

# Astro121 - Einführung in die Astronomie

## Das Sonnensystem – Planeten I

Prof. Frank Bigiel

Argelander-Institut für Astronomie

# **Aufbau von Erde und Mond**

# Die Erde



Aufnahme von der  
Apollo 17 Mission  
auf dem Weg zum Mond  
7. Dezember 1972

# Die Erde: einige Fakten

- Masse =  $5.97 \times 10^{27}$  g
- Radius = 6371 km (am Äquator: 6378 km)
- Durchschnittliche Dichte =  $5.5 \text{ g/cm}^3$
- Grosser Eisen-Nickel-Kern
- Abstand zum Sonnenzentrum =  $1.50 \times 10^{13}$  cm
  - Dies definiert die Längeneinheit „Astronomische Einheit“ (AE), auf Englisch „Astronomical Unit“ (AU):  
 $1 \text{ AU} = 1.49598 \times 10^{13} \text{ cm}$
- Alter =  $\sim 4.5 \times 10^9$  Jahr
- Orbitale Eigenschaften:
  - Exzentrizität:  $e = 0.017$  (d.h. fast, aber nicht ganz Kreisbahn)
  - Inklination:  $i = 1.6^\circ$  (im Bezug auf ganzes Sonnensystem)

# Die Erde: Innerer Aufbau

Kontinentalplatten (~100 km dick)  
Materialdichte =  $\sim 2.7 \text{ g/cm}^3$ . Treibt  
auf dem Mantel.

Ozeanische Erdkruste  
(~ 5 bis 8 km dick)  
Materialdichte =  
 $\sim 2.9 \text{ g/cm}^3$ .

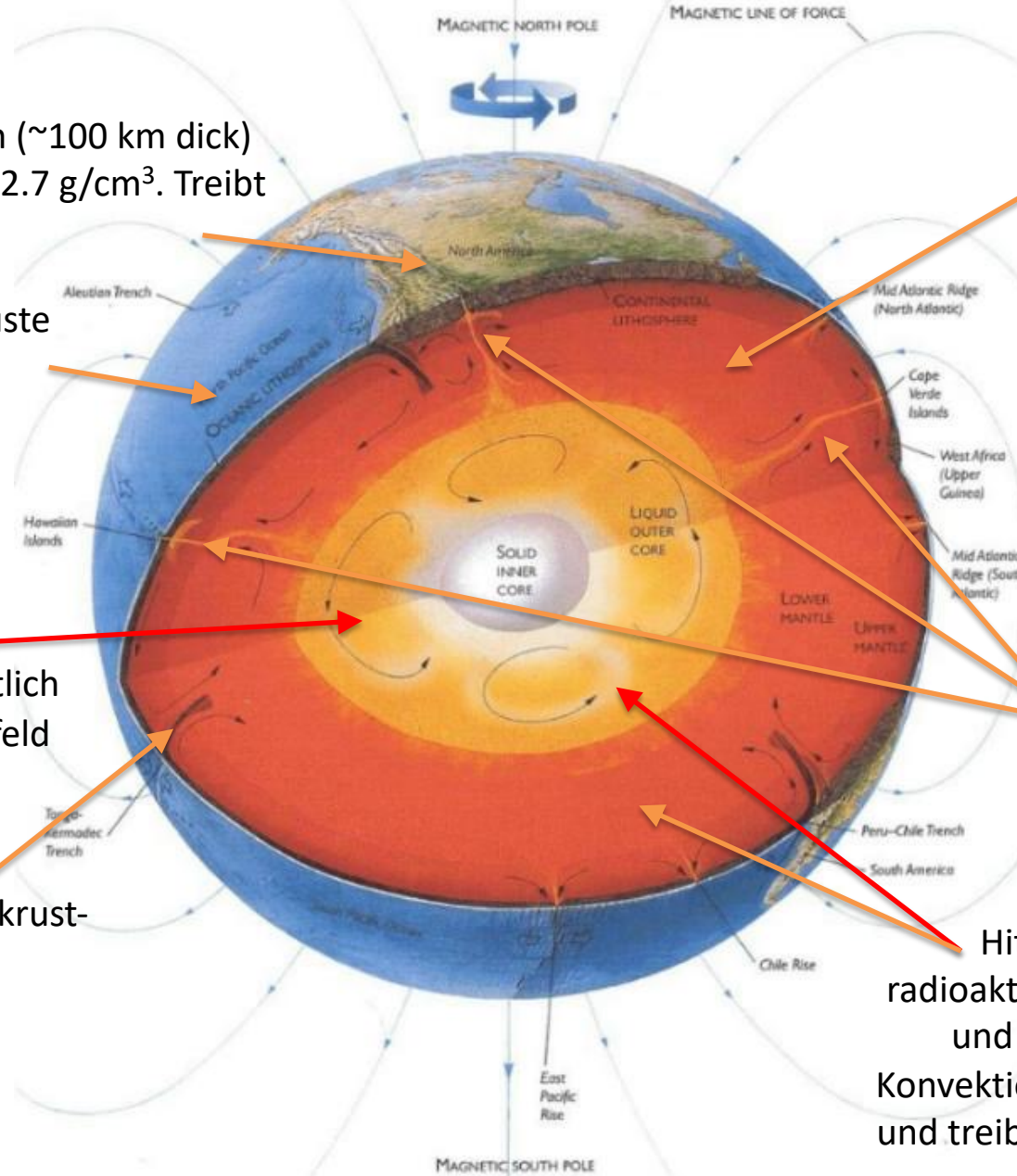
Flüssiger Teil  
des Eisen-Nickel-  
Kerns ist verantwortlich  
für das Erd-Magnetfeld

Subduktion von Erdkrust-  
Material. Meistens  
Ozeanboden.

