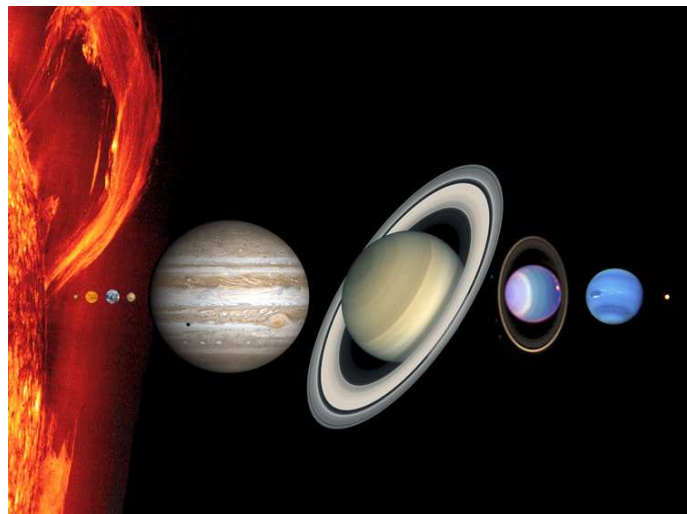
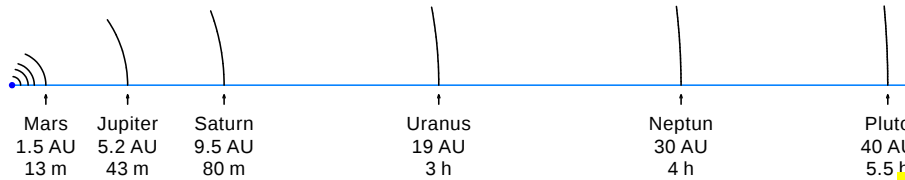




Unser Planeten-system

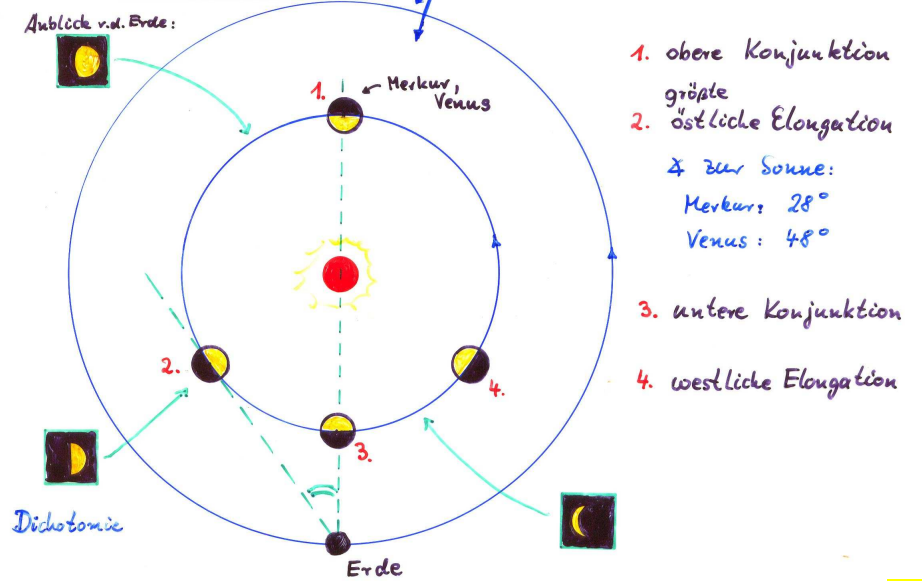
Entfernungen von der Sonne in „Astronomischen Einheiten“
 1 AU = Sonne - Erde
 = 150 Mio. km
 Lichtlaufzeit 500 sek



3-01

Innere Planeten:

Heliozentrisch:



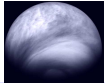
3-03

Planeten

- umkreisen unsere Sonne in verschiedenen Abständen
- leuchten nicht selbst, sondern werden von der Sonne beschienen



Merkur



Venus



Erde



Mars



Jupiter



Saturn



Uranus



Neptun



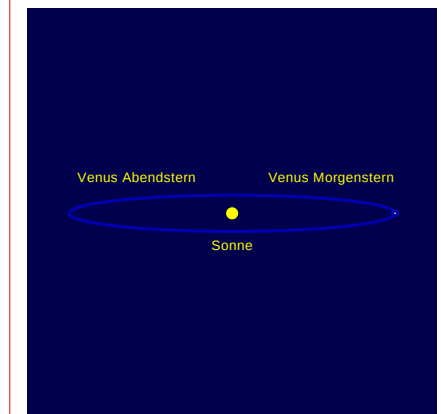
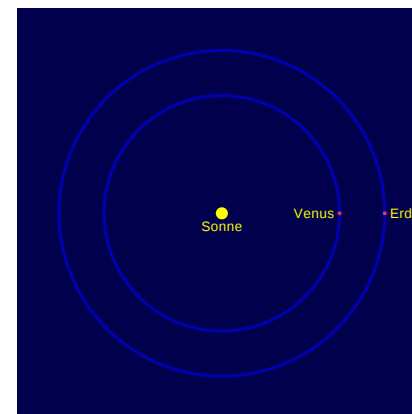
Äußere Planeten

Innere Planeten

3-02

Der Himmelslauf der inneren Planeten (z.B. Venus)

- Bahnradius 0.7 Erdbahnradien
- Umlaufzeit 225 Tage
- von der Erde aus gesehen, pendelt Venus ost-west um Sonne

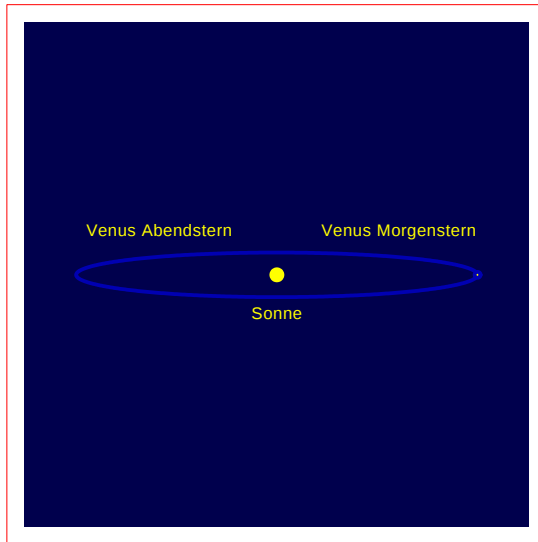


3-04

Die Phasengestalt der Venus

3-05

- Merkur und Venus zeigen *Phasen* (wie der Mond)

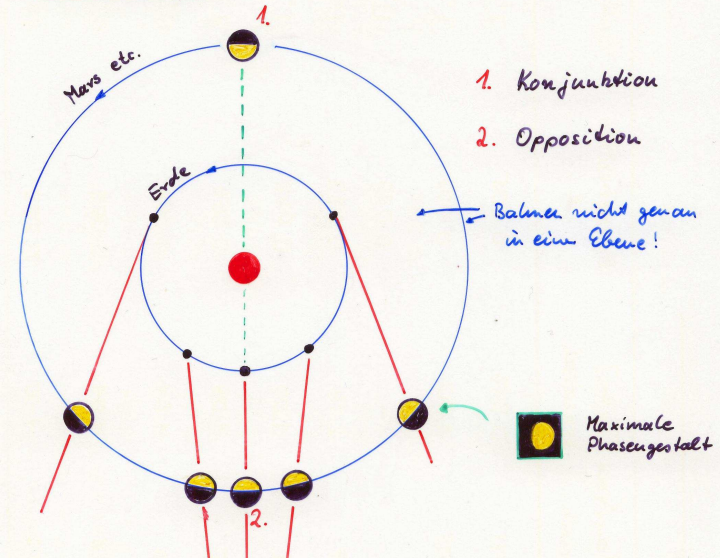


Äußere Planeten:

