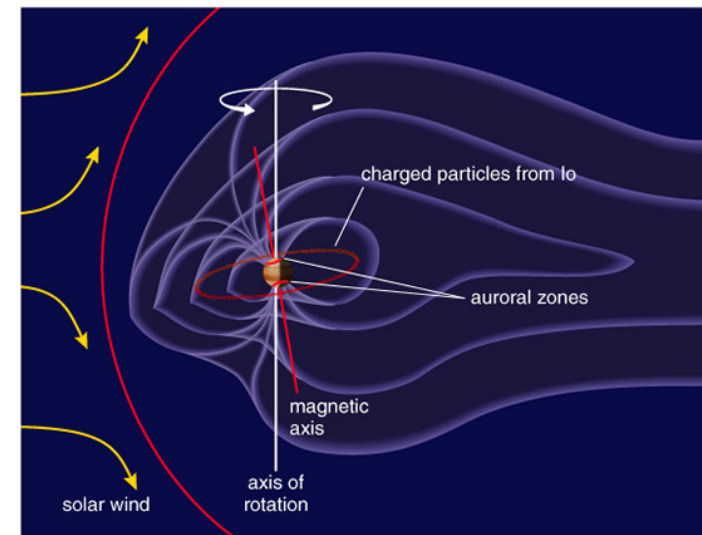
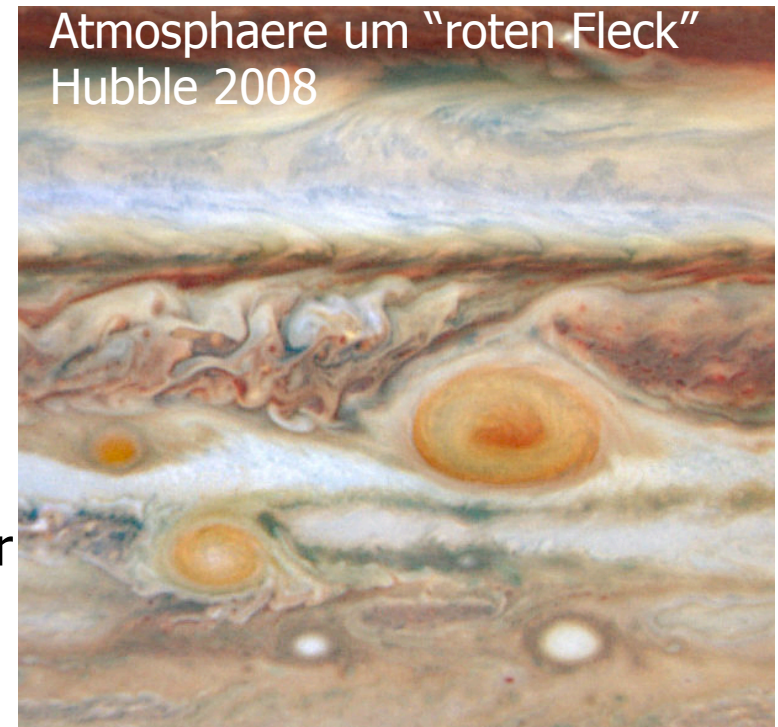
# Jupiter

- Groesster und massereichster Planet, Durchmesser  $\sim 10^*$  Durchmesser Erde, Masse  $\sim 300 * M_{\text{erde}}$
- Schnelle Drehung mit Rotationsperiode von ca. 10h  $\rightarrow$  Abplattung an Polen durch Fliehkräfte.
- Nahezu massereichstes Objekt ohne Kernfusion. Ab  $13 M_{\text{jup}}$  begaenne Deuteriumbrennen, ab  $75 M_{\text{jup}}$  Wasserstoffbrennen.
- Keine feste Oberflaeche. Definiert man Region mit 1bar Druck als Oberflaeche, dann dortige Temperetur  $\sim 165\text{K}$ .
- Hauptsächlich Gas. Ab einem kritischen Druck gehen Gase in fluessige Phase ueber.
- $< 25\%$  Radius $_{\text{jup}}$ , ca.  $3 * 10^8 \text{bar}$   $\rightarrow$  Wasserstoff wird "metallisch"
- Vermutlich im Zentrum Gesteins-Eis-Kern mit schweren Elementen ( $\sim 20 M_{\text{Erde}}$ )