Mantel = Gestein  
(nicht Magma!),  
aber verhält sich  
als extrem viskose  
Flüssigkeit, wie  
z.B. ein Gletscher.  
Materialdichte =  
 $\sim 3.0 \text{ g/cm}^3$ .

Hotspots, wo heißes  
Mantelmaterial nach  
oben konvektiert,  
dekomprimiert  
und dadurch flüssig  
wird (= Magma)

Hitze, produziert durch  
radioaktiven Zerfall von Uran  
und Thorium, wird durch  
Konvektion hochtransportiert  
und treibt Plattentektonik an.





# Der Mond



# Der Mond: Einige Fakten

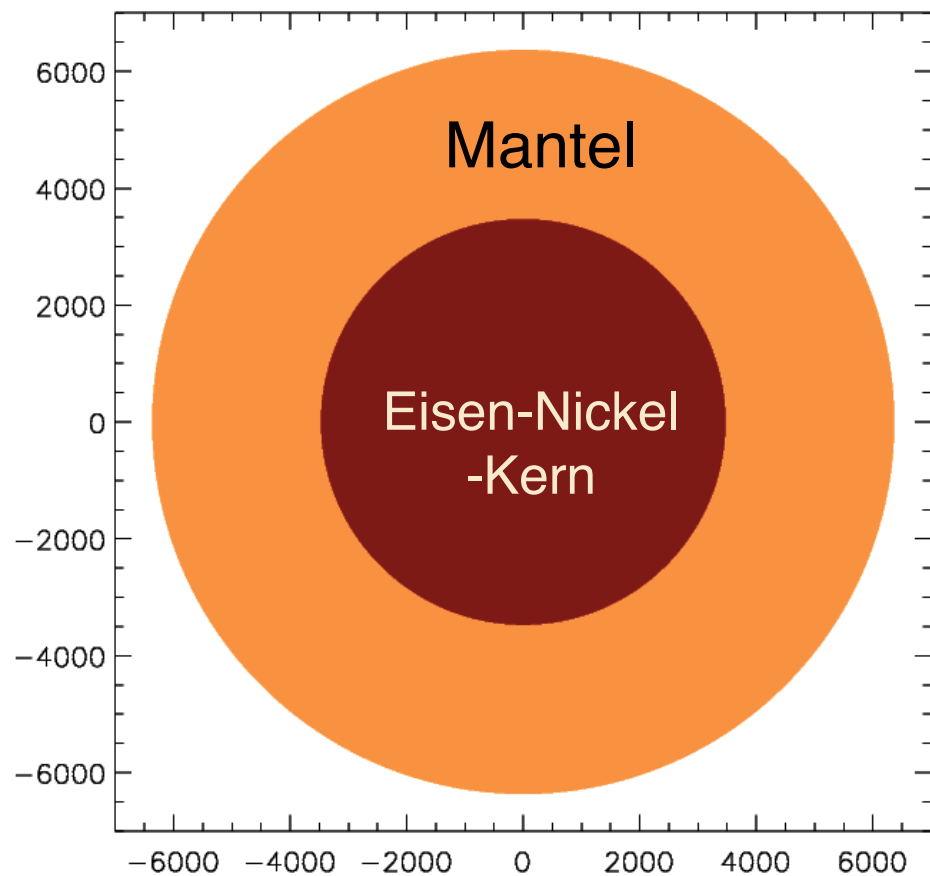
- Masse =  $7,35 \times 10^{25}$  gram =  $0,012 M_{\text{Erde}}$
- Radius = 1738 km =  $0,273 R_{\text{Erde}}$
- Durchschnittliche Dichte =  $3.3 \text{ g/cm}^3$
- Abstand zum Erde-Mond-Zentrum =  $\sim 3,8 \times 10^{10} \text{ cm} = 0.0026 \text{ AU}$
- Orbitale Eigenschaften:
  - Exzentrizität:  $e = 0.055$