III.2

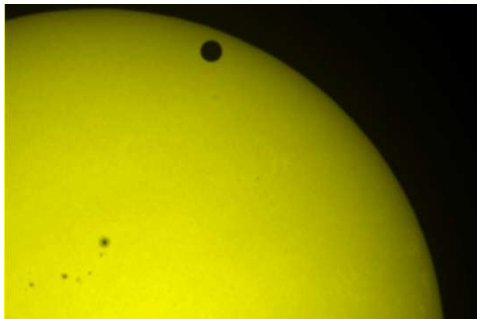
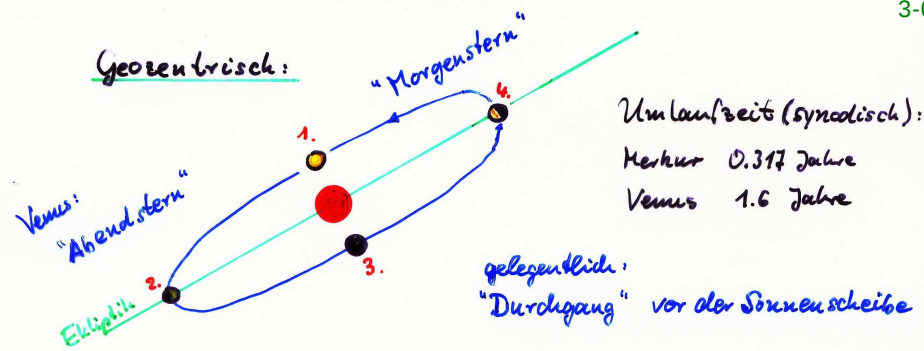
3-07

Heliozentrisch:



Geozentrisch:

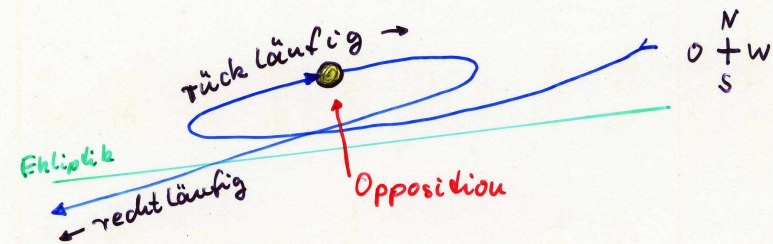
3-06



Venus-Transit am 6. Juni 2012, aufgenommen um 6:28 Uhr, kurz vor dem Ende des Vorübergangs. Der nächste Venustransit wird erst in 105 Jahren zu beobachten sein. Aufnahme: Rainer Hainich, Andreas Sander, Nadine Giese und Fabian Krause mit einem C8-Teleskop vom Dach des Instituts für Physik und Astronomie

Geozentrisch: Erde "überholt innen"

3-08



Bahnen der Planeten

Planet	Große Halbachse [A.U.]	Umlaufzeit [Jahre]		Exzentrizität e	Bahnneigung i
		siderisch	synodisch		
Merkur	0.387	0.241	0.317	<u>0.205</u>	<u>7.0</u>
Venus	0.723	0.615	1.60	0.007	3.4
Erde	1	1	-	0.017	0°
Mars	1.52	1.88	2.14	<u>0.093</u>	1.9
Jupiter	5.20	11.9	1.09	0.048	1.3
Saturn	9.54	29.5	1.04	0.056	2.5
Uranus	19.2	84.0	1.01	0.047	0.8
Neptun	30.1	164.8	1.01	0.009	1.8
		} 2:3			
Pluto	39.4	247.7	1.00	<u>0.249</u>	<u>17.2</u>

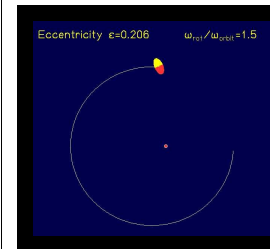
- feste (zumindest außen) Körper aus Gestein, d.h. Oxide von Al, Ca, Si, Fe, Mg ...
- nur sehr geringer Anteil von H und He
- Oberfläche:
 - Einschlag-Krater
vorherrschend bei Merkur, Mond, Mars
 - tektonische und vulkanische Strukturen
- Innerer Aufbau
ungefähr wie die Erde ($\rightarrow I.3$),
jedoch weniger Fe im Mond (11%) und im Mars (25%)
als in der Erde (33%)

III. 4• Die terrestrischen Planeten

	Radius [$R_{\oplus}$]	Masse [$M_{\oplus}$]	v_{escape}^* [km/s]	Magnetfeld [Erde=100%]	mittl. Dichte $\bar{\rho}$ / ($g \text{ cm}^{-3}$)
Merkur	0.382	0.055	4.25	1%	5.4
Venus	0.949	0.815	<u>10.4</u>	0	5.2
Erde	1	1	<u>11.2</u>	100%	5.5
Mond	0.273	0.042	2.4	0	3.3
Mars	0.533	0.11	5.02	2%	3.9

* entscheidend für die Fähigkeit, eine Atmosphäre festzuhalten:

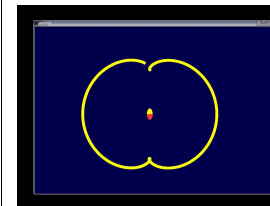
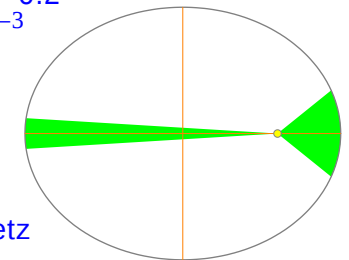
$$\frac{1}{2} m v_{\text{esc}}^2 = \frac{GmM}{R} \rightarrow v_{\text{esc}} = \sqrt{2GM/R}$$

Die gebundene Rotation des Merkur

Rotationsperiode = $\frac{2}{3}$ Umlaufperiode (exakt!)
d.h. Winkelgeschwindigkeiten $\omega_{\text{rot}} = 1.5 \omega_{\text{orbit}}$

Folge von:

- Bahnexzentrizität $e=0.2$
- Gezeitenkraft $\propto r^{-3}$



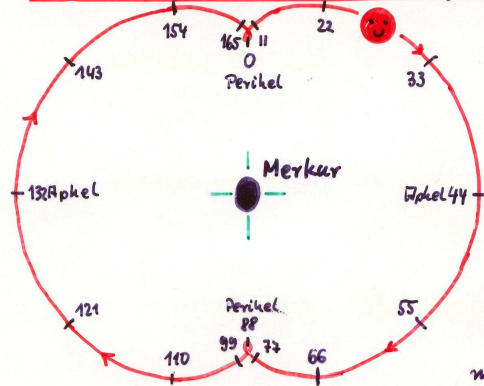
2. Keplersches Gesetz
(Flächensatz) $\rightarrow$
im Perihel:

$$\omega = 1.58 * \frac{2\pi}{P_{\text{orbit}}}$$

ein Merkur-Tag dauert 2 Merkur-Jahre !

- Rotation: gebundene Rotation (Resonanz) Achse $\perp$ Bahn

Rotationsperiode (siderisch) = $\frac{2}{3}$ Merkur-Jahre! **exakt!** !!
 d.h. 1 (synodische) Merkur-Tag = 2 Merkur-Jahre



Temperatur: $+430^\circ\text{C} \dots -170^\circ\text{C}$

Ursache: große Exzentrizität

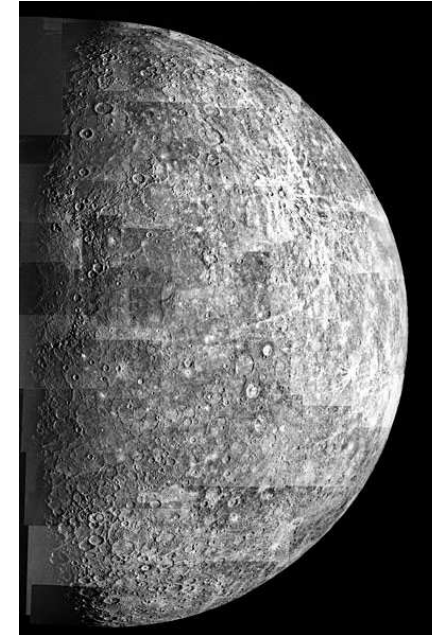
→ Winkelgeschwindigkeiten:

