

Das Sonnensystem

Teil 4

Peter Hauschildt
yeti@hs.uni-hamburg.de

Hamburger Sternwarte
Gojenbergsweg 112
21029 Hamburg

24. Januar 2019

Übersicht Teil 4

- ▶ Der Mond
 - ▶ Oberfläche
 - ▶ Aufbau
 - ▶ Gezeiten
 - ▶ Entstehung und Geschichte

Table 9-1 Moon Data

Distance from Earth (center to center):	
Average:	384,400 km = 238,900 mi
Maximum (apogee):	405,500 km
Minimum (perigee):	363,300 km
Eccentricity of orbit:	0.0549
Average orbital speed:	3680 km/h
Sidereal period (relative to fixed stars):	27.322 days
Synodic period (new moon to new moon):	29.531 days
Inclination of lunar equator to orbit:	6.68°
Inclination of orbit to ecliptic:	variable, 18.28° to 28.58°
Diameter:	3476 km = 2160 mi
Diameter (Earth = 1):	0.272
Mass:	7.348×10^{22} kg
Mass (Earth = 1):	0.0123
Average density:	3340 kg/m ³
Escape speed:	2.4 km/s
Surface gravity (Earth = 1):	0.17
Average surface temperatures:	Day: 130°C = 266°F = 403 K Night: -180°C = -292°F = 93 K

Erde-Mond System



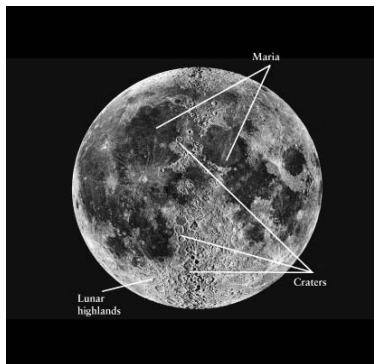
Erforschung

- ▶ Viele Mondsonden/missionen
- ▶ Luna (UdSSR), Ranger (USA), Lunar Orbiter
- ▶ Beispiel: Ranger 9 (1965) (Movie)
- ▶ Apollo Missionen (6 Landungen)
- ▶ Clementine (1994)

Oberfläche

- ▶ Mond rotiert synchron mit Bahnbewegung
- ▶ → wir sehen immer nur eine Seite!
- ▶ *Libration* → ca. 59% sichtbar
- ▶ 'far side' des Mondes → Raumsonden (Luna 3, 1959)
- ▶ Beispiel: Gallileo Vorbeiflug (Movie)

Oberfläche



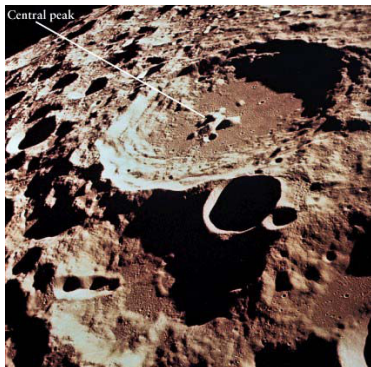
- ▶ keine Atmosphäre!
- ▶ → keine Erosion
- ▶ Namensgebung → historisch
- ▶ Mare (15%) sind keine Ozeane!
- ▶ Mare ca. 2–5 km unterhalb 'NN'
- ▶ Highlands/Terrae bis einige km überhalb 'NN'

Krater



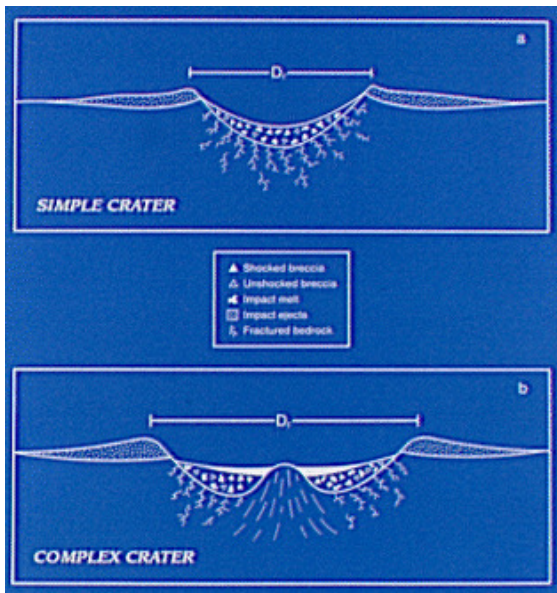
- ▶ Krater Clavius
- ▶ Mt. Palomar (5m) Bild
- ▶ 232 km Durchmesser
- ▶ 4.9 km Tiefe
- ▶ viele Krater →
- ▶ keine Plattentektonik!