# Jupiter

- Dichte Atmosphaere mit ausgepraegter Streifenstruktur auf grossen Skalen.
- Im Detail Wolkenbaender, Konvektionszellen, Stroeme, Wirbel und Zirkulationssysteme.
- Langlebige Strukturen wie der "rote Fleck", aber auch Veraenderungen in wenigen Tagen.
- Wirbelsturm "roter Fleck" ca. 2 Erddurchmesser und seit ca. 300 Jahren bekannt (1664 Hooke).
- Hauptbestandteile H ( $\sim 89\%$ ) und He ( $\sim 10\%$ ).
- Weitere Komponenten: Methan  $\text{CH}_4$ , Ammoniak  $\text{NH}_3$ , Ethan  $\text{C}_2\text{H}_6$ , Acetylen  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , HCN und deuterierte Molekuele wie HD, chemische Verbindungen von O, S, aber auch Edelgase wie Ne.
- Starkes Magnetfeld  $\sim 1200\mu\text{T}$  ( $20 \times$  Erde). Entstehung noch unklar, allerdings wahrscheinlich, dass metallischer Wasserstoff und schnelle Rotation wichtig sind.
- Sehr grosse Magnetosphaere, auf Sonnen-

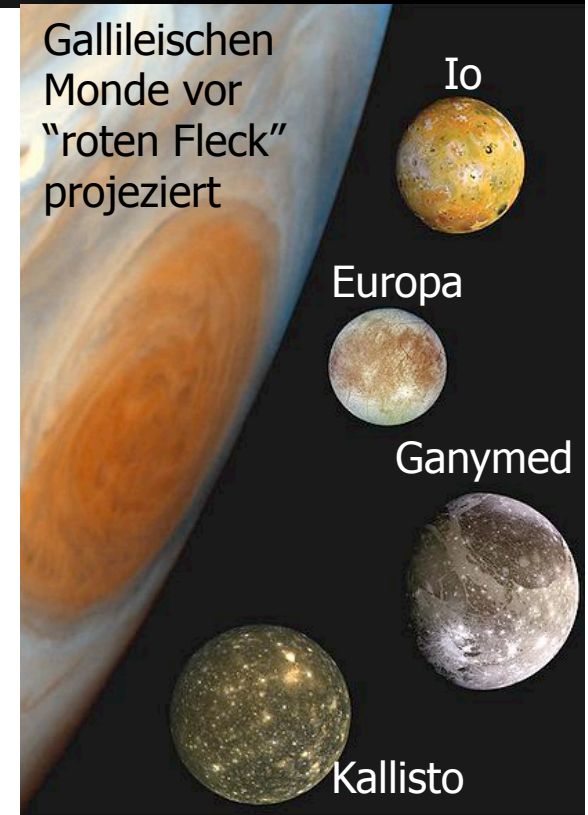
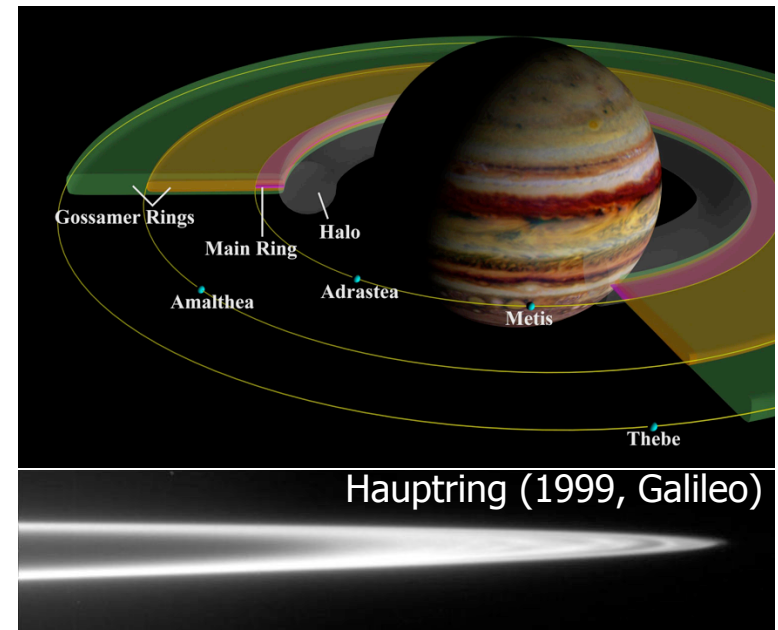