# Erde + Mond fotografiert in 2008 von "Deep Impact" Raumsonde aus 50 million km Entfernung

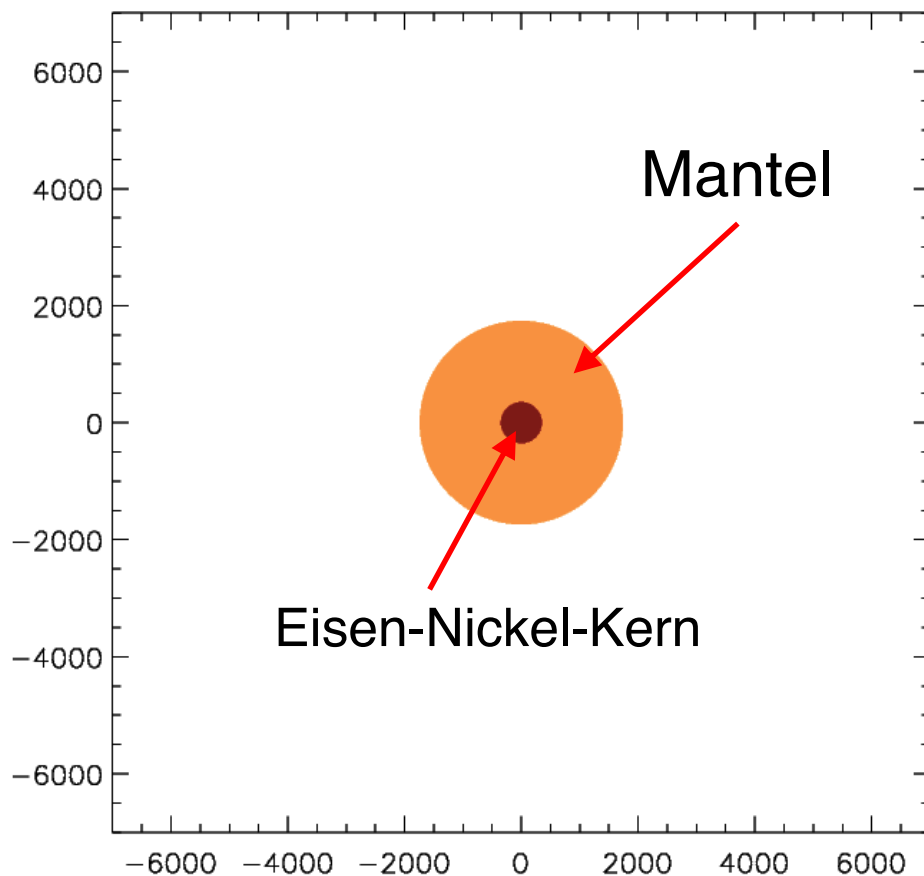




# Erde



# Mond

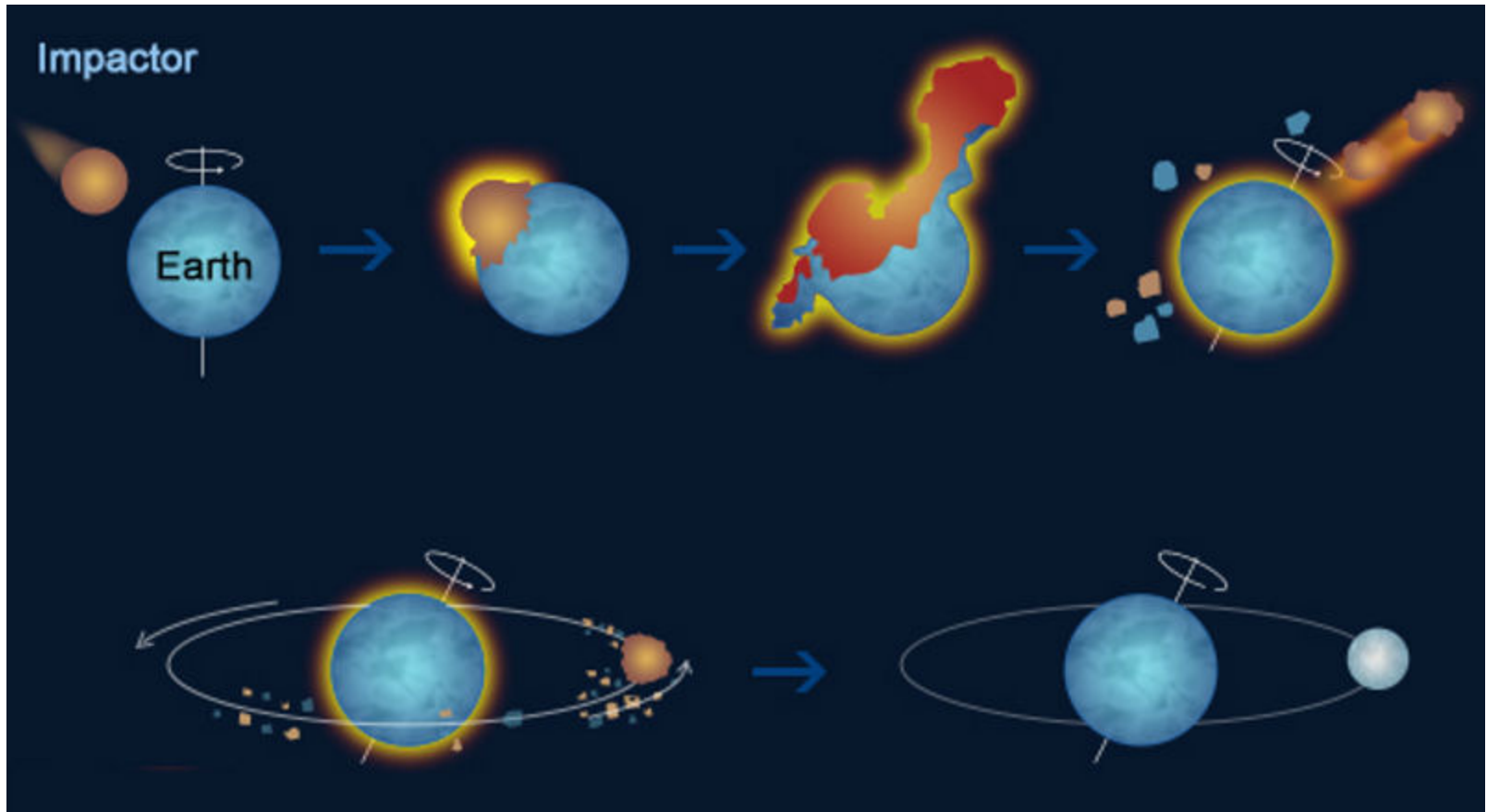


# Entstehung des Mondes, Gezeiten

# Entstehung des Mondes

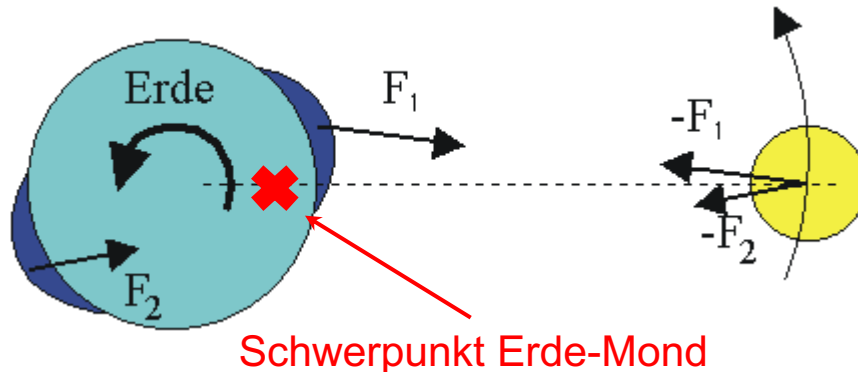


# Entstehung des Mondes



# Gezeiten

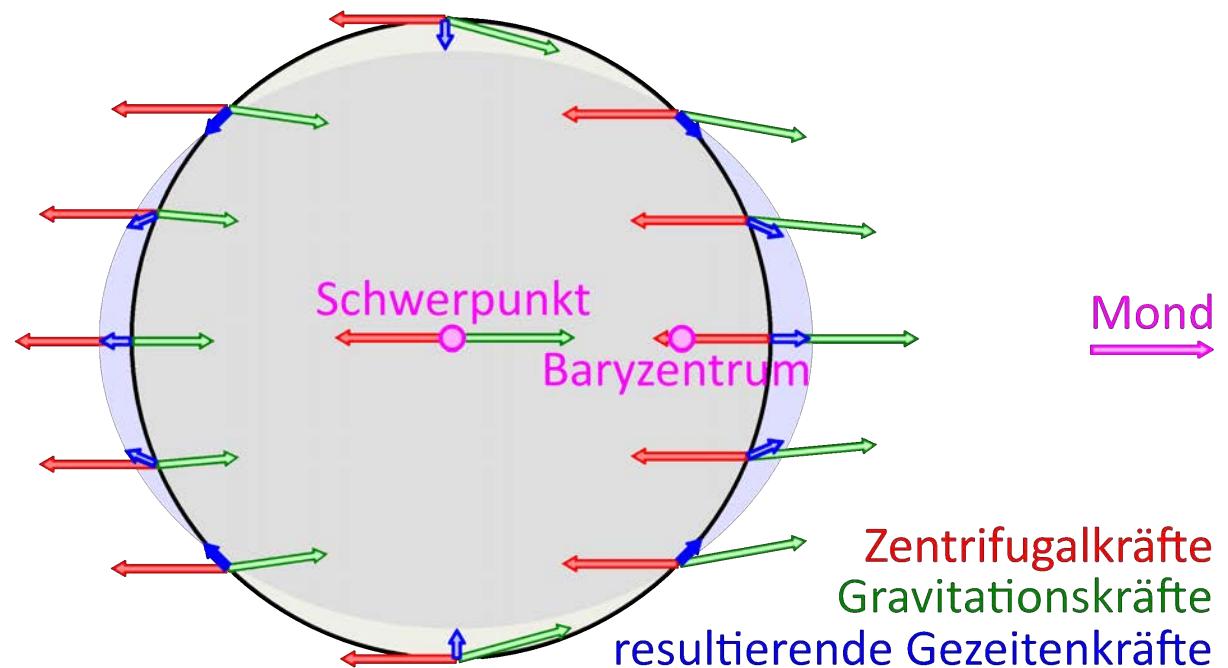
- Mond (und Sonne) erzeugen Gezeitenkräfte
  - Anziehungskraft und Fliehkraft bei Bewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt im Gleichgewicht
  - Näher am Mond überwiegt Schwerkraft
  - Auf der abgewandten Seite überwiegt Fliehkraft
  - 2 symmetrische Flutberge
  - Erddrehung nimmt die Flutberge etwas mit, Küstenlinien verzögern die Flutberge
    - Verschobene Flutberge bremsen Erdrotation um 1 Sek. In 62500 Jahren ab: 22<sup>h</sup> Tag im Devon (vor 370 Millionen Jahren)



# Gezeiten

## – Kräfteverhältnisse

- Gezeitenkraft des Mondes doppelt so groß wie die der Sonne
- Aber zehnmillionenmal kleiner als Anziehungskraft der Erde!
- Wasser / Flutberg wird **nicht** vom Mond "angezogen"!