Krater

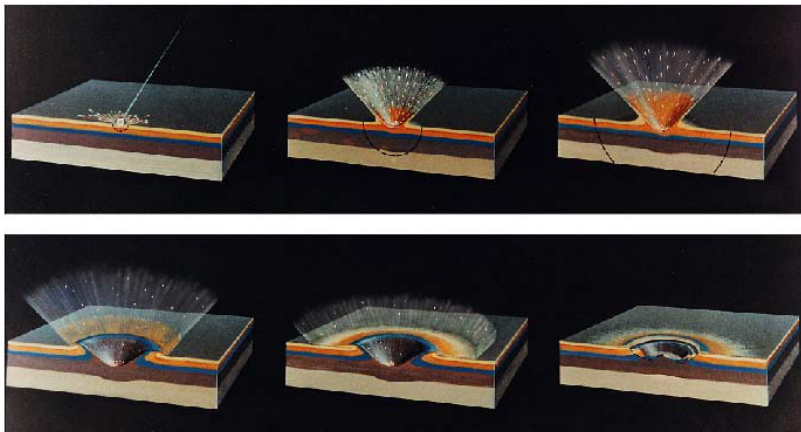


- ▶ Bild aus Mondumlaufbahn, 1969
- ▶ alle kreisförmig!
- ▶ zentraler Berg!
- ▶ warum?

Krater



Krater

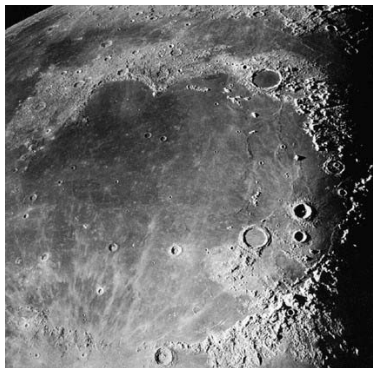


Copyright © Addison Wesley

Kraterbildung

- ▶ Projektil schlägt mit $10\text{-}20 \text{ km s}^{-1}$ ein
- ▶ Einschlagswinkel zufällig!
- ▶ Eindringen in Oberfläche
- ▶ → Projektil erhitzt sich
- ▶ → explosionsartiges Verdampfen
- ▶ → Krater bildet sich!
- ▶ → immer kreisförmig!
- ▶ Zentralberg → zurückfliessendes Material

Mare Imbrium



- ▶ 1100 km Durchmesser
- ▶ wenige Krater
- ▶ → jung!

Mare Tranquilitatis



- ▶ viele kleine Krater & Risse
- ▶ alter Lava 'Fluss'

Maria

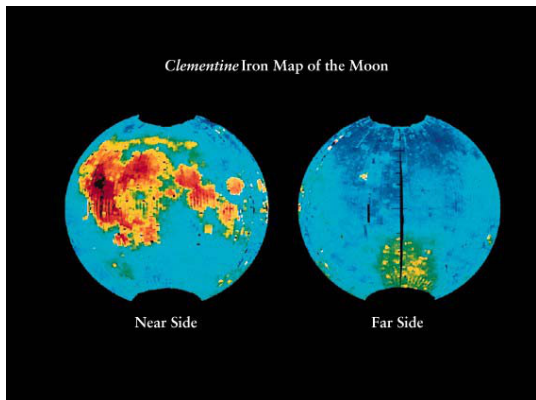
- ▶ Kraterzählungen → jünger als Rest der Oberfläche
- ▶ haben sich durch grosse Einschläge gebildet
- ▶ → riesige Einschlagkrater mit Gebirgen am Rand
- ▶ → Lava aus dem Mondinneren hat Teile überflutet
- ▶ → dunkles Material, unregelmässige Form
- ▶

abgewandte Seite der Oberfläche



- ▶ *Galileo* Komposit-Bild
- ▶ rechts: zugewandte Seite
- ▶ links: abgewandte Seite
- ▶ Mitte: Mare Orientale
- ▶ keine Maria auf der abgewandten Seite
- ▶ Pole-Aitken Basin (2100 km)

Elementverteilung

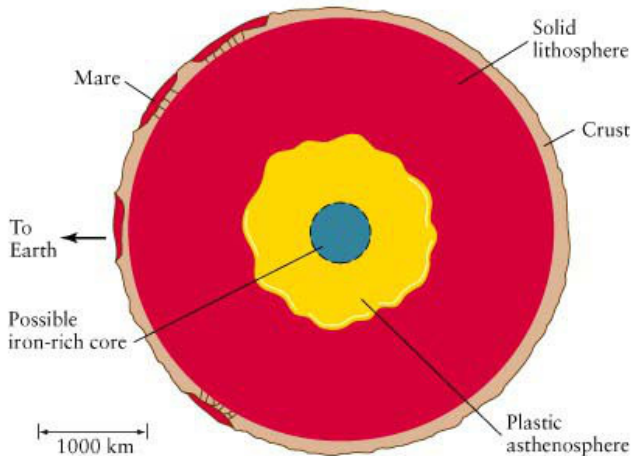


- ▶ *Clementine* Bild
- ▶ Maria → mehr Eisen
- ▶ *Lunar Prospector* (1998) →
- ▶ Eis an den Polen des Mondes