im Mittel: $\bar{\omega} = \bar{v}/a$

Flächensatz: $\frac{v_p}{r_p} = \frac{a}{r_p^2}$

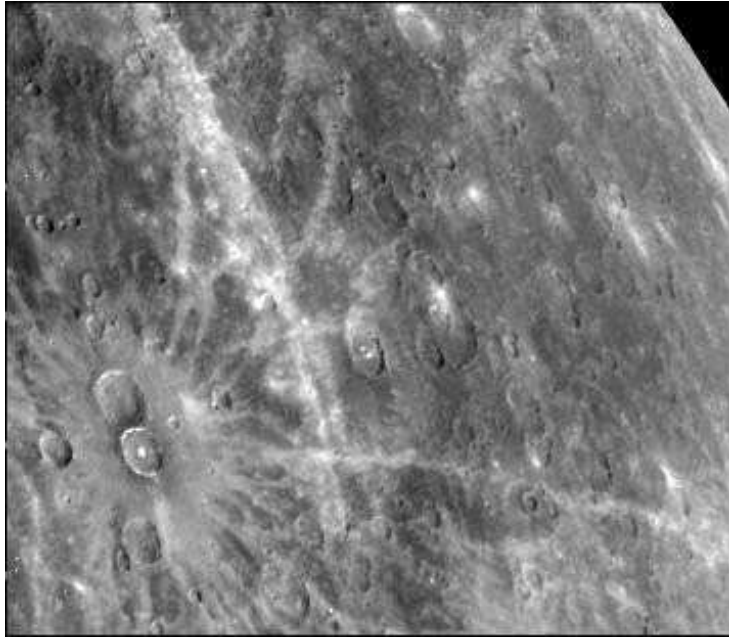
$$\Rightarrow \omega_p = \frac{v_p}{r_p} = \frac{\bar{v} a}{r_p^2} = \bar{\omega} \frac{a^2}{r_p^2} = \frac{\bar{\omega}}{(1-e)^2}$$

mit $e = 0.206 \rightarrow \omega_p = 1.58 \bar{\omega}$

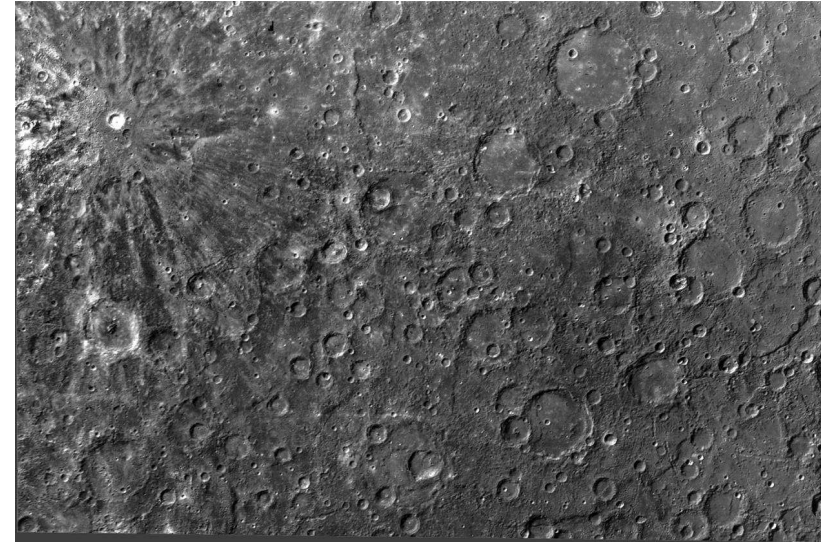


Mariner 10: Swing-by an der Venus, dann drei Passagen am Merkur (1974-1975) jeweils am sonnenfernsten Punkt seiner Bahn, aber nach jeweils zwei Merkurjahren. Wegen der gebundenen Rotation (zuvor unbekannt!) daher jedes Mal die gleiche Hemisphaere im Sonnenlicht.





3-17



3-19

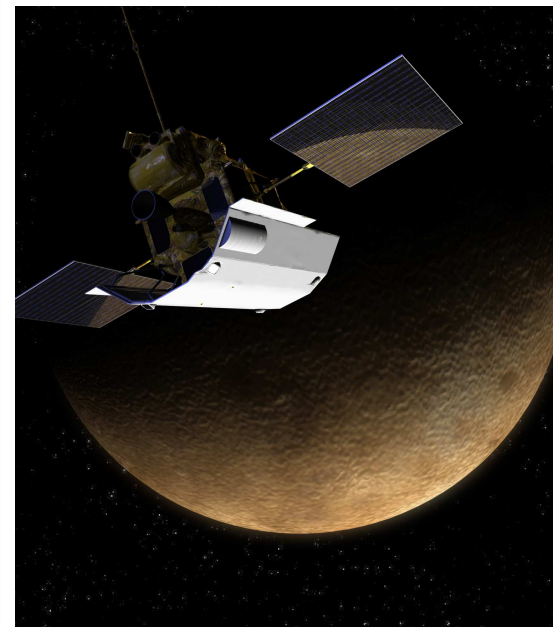
Mercury. The bright-rayed crater at the upper left is Copley, diameter 30 km. The mosaic was made from images taken during the first two flybys. North is up. (Mariner 10)



3-18

Neue Merkur-Sonde der NASA: **MESSENGER**

3-20



- gestartet August 2004
- mehrere Fly-by-Manöver: an Erde, 2x Venus, 3x Merkur
- erster Vorbeiflug am Merkur 14. Januar 2008
- zweiter Vorbeiflug am Merkur: 6. Oktober 2008
- März 2011 Einschwenken in einen Orbit um Merkur
- derzeit (Nov. 2012) noch aktiv



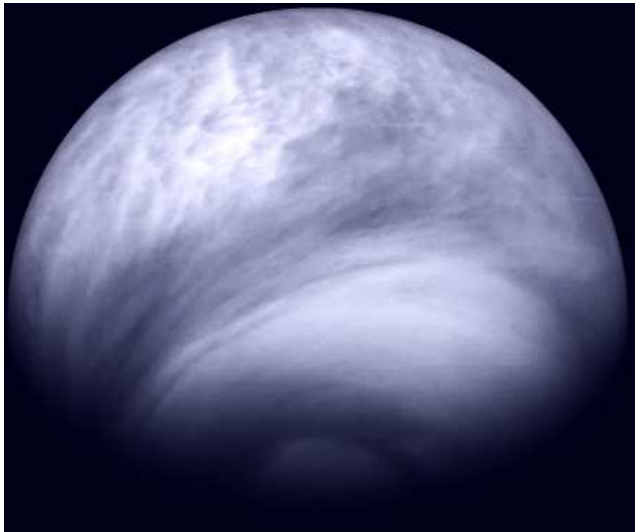
Merkur

Aufn.:
Messenger
 2. Vorbeiflug, 2008
 Region, die
 Mariner 10 nicht
 fotografieren
 konnte

Venus-Atmosphäre

- Druck am Boden: ~100 atm (Erd-Atmosphären!)
- Zusammensetzung am Boden: 97% CO₂, 3% N₂
- Temperatur: - Wolken-Obergrenze: -20 °C
 - am Boden: +460 °C
- Unterschiedliche Entwicklung bei Erde und Venus:
 Erde:
 Uratmosphäre → Regen
 → mineralische Bindung von CO₂ und Sulfaten in Sedimenten
 → Reduzierung des Treibhaus-Effekts
 Venus:
 zu heiß für die Bildung von flüssigem H₂O
 Wasserdampf durch UV dissoziiert, H entweicht
 Runaway-Treibhauseffekt

Venus



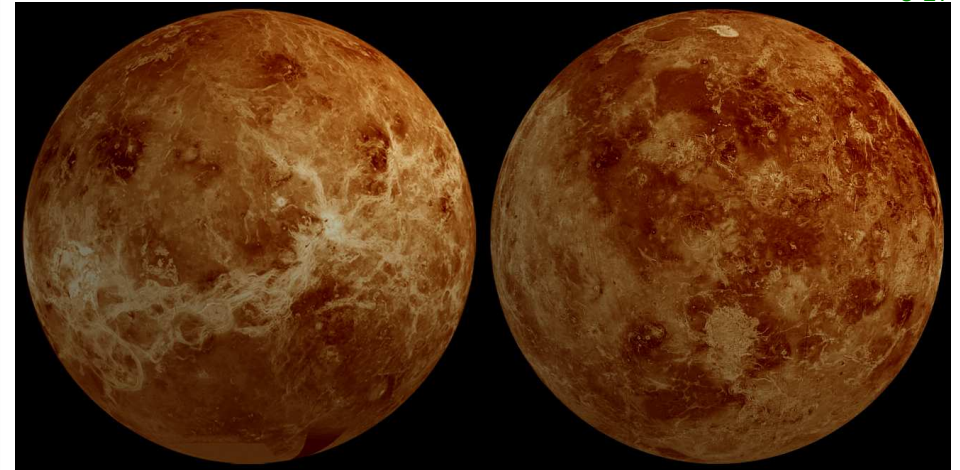
- Dichte Wolkenschicht in einer Höhe von 45 bis 70km
- Wolken aus Tröpfchen von Schwefelsäure und anderen Aerosolen
- Wolken ziehen schnell und zeigen rasche Veränderungen; vorgetäuschte Rotationsperiode ~4 Tage
- Aufnahme: Sonde *Venus Express*, seit dem 11.04.2006 im Venus-Orbit