# Jupiter

zugewandter Seite  $\sim 6 \times 10^6$  km, auf sonnenabgewandter Seite,  $700 \times 10^6$  km, fast bis Saturn.

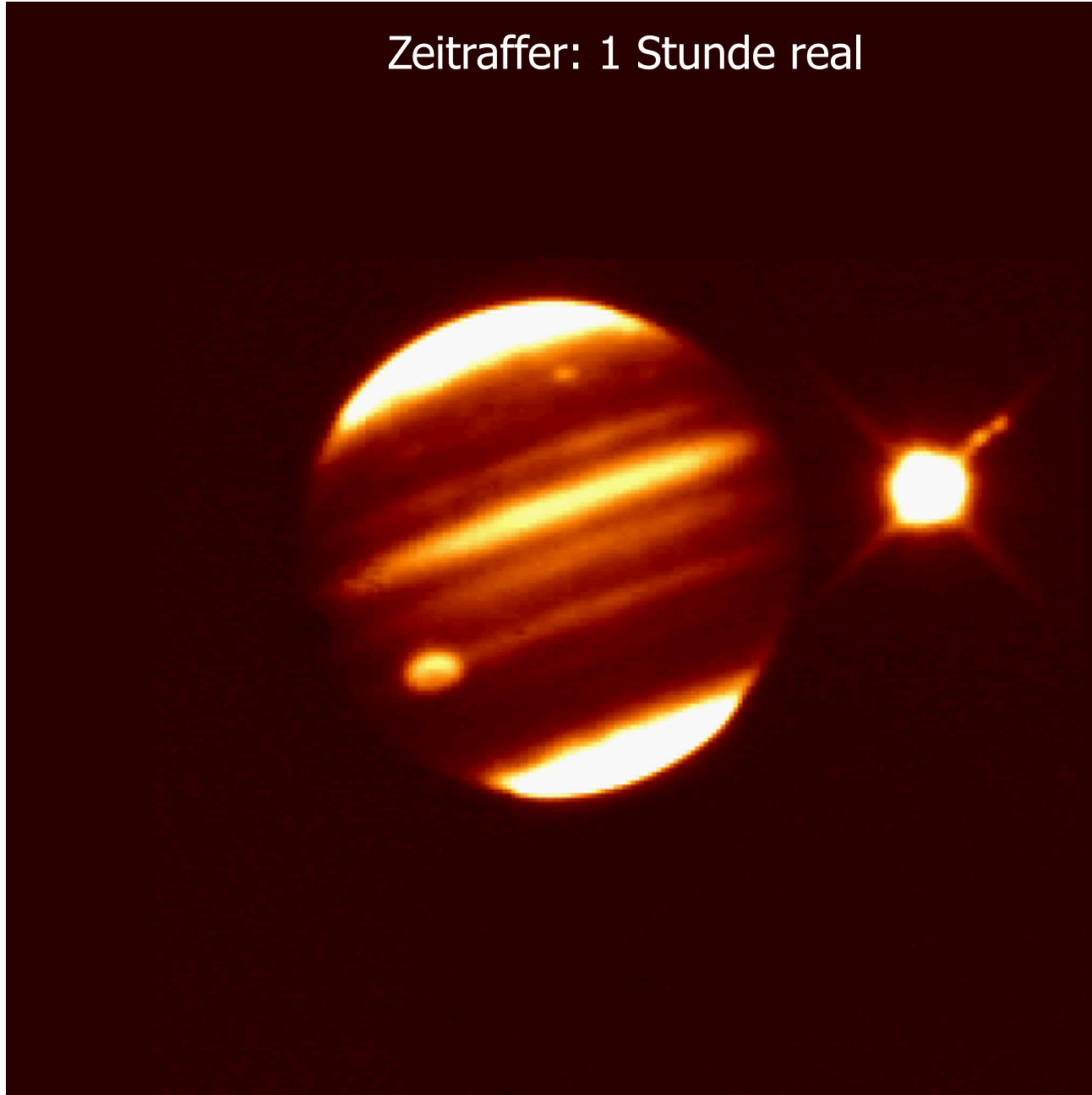
- Jupiter hat auch ein Ringsystem, allerdings geringer ausgeprägt als bei Saturn.
- Ringsystem wird sich auflösen, Magnetfeld bewirkt Aufladen des Staubes, diese stoßen mit anderen geladenen Teilchen, z.B. des Sonnenwindes  $\rightarrow$  Abbremsen  $\rightarrow$  Hineinspiralisieren in Jupiter.