Aufbau

- ▶ Apollo → Magnetometer
- ▶ Mond hat kein Magnetfeld, nur fossile Reste
- ▶ kein Dynamo → Mondinneres zu kalt, fest?
- ▶ Apollo → Seismographen
- ▶ 3000 Mondbeben pro Jahr (Erde: $> 10^5$)
- ▶ 0.5–1.0 (Richterskala)
- ▶ entstehen in 600-800 km Tiefe
- ▶ → Aufbau des Mondes:

Aufbau



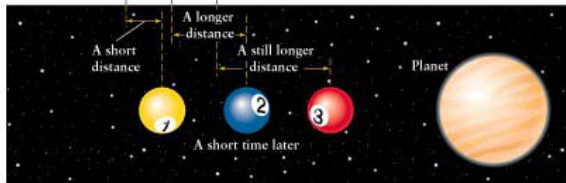
Aufbau

- ▶ Mond geologisch tot
- ▶ klein → schnell abgekühlt
- ▶ Oberfläche nur durch Meteoriten verändert
- ▶ 80-150 Einschläge pro Jahr
- ▶ 100 g bis 1000 kg

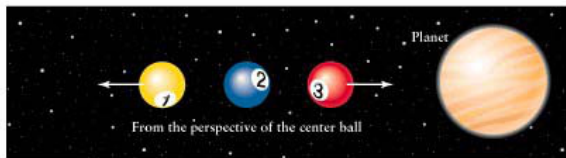
Gezeitenkräfte



a

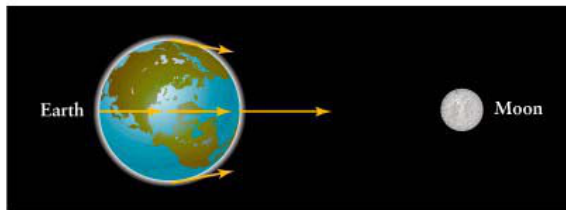


b



c

Gezeitenkräfte

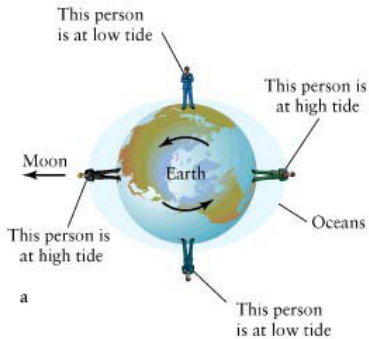


a



b

Gezeitenkräfte

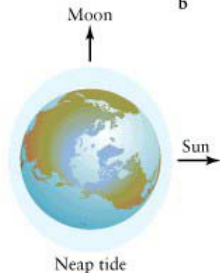


a



b

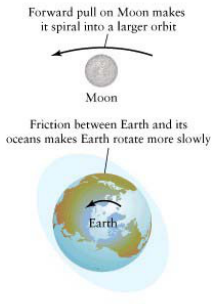
Spring tide



c

Neap tide

Bahn des Mondes



- ▶ Erde rotiert schnell
- ▶ → Reibung zieht Gezeitenberg vor
- ▶ → beschleunigt Mond in seiner Bahn
- ▶ → Mond entfernt sich langsam (3.8cm/yr)
- ▶ Erdrotation verlangsamt sich (0.002s/100yr)
- ▶ Gleichgewicht: 47 Tage = Rotation = Umlauf

Geschichte und Entstehung

- ▶ Apollo (382kg) und Luna 16,20,24 (300 g)
- ▶ → Mondgestein
- ▶ Gestein ähnlich Vulkangestein
- ▶ → Oberfläche war geschmolzen

Mondgestein



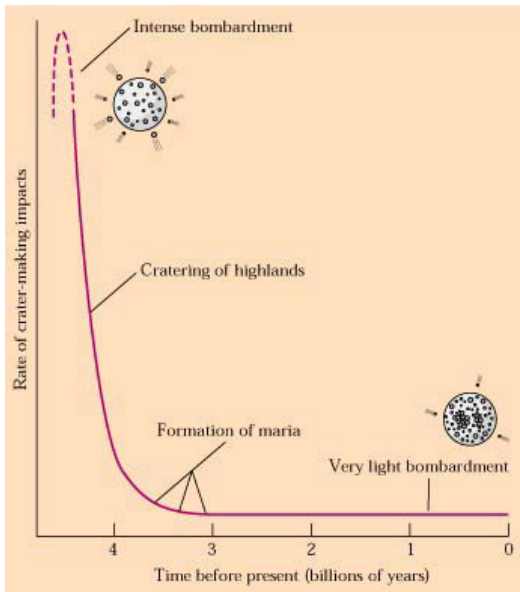
- ▶ Mare Basalt
- ▶ ca. 1.5 kg
- ▶ Apollo 15
- ▶ Blasen → Gase
- ▶ Fe, Mn, Ti
- ▶ 3.5×10^9 a alt
- ▶ ähnlich Hawaii, Island