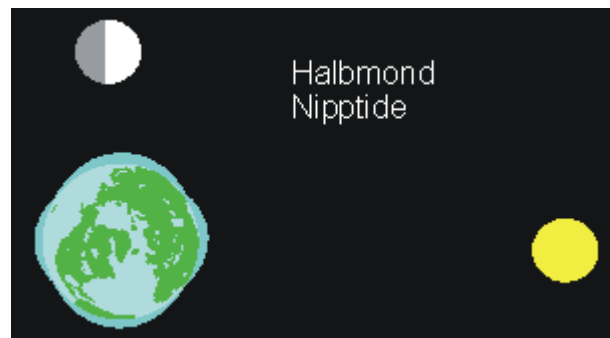
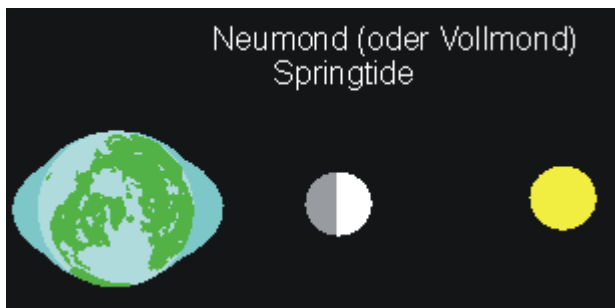
# Gezeiten

## – Kräfteverhältnisse

- Gezeitenkraft des Mondes doppelt so groß wie die der Sonne
- Aber zehnmillionenmal kleiner als Anziehungskraft der Erde!
- Wasser / Flutberg wird **nicht** vom Mond "angezogen"!

## – Flutberge

- Springtide bei Voll- und bei Neumond
- Nipptide bei Halbmond
- Erddeformation 30cm
- Flutberge 1m im offenen Ozean, bis 12m in Buchten



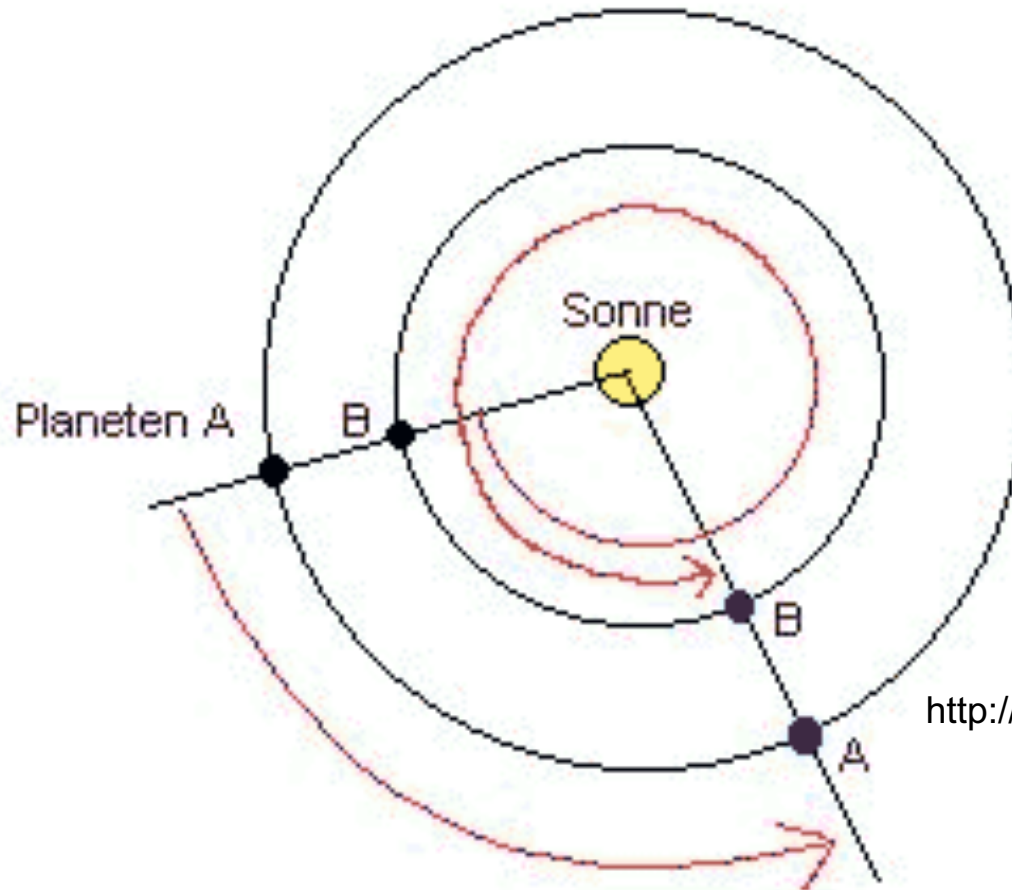
[http://www.leifiphysik.de/web\\_ph12/grundwissen/12gezeiten/gezeitenerde.htm](http://www.leifiphysik.de/web_ph12/grundwissen/12gezeiten/gezeitenerde.htm)

# Gebundene Rotation



# **Bestimmung der Größe des Planetensystems**

# Synodische Umlaufperiode



<http://www.wikipedia.org>

# Synodische Umlaufperiode

- Die **siderische Umlaufdauer** bezeichnet die Dauer eines vollständigen Umlaufs eines Planeten um die Sonne **bezogen auf das Bezugssystem der Sterne**.
- Die **synodische Umlaufdauer** bezeichnet die Umlaufdauer eines Planeten bis dieser relativ zum Sonnen-Erde System die gleiche Position am Himmel einnimmt