- 63 bekannte Monde, Gallileischen Monde 1610 von Galilei und Marius entdeckt, Durchmesser zwischen 25 und 40% des Erddurchmessers.
- Io ist zum Beispiel von extremen Vulkanismus geprägt ...  
Jupitermonde selber eine Vorlesung wert ...



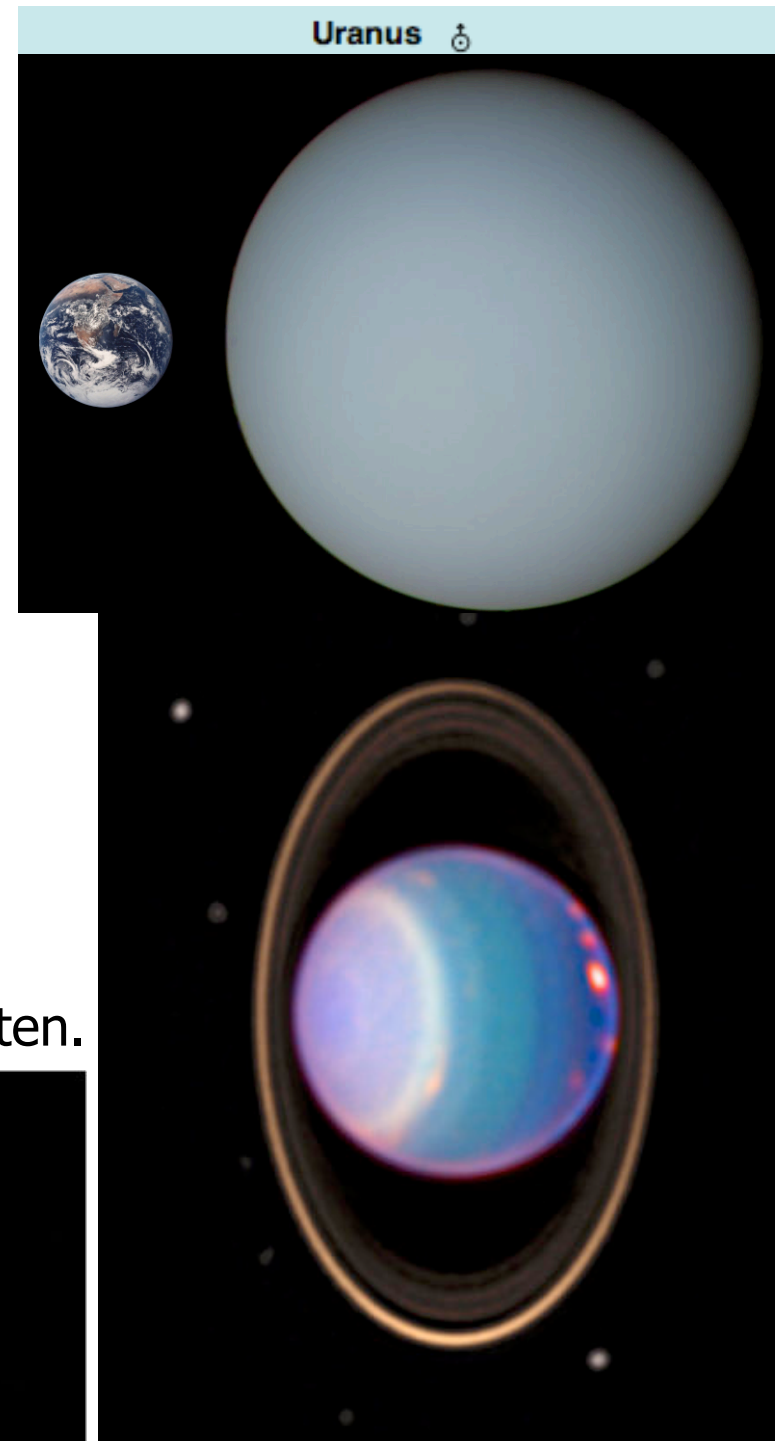
# Showmaker-Levy 9 stuerzt auf Jupiter 1994