- Oberfläche [aus Radar - Erkundungen]
- langsame, retrograde Rotation
 $P = 243^d$, $\neq 178^\circ$
 $\Rightarrow 0.1$ (synodischer) Venus-Tag $\approx 117^d$
 • keine Jahreszeiten
- Kontinente
 $\approx 30\%$: Aphrodite Terra, Ishtar Terra
 mit Gebirgen, z. B.:
 Maxwell Montes
 (Vulkan?), ϕ 750 km, Höhe 11 km
- Tiefländer: "Planitia"
 ziemlich flach



3-25

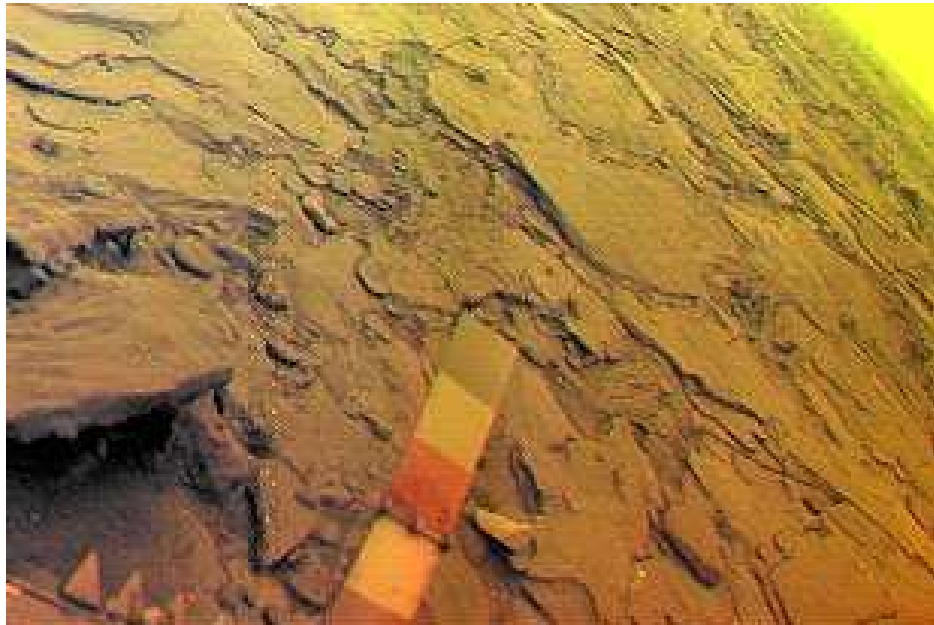
Landekapsel *Venera 13* (Sowjetunion, 1982);
sendete nach der Landung noch gut 2 Stunden



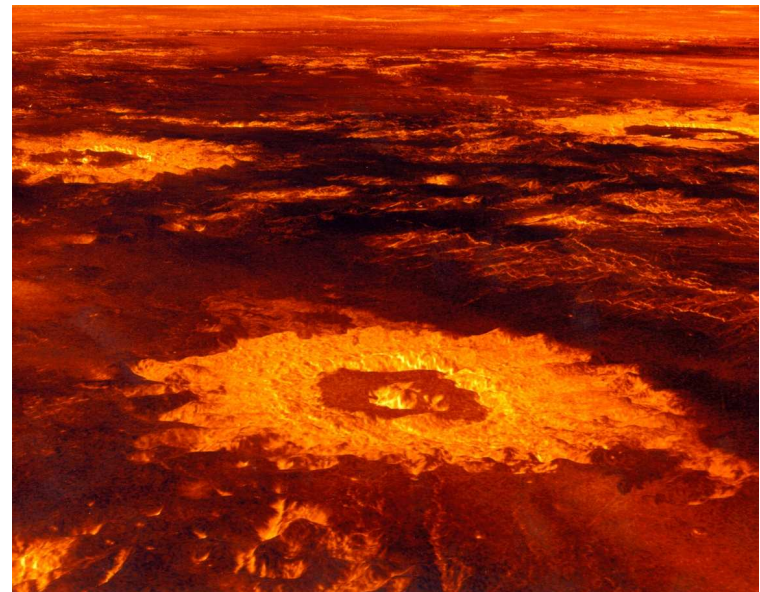
3-27

Radarkarte der Venus

- aufgenommen von *Magellan* (NASA) 1990 - 1994
- Orbit um die Venus
- Auflösung rund 100m

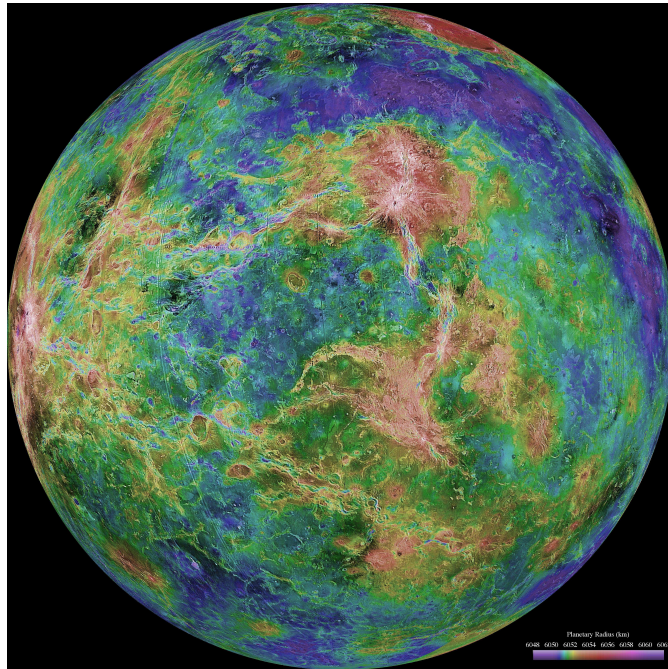


3-26



3-28

Aus Magellan-Daten computergenerierte Schrägsicht auf die drei
Krater Saskia (Vordergrund), Danilova (links) und Aglaonice (rechts)



3-29

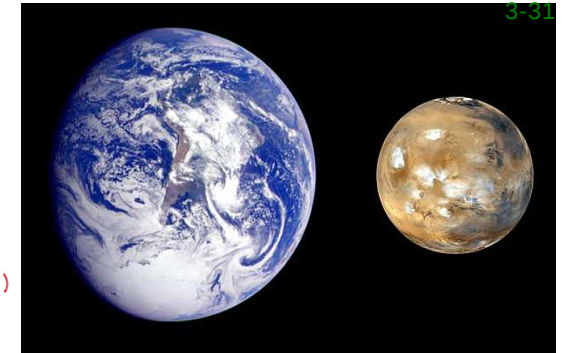
Radarkarte der Venus

Höhen als
Falschfarben

keine
Plattentektonik
(Kontinente)