Für die äußeren Planeten gilt:

$$\frac{1}{\textit{siderische Umlaufzeit Planet}} = \frac{1}{\textit{siderisch Erde}} - \frac{1}{\textit{synodisch Planet}}$$

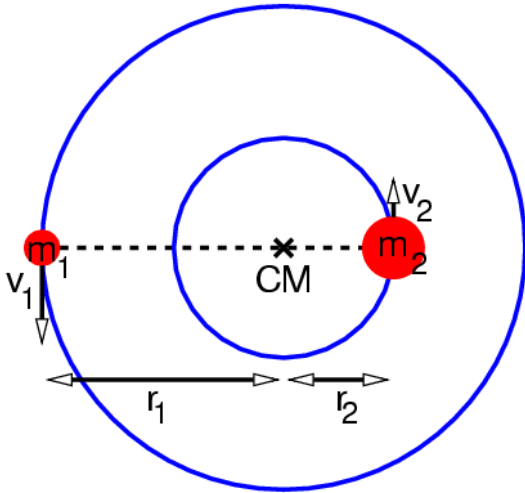
Für die inneren Planeten ist der rechte Term eine Summe (also einfach "+" statt "-").

- Mars besitzt z. B. die synodische Umlaufdauer von 780 Tagen und die siderische Umlaufdauer von 687 Tagen

Für eine Visualisierung und Herleitung siehe z.B.

<https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/siderische-und-synodische-umlaufzeit>

# Erinnerung letzte Vorlesung – 3. Keplergesetz



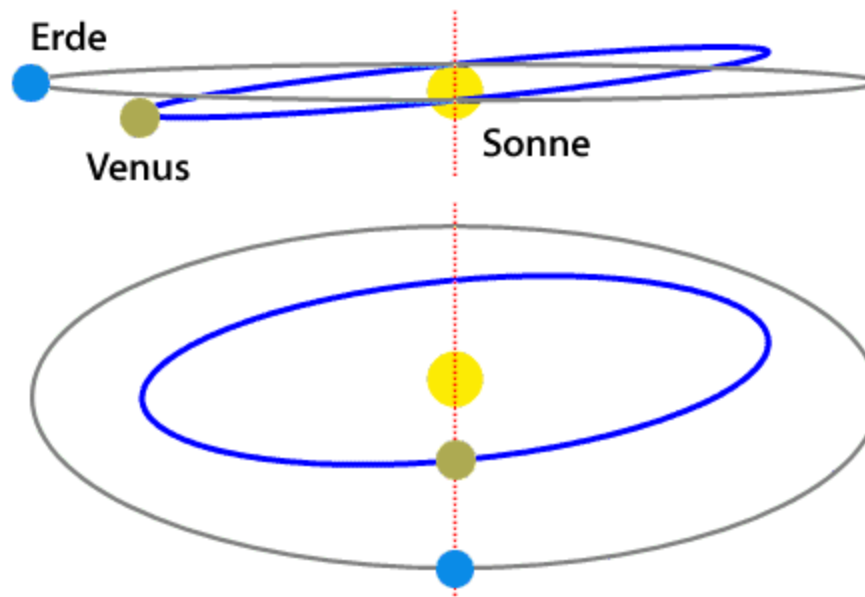
$$R = r_1 + r_2 = r_1 + \frac{m_1}{m_2} \cdot r_1 = r_1 \cdot \left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right)$$

$$\frac{4\pi^2}{P^2} \cdot R \cdot \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \gamma \cdot \frac{m_2}{R^2} \Rightarrow$$