Zeitraffer: 1 Stunde real



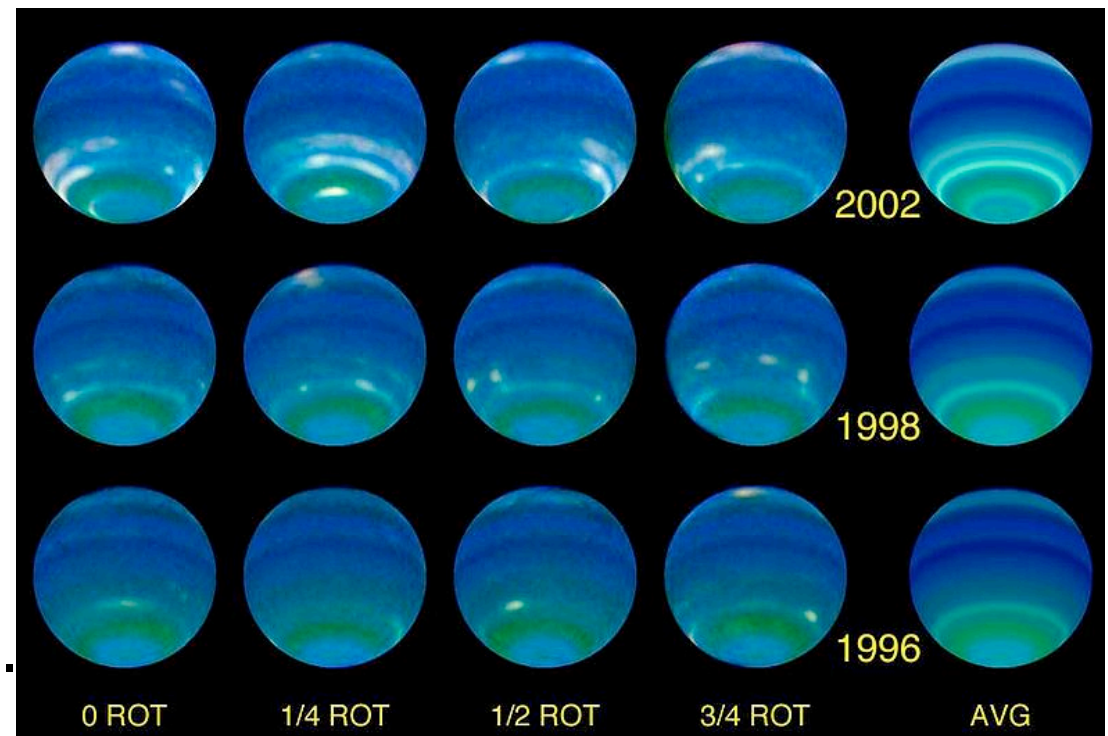
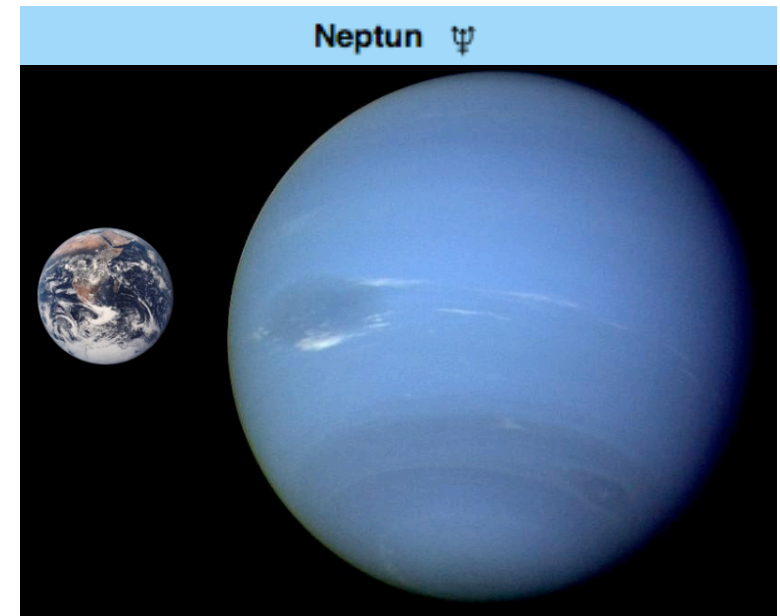
# Uranus