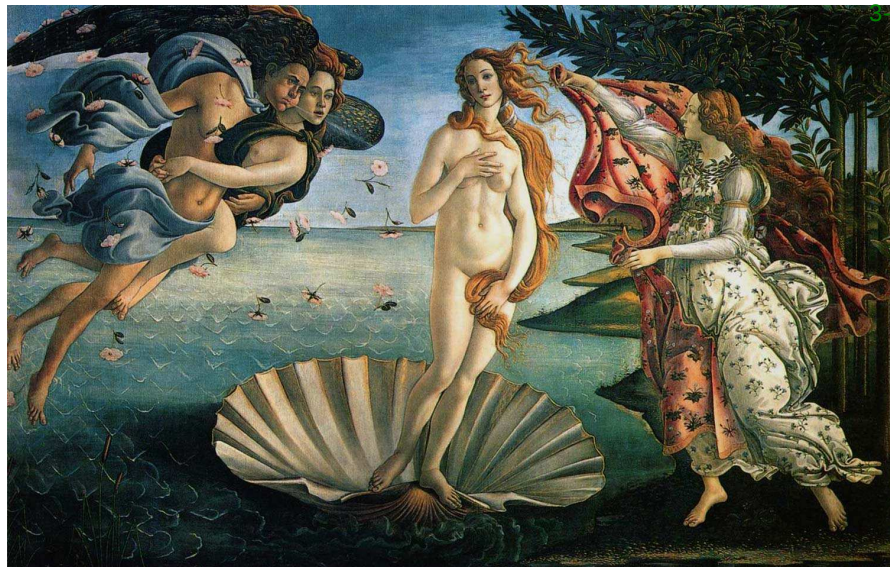
Mars

im Größenvergleich
zur Erde



3-31

- Rotation
 - Periode: 24.6 Stunden (!)
 - Achsenneigung gegen Bahnachse:
 - Jahreszeiten wie auf der Erde, jedoch länger ($U = 1.88$ Jahre!) und asymmetrisch wegen $\varepsilon = 0.09$: auf Südhälfte verstärkt
- Pol kappen
 - Nordpol: bis 70° nördl. Breite, alle Jahreszeiten
 - Südpol: bis -60° südl. Breite, nur im Winter bestehend aus Wasser- und Trockeneis



3-30

La nascita di Venere, deutsch: Die Geburt der Venus. Gemälde von **Sandro Botticelli**, ca. 1485, in den Uffizien in Florenz. Dieses Bild stellt eigentlich nicht die Geburt der Venus dar, sondern ihre darauf folgende Landung am Strand von Zypern.

3-32

- Atmosphäre
 - sehr dünn: Druck am Boden ≈ 0.006 atm
 - Wetter: Staubstürme, Dunst, ganz selten Wolken
 - Zusammensetzung:
 - 95% CO_2 , 3% N_2 , 2% Ar
 - nur 0.03% H_2O , aber viel Wasser gebunden in den Polkappen und Permafrost-Boden (?)
 - Temperatur: Mittelwert -53°C
 - Äquator: $0^\circ\text{C} \dots -50^\circ\text{C}$
 - Pole: $-50^\circ\text{C} \dots -130^\circ\text{C}$

- Asymmetrische Gliederung:

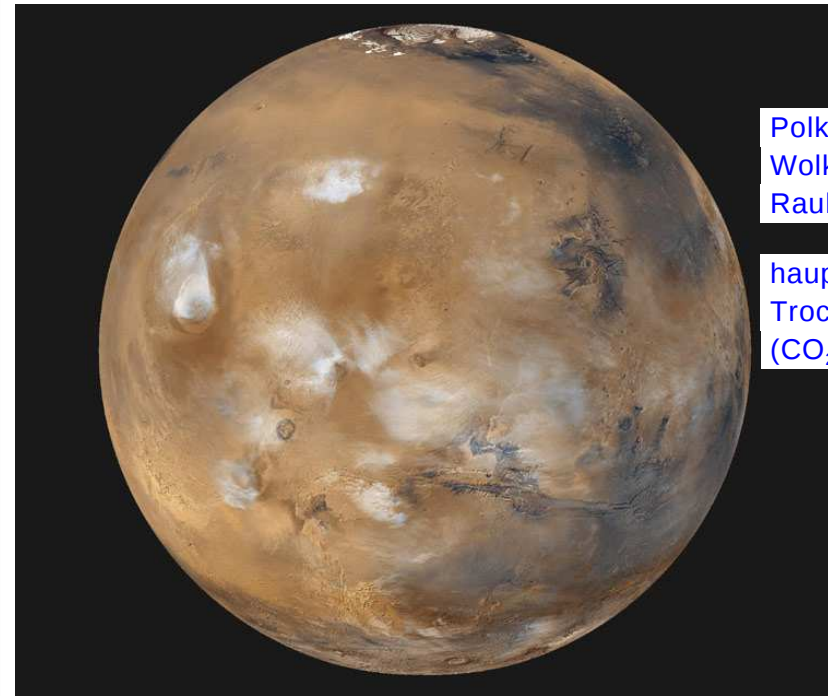
- Südhälfte: Hochländer mit Kratern
ähnlich den Mond-Terrae
- Nordhälfte: Tiefländer = Lavaflächen mit
weniger Kratern, Vulkane
ähnlich den Mond-Maria

- Tektonische Strukturen z.T. stark ausgeprägt:
Faltungen, Grabenbrüche usw.

- Erosions-Strukturen:
Elsbette (→ frühere Wasservorkommen!)
Sanddünen

- Gesteine:
viel Fe_2O_3 (rötliche Farbe!), wenig Si ($\neq$ Erde!)
farbliche Veränderungen mit den Jahreszeiten (H_2O)

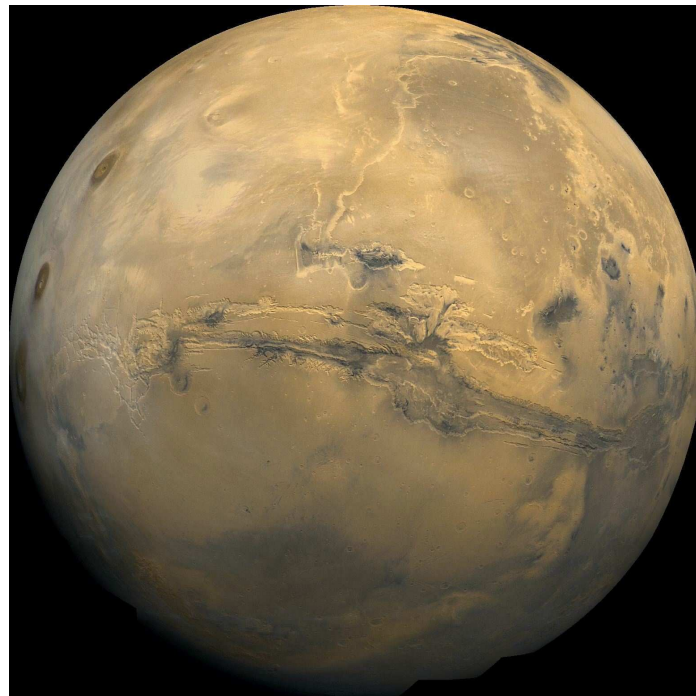
3-33



Polkappen
Wolken
Rauhreif

hauptsächlich
Trockeneis
(CO_2)

3-35



Mars

- Große
Schildvulkane
- Riesiges Tal
(Canyon) nahe
dem Äquator:
Valle Marineris

3-34

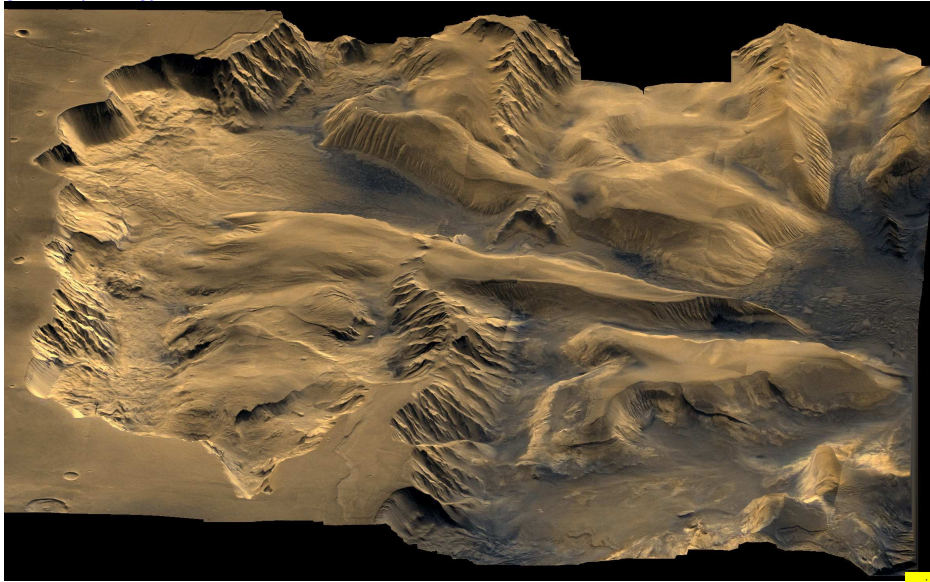


Olympus Mons - ein riesiger Schildvulkan (22km hoch)

3-36

3-37

Color mosaic of Viking Orbiter 1 and 2 images showing Candor Chasma, part of the Valles Marineris system on Mars. This oblique view is looking from the west over the 800 km wide chasm. The walls and floor show evidence of erosion and mass wasting and complex geomorphology.