Mondgestein

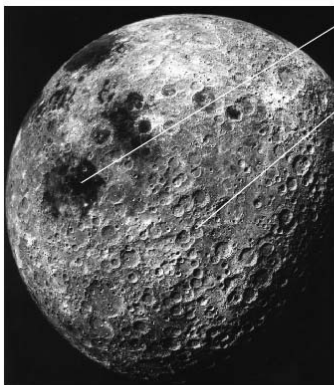


- ▶ Anorthosite
- ▶ Apollo 15
- ▶ originale Kruste?
- ▶ Si, Ca, Al
- ▶ extrem alt: 4.1×10^9 a
- ▶ Apollo 17 $\rightarrow 4.6 \times 10^9$ a

Geschichte



Krater

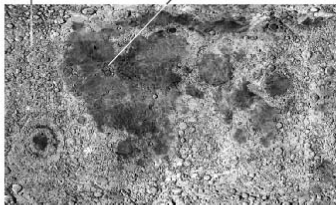


(a)

Copyright © Addison Wesley

Lunar Maria are huge impact basins that were flooded by lava. Only a few small craters appear on the maria.

Lunar highlands are ancient and heavily cratered.



(b)

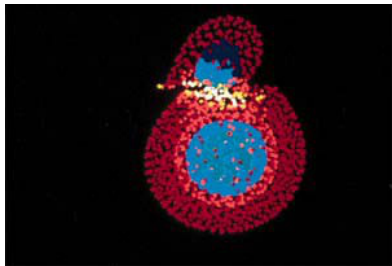
Entstehung

- ▶ Verschiedene Modelle:
- ▶ Abspaltungsmodell
 - ▶ Proto Erde rotiert extrem schnell
 - ▶ Mond spaltet sich ab
- ▶ Einfangmodell
 - ▶ separate Bildung
 - ▶ späterer Einfang
- ▶ gemeinsame Entstehung
- ▶ keine davon erklärt die Beobachtungen

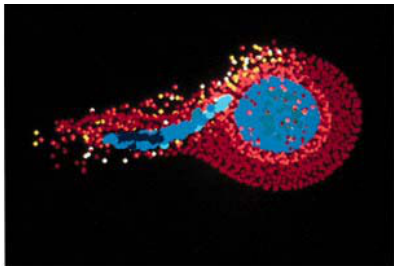
Entstehung

- ▶ Kollisionsmodell
- ▶ (kleine) Proto-Erde stösst mit Mars-grossem Objekt zusammen
- ▶ Verschmelzung der Objekte
- ▶ plus Auswurf (leichten) Materials → Mond
- ▶ erklärt Beobachtungen
- ▶ passt zum frühen Sonnensystem (Movie)

Kollisionsmodell

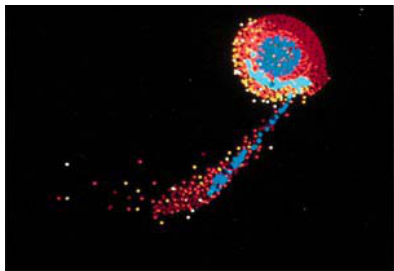


a.

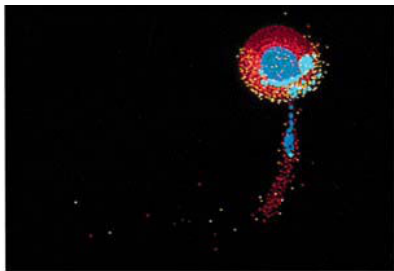


b.

Kollisionsmodell

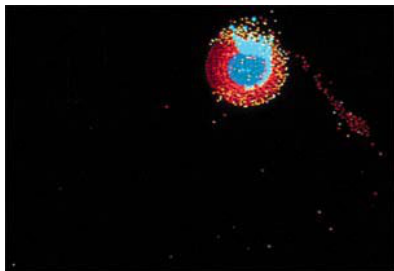


c.

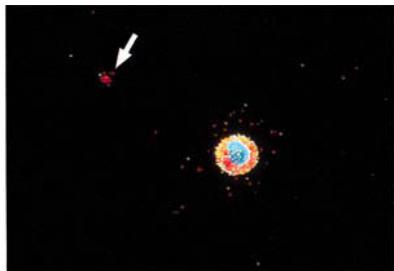


d.

Kollisionsmodell



e.



f.