- Drittgroesster Planet
- 1781 von Herschel entdeckt.
- Unterscheidet sich von Jupiter und Saturn.
- Nur 15-20% der Masse aus H und He. Der Grossteil besteht aus gestein- und eisformenden schweren Elementen → daher auch Eisriese genannt.
- ca. Aufbau: Silikat/Eisen Kern ( $\sim 7M_{\text{Erde}}$ ), umgeben von Eismantel aus  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$  und einer Gashuelle aus  $\text{H}_2$  und He.
- Atmosphaerentemperatur  $\sim 60\text{K}$ .
- Uranus hat auch ein Ringsystem im Abstand 38000 bis 103000km von Zentrum.
- 27 Monde mit Durchmessern zwischen 10 und 1600km. 5 haben die Groesse von Zwergplaneten.



# Neptun

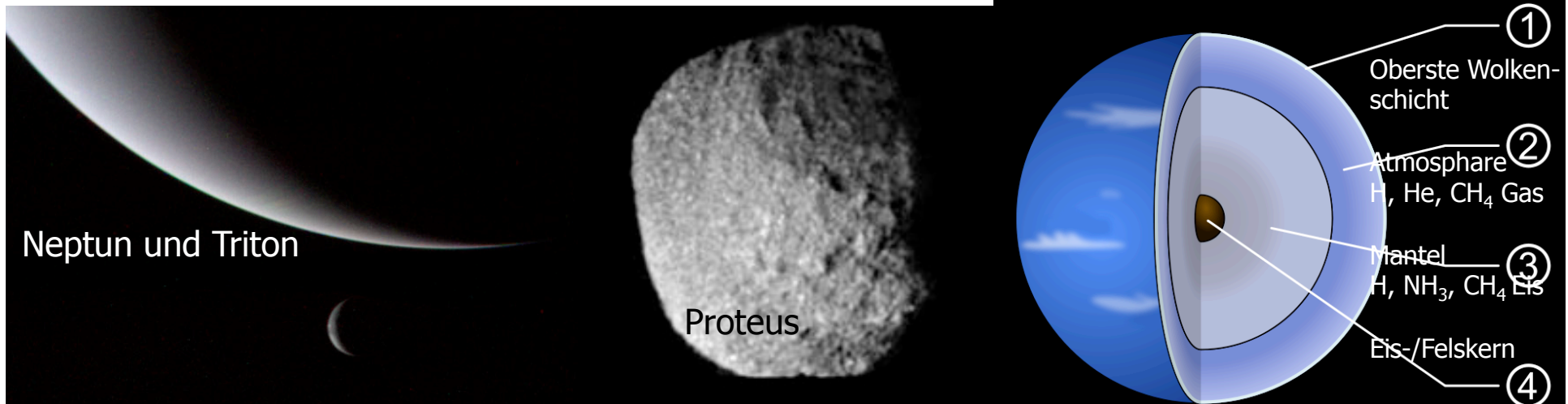
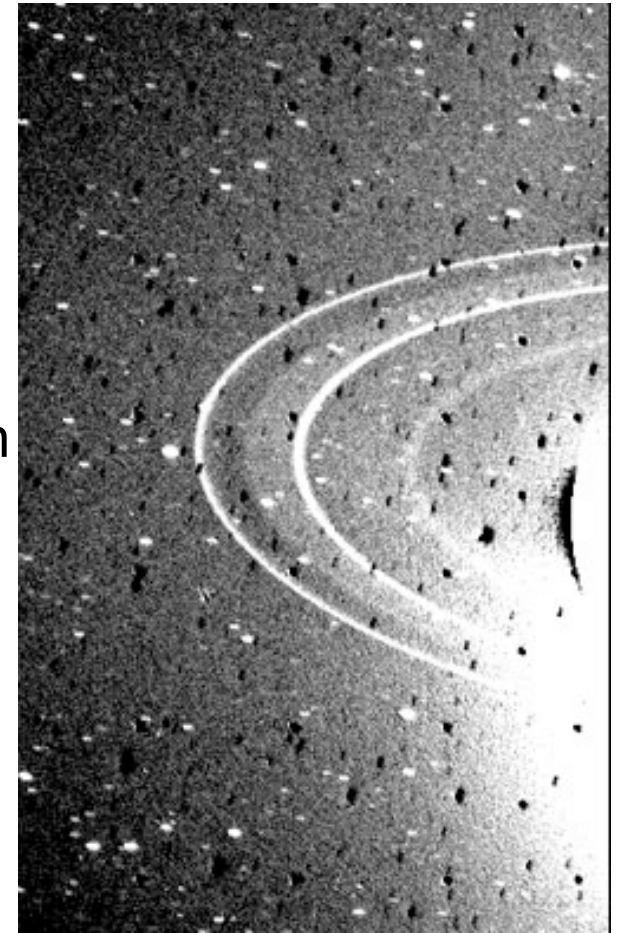
- 4. grösster Planet aber kleinster Gasriese.
- Erst wegen Bahnstörungen des Uranus vorausgesagt, anschliessend entdeckt (1846)
- In Grösse und Masse ähnlich Uranus, damit auch sein Aufbau ähnlich.
- Nur noch 2.3" Grösse am Himmel.
- Atmosphäre hauptsächlich  $H_2$ , He und Methan → letzteres für bläuliche Farbe.
- Fast kreisförmige Bahn, geringe Neigung der Rotationsachse gegen Bahn  
→ schwache Jahreszeiten