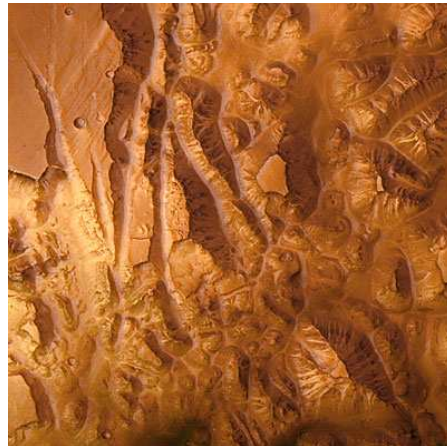
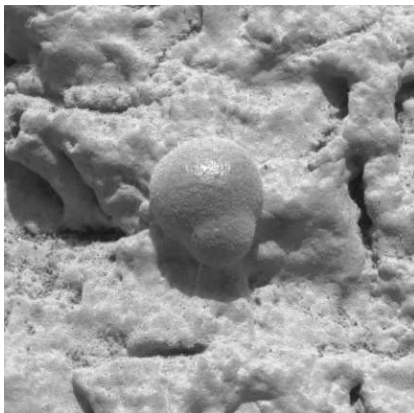


3-39

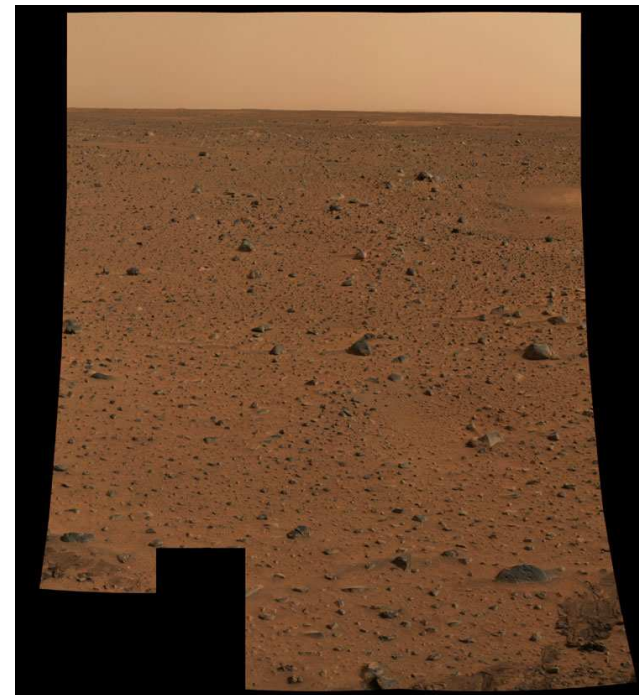
Mars Pathfinder (1997)

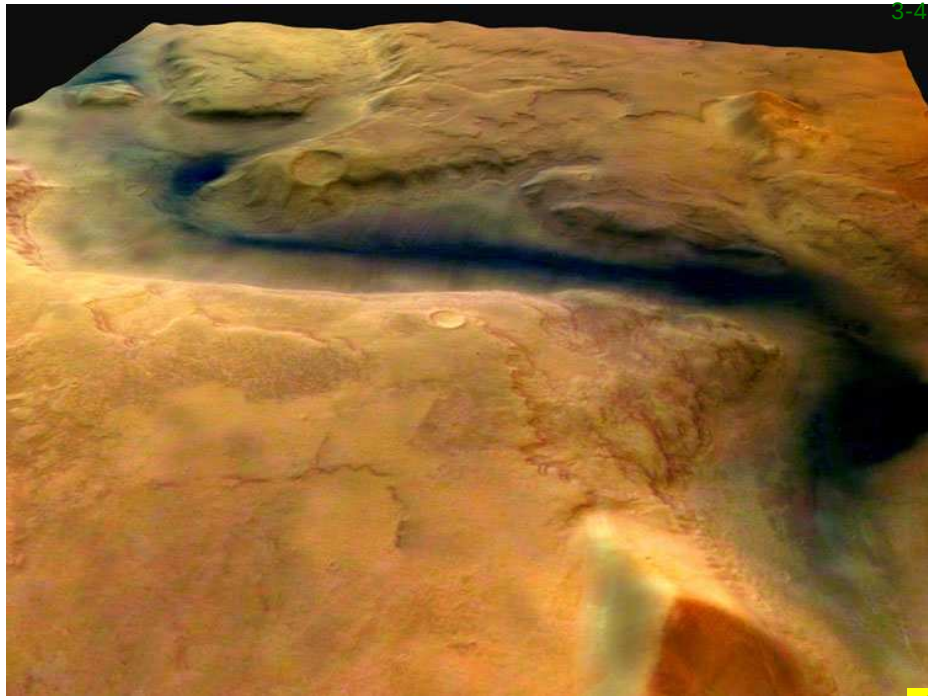


3-38

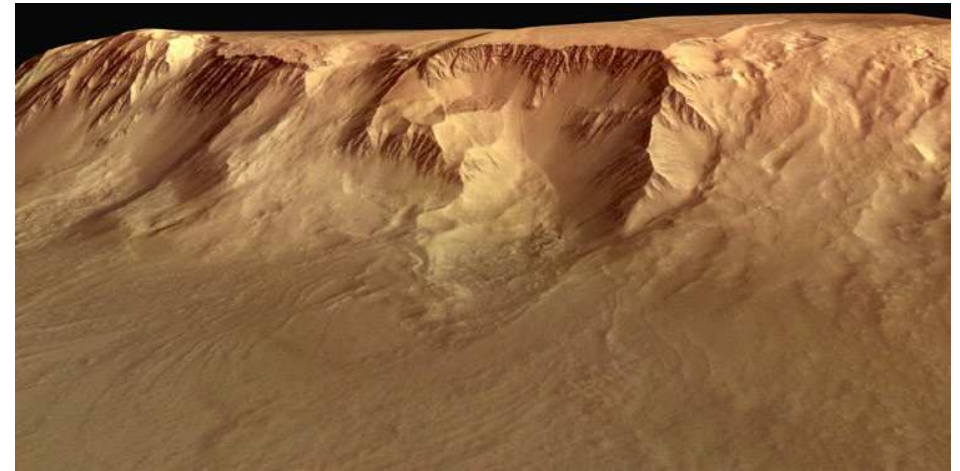


3-40



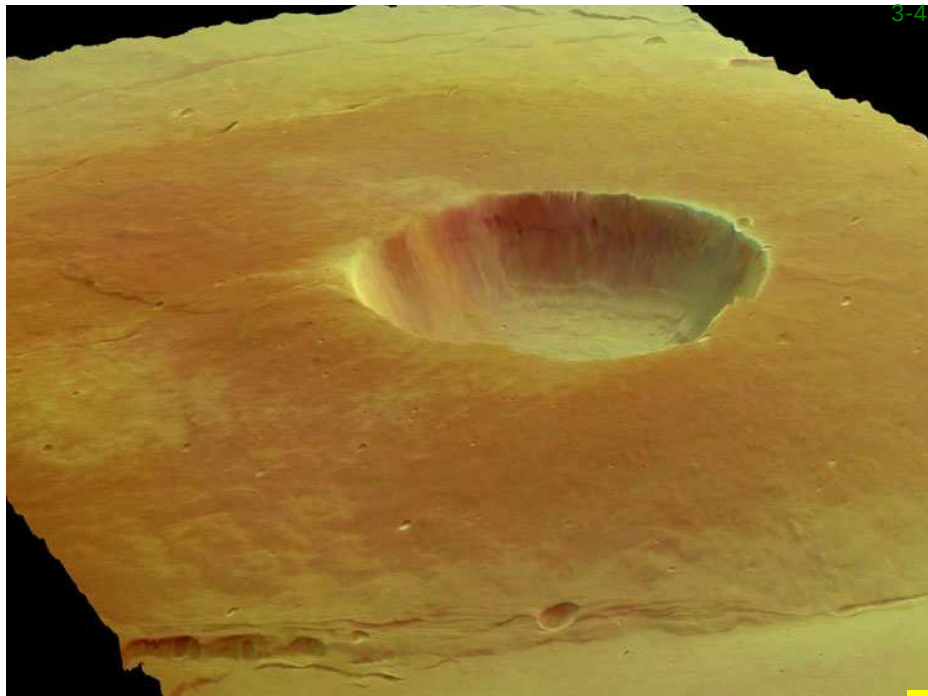


3-41



3-43

Riesige Abbruchkante an der Westseite des Mars-Vulkans Olympus Mons. Sie ist ca. 7 Kilometer hoch.