$$\frac{P^2}{R^3} = \frac{4\pi^2}{\gamma(m_1 + m_2)}$$

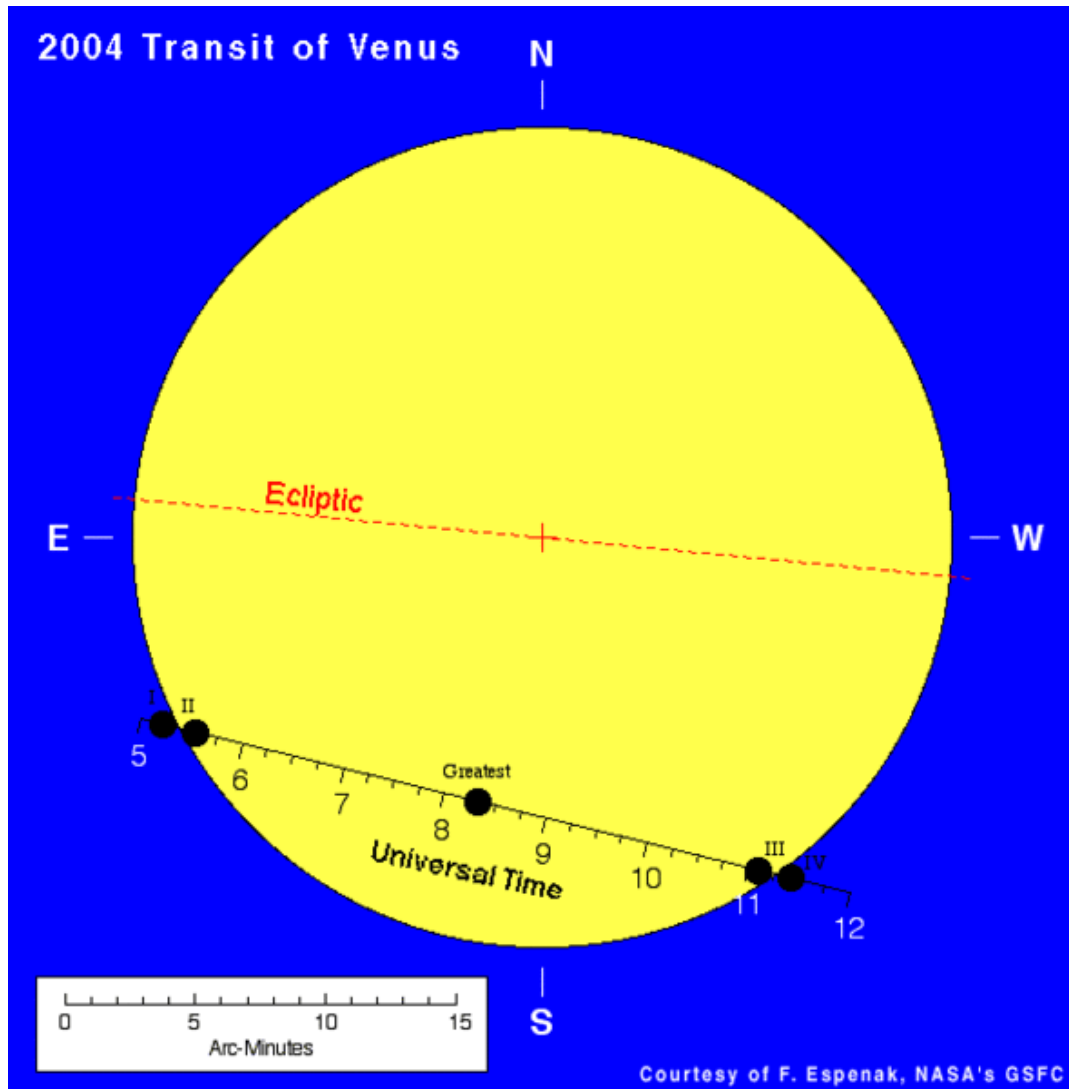


# Messung der astronomischen Einheit



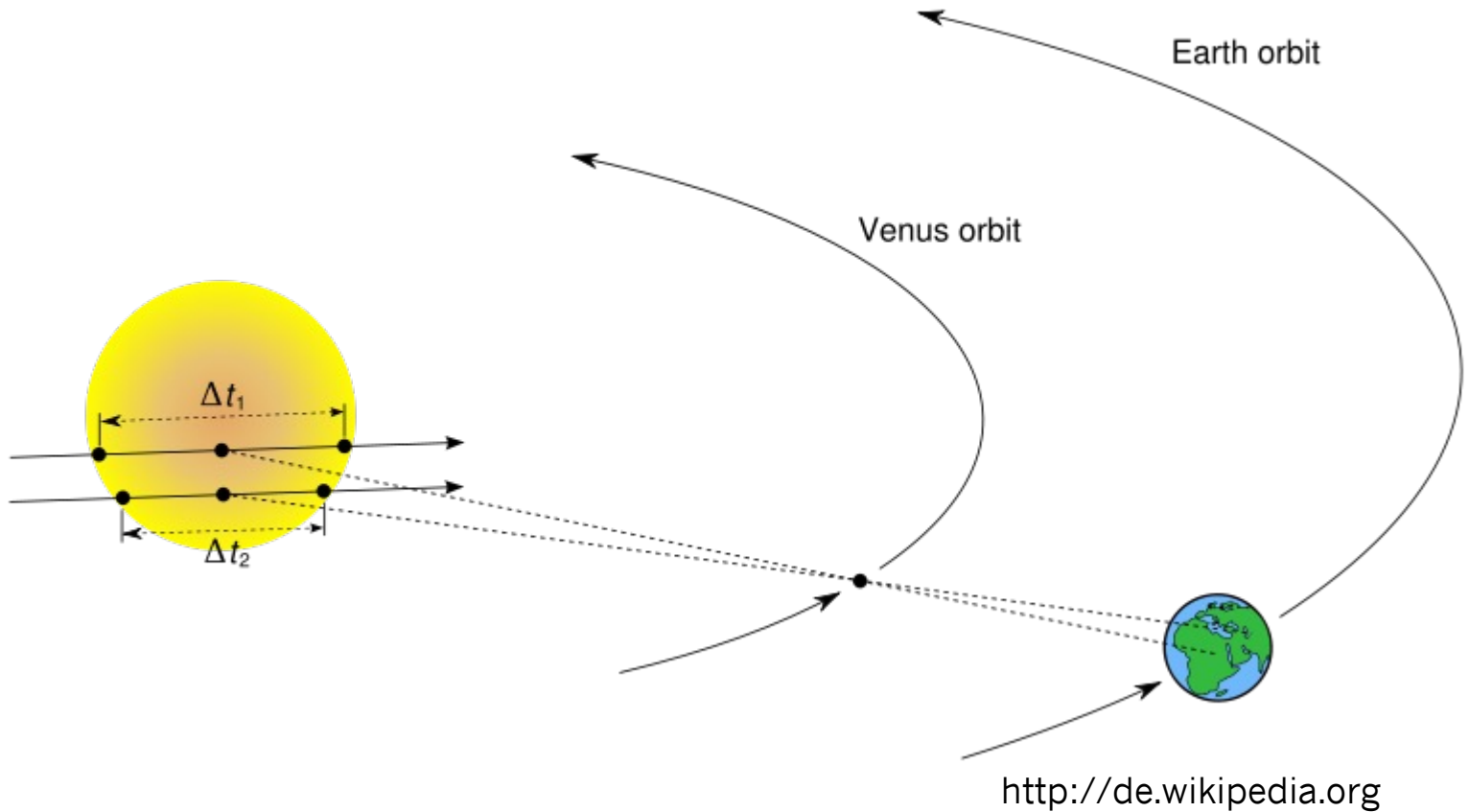
Ebenso wie beim Erde-Mond System schneiden sich die Bahnen der Venus und der Erde. Dabei gibt es sehr selten (etwa alle 130 Jahre einmal) zwei Vorbeigänge (Transit) der Venus vor der Sonnenscheibe. Die Letzten ereigneten sich 2004 und 2012.