- Starke Stürme, überraschend bei Distanz zur Sonne. Innere Energie 2.6 mal höher als Sonneneinstrahlung, Grund noch unverständlich.  $T_{\text{Neptun}} = T_{\text{Uranus}}$
- Die Oberfläche zeigt starke zeitliche Schwankungen. Stürme bilden sich und vergehen auf relativ kurzen Zeitskalen.





# Neptun

- Neptun hat auch ein schwaches Ringsystem.
- Innerer Aufbau aehnlich zu Uranus.
- 13 bekannte Monde, der groesste ist Triton, nahe an Neptun ( $\sim 14R_{\text{Neptun}}$ ). Spiraliert auf Neptun zu und wird in Zukunft zerissen. Triton mit 38K kaeltestes im Sonnensystem gemessene Objekt.
- Innere Monde wie Proteus unregelmassig geformt.
- Innere Monde wahrscheinlich nicht mit Neptun entstanden, sondern erst spaeter aus Kollisionen von Triton geformt.



# Pluto

- Urspruenglich als Planet identifiziert, nun aber zum Zwergplaneten "degradiert".
- Kleiner als unser Mond.
- Prototyp der Trans-Neptunischen Objekte.
- Stark elliptische Bahn, kann sogar innerhalb der Neptunbahn sein.
- Aufbau wahrscheinlich 70% Gestein, 30% Gas
- Dem groesseren und kaelteren Triton aehnlich, duenne Atmosphaere aus N und etwas CH<sub>4</sub>.
- 3 Monde, Charon aussergewoehlich gross (2:1), daher zeitweise auch als Doppelplanet bezeichnet. Der Massenschwerpunkt liegt ausserhalb Plutos.
- Teil des Kuiperguertels.