3-42



3-44

Phobos

Deimos

- sehr klein, unregelmäßige Formen

27 × 21 × 19 km

15 × 12 × 11 km

- sehr kleine Bahn- Radien

2.8 Marsradien

7 Marsradien

- Umlaufzeiten:

7.7 Stunden

30 Stunden

kleiner als Mars-Tag,

d.h. geht im Westen auf!

d.h. für Beobachter auf dem Mars:

Mondaufgang - Mondaufgang = 5.6 Martstage,
währenddessen mehrere Phasen - Durchläufe

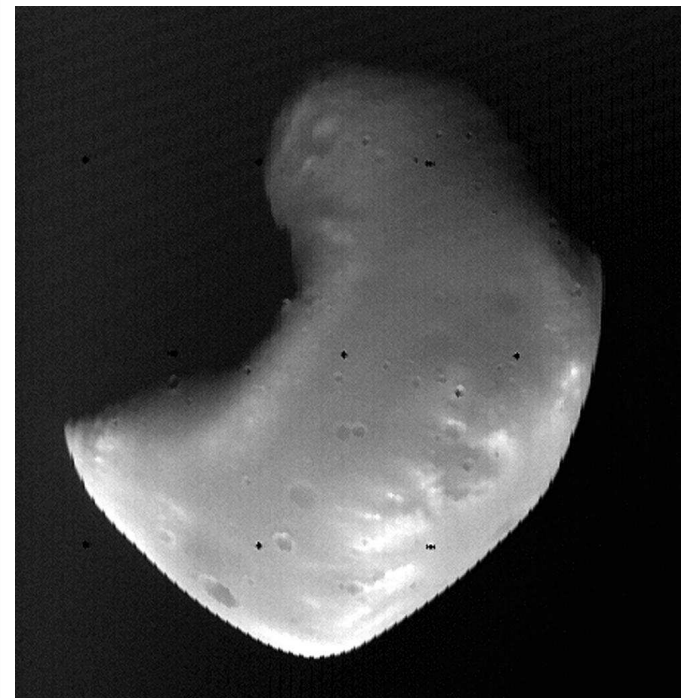
- wegen Gezeitenreibung:

Abkürz in 80 Mill. Jahren

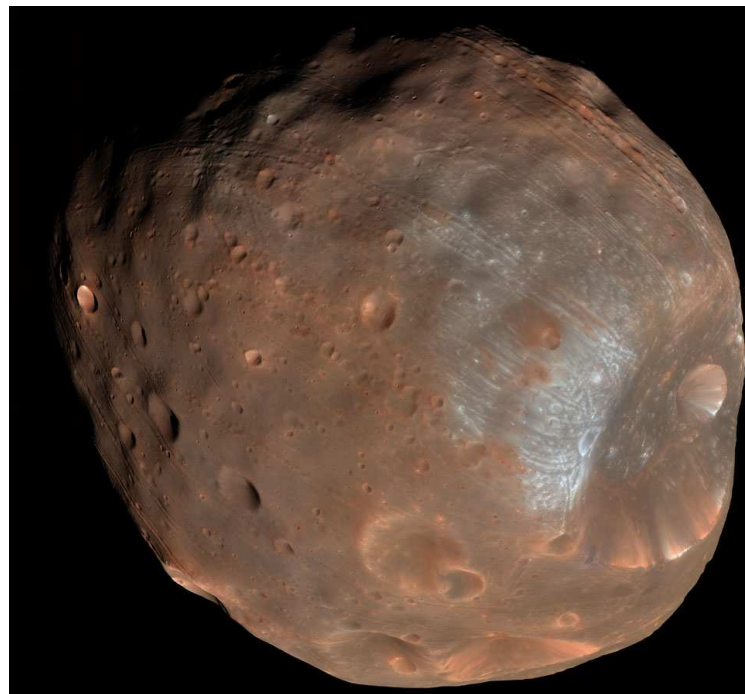
- Material: dunkelgrau, ≠ Mars-Oberfläche!

- Herkunft: eingefangene Asteroiden

- gebundene Rotation



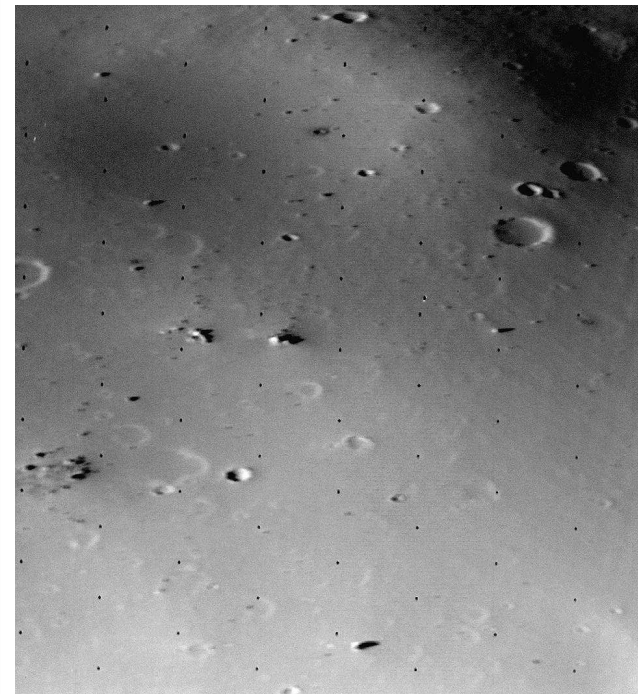
Marsmond
Deimos



Marsmond
Phobos

- Aufnahme mit dem Mars Reconnaissance Orbiter (2012)

- Auflösung 7 m pro Pixel



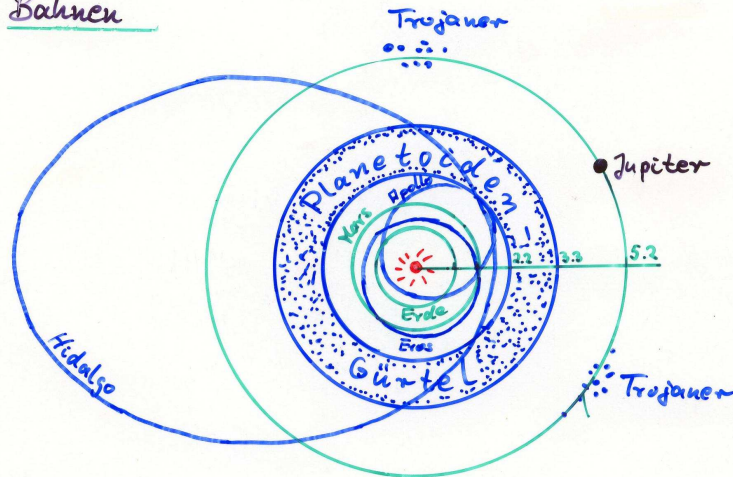
This Viking 2 Orbiter (2003) image shows the surface of Mars' moon Deimos from a distance of 30 km. The image covers an area 1.2 km by 1.5 km and features as small as 3 meters across can be seen. Note many of the craters are covered over by a layer of regolith estimated to be about 50 meters thick. Large blocks, 10 to 30 meters across, are also visible.

• Asteroiden = Planetoiden = kleine Planeten

III.3.49

- feste Körper: "Gesteinsbrocken", jedoch meist G-reich

• Bahnen



Asteroiden (Planetoiden)

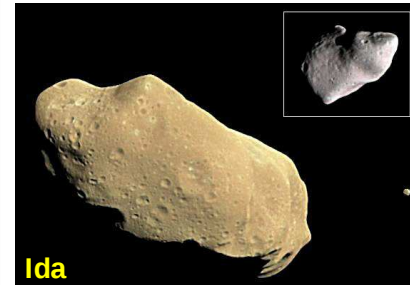
3-51



Gaspra



Eros



Ida

Bahn meistens
zwischen Mars und Jupiter

Die größten:

- Ceres (1000 km)
- Pallas (600 km)
- Vesta (500 km)

einige potentiell gefährlich

Fotos: *Galileo* (→ Jupiter 1989-2003)

- meistens im Asteroiden-Gürtel zwischen
Mars und Jupiter (2.2 bis 3.3 AU)

3-50

- Trojaner: stabile Bahnen um die Librationspunkte
 L_4 und L_5 des Jupiter (siehe nächster Einschub)

- manche Asteroiden kommen der Erde sehr nahe

• Namen und Durchmesser:

Ceres (1000 km)

Pallas (600 km)

Vesta (500 km)

Gesamtmasse:

$\frac{1}{1000} M_{\oplus}$ (bekannt),

[mehrere Tausend bekannt] möglicherweise bis $\frac{1}{2} M_{\oplus}$

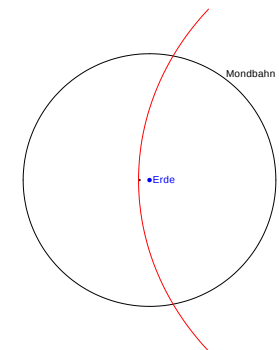
- Entstehung: ein "verhindertes" Planet?

Asteroiden als potentielle Bedrohung:

Apophis⁽¹⁾

3-52

- Asteroid, ca. 360 m Durchmesser
- exzentrische Bahn kreuzt die Erdbahn
- nahe Begegnung Freitag, 13. April (!) 2029:
 - kleinster Abstand 5 Erdradien (30 000 km)



- nächste Begegnung am 13. April (!) 2036
 - Kollisionswahrscheinlichkeit nur 1:233 000
 - es gäbe technische Möglichkeiten, die Bahn von Apophis bis dahin zu beeinflussen

⁽¹⁾ Apophis: Ägyptische Gottheit; Verkörperung von Auflösung, Finsternis und Chaos; großer Widersacher des Sonnengottes Re; wird als riesige Schlange dargestellt (nach Wikipedia)

Einschub zur Himmelsmechanik:

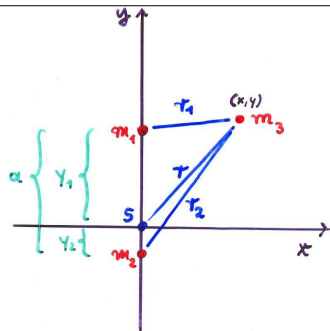
Drei-Körper-Problem → "Trojaner"

Librationspunkte:

- gleichbleibende Konfiguration, d.h. alles bewegt sich mit derselben Winkelgeschwindigkeit ω um den Schwerpunkt
- Kräfte heben sich auf: Gleichgewichtspunkte

hier nur:

Spezialfall $m_3 \ll m_1, m_2$ "probleme restricted"
(Resultate gelten aber allgemeiner!)



• mitrotierendes Koordinatensystem

- $m_1 y_1 = m_2 y_2$
- m_3 in der Ebene der Bewegung von m_1, m_2
(sonst keine Gleichgewichtspunkte!)

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$r_1 = \sqrt{x^2 + (y - y_1)^2}$$

$$r_2 = \sqrt{x^2 + (y + y_2)^2}$$

Beschleunigungen auf m_3 :

- Schwere beschleunigung durch m_1 : $G \frac{m_1}{r_1^2}$
- " " " m_2 : $G \frac{m_2}{r_2^2}$
- Zentrifugalbeschleunigung: $\omega^2 r$

[spe. Kreisbahn: $\omega^2 = \frac{4\pi^2}{U^2} = G \frac{m_1 + m_2}{a^3}$ vgl. I.21]

Beschreibung als Potential ϕ

[Beschleunigung = -grad ϕ]

$$\phi = G \left\{ -\frac{m_1}{r_1} - \frac{m_2}{r_2} - \frac{m_1 + m_2}{2a^3} r^2 \right\}$$

oder mit $G=1$ und $a=1$:

$$\phi = -\frac{m_1}{r_1} - \frac{m_2}{r_2} - \frac{1}{2}(m_1 + m_2) r^2 \quad \text{"Roche-Potential"}$$

Librationspunkte $\leftrightarrow$ Extrema von $\phi \leftrightarrow \text{grad } \phi = 0$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = +\frac{m_1}{r_1^3} x + \frac{m_2}{r_2^3} x - (m_1 + m_2) x \quad \text{wg. } \frac{\partial r}{\partial x} = \frac{x}{r} \text{ usw.}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \rightarrow \left[+\frac{m_1}{r_1^3} + \frac{m_2}{r_2^3} - (m_1 + m_2) \right] x = 0$$

a) $x=0$

$$\frac{\partial \phi}{\partial y} = +\frac{m_1}{r_1^3} (y - y_1) + \frac{m_2}{r_2^3} (y + y_2) - (m_1 + m_2) y = 0$$

→ gl. 3. Grades für $y \rightarrow$ 3 Lösungen L_1, L_2, L_3

$$\text{b) } \frac{m_1}{r_1^3} + \frac{m_2}{r_2^3} = m_1 + m_2 \quad \text{und} \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0$$

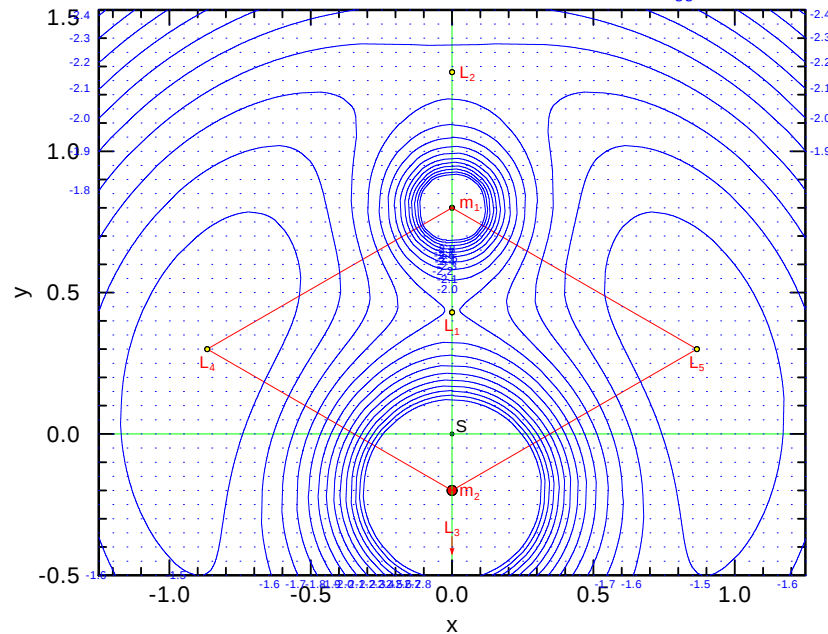
beides erfüllt für: $r_1 = r_2 = a$

→ Librationspunkte L_4, L_5

- L_1, L_2, L_3 sind Sattelpunkte, L_4 und L_5 Maxima

Analyse der Keplerbahnen ($\omega \neq \text{const.}$!) zeigt, dass

L_4 und L_5 unter bestimmten Bedingungen stabil sind.



Trojaner

Eingeschränktes 3-Körper-Problem

(*problème restreint*)

- Zwei Körper kreisen um gemeinsamen Schwerpunkt
- eine *Testmasse* kreist mit gleicher Winkelgeschwindigkeit
- Roche-Potential: $\Phi = -\frac{m_1}{r_1} - \frac{m_2}{r_2} - \frac{1}{2}(m_1 + m_2)r^2$
- Librationspunkte L_1 bis L_5 : kräftefreie Punkte
- L_4 und L_5 : stabiles Gleichgewicht (Potential-Minima)
 - auf der Jupiterbahn: ca. 1000 Planetoiden als Trojaner
 - Trojaner im Mond-System des Saturn
- L_1 , L_2 und L_3 : labiles Gleichgewicht (Sattelpunkte)
 - im System Erde-Sonne: beliebter Ort für Weltraumobservatorien
 - L_1 : SOHO Sonnenobservatorium
 - L_2 : Planck, Herschel, James-Webb