# Messung der astronomischen Einheit

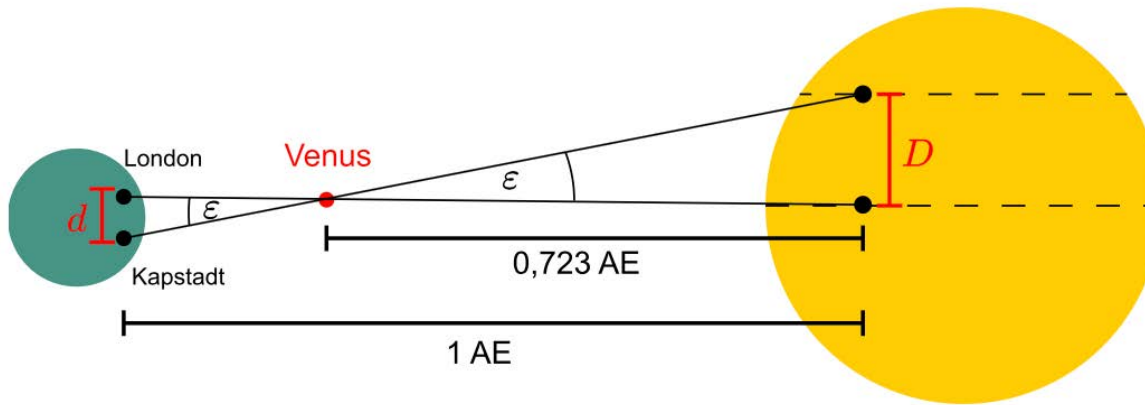


Wenn die Venus vor der Sonnenscheibe vorbei zieht, absorbiert sie das Sonnenlicht und ist als kleiner Schatten erkennbar. Abhängig von der geographischen Breite eines Beobachters, ist der Weg, den die Venus entlang der Sonnenscheibe nimmt, verschieden (**Parallaxe!**). Die Parallaxe wird durch die lineare Entfernung von verschiedenen Beobachtern auf der Erde aufgespannt.

# Messung der astronomischen Einheit

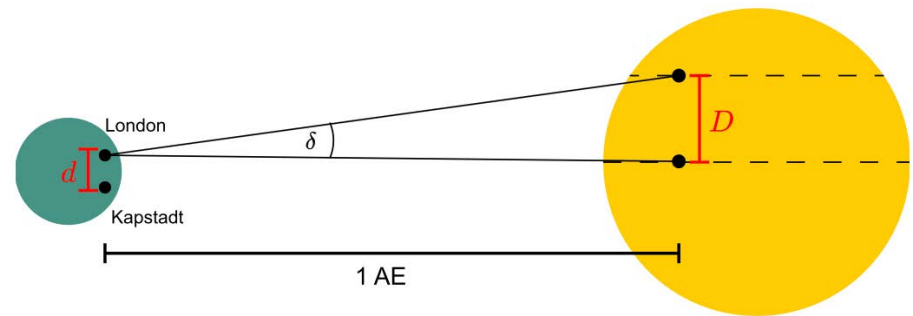


# Astronomische Einheit

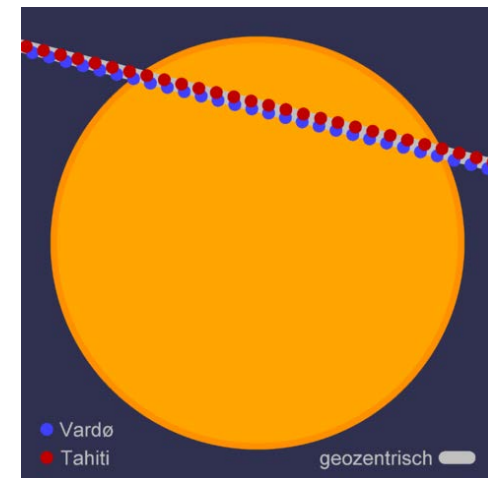


$$\frac{D}{0,723 \text{ AE}} = \frac{d}{0,277 \text{ AE}} \Rightarrow D = \frac{0,723 \text{ AE}}{0,277 \text{ AE}} \cdot d = 2,61d$$

Ein Venustransit wurde erstmals 1639 von *Jeremiah Horrocks* genutzt, um die Astronomische Einheit zu vermessen. Er ermittelte eine Größe von  $100 \cdot 10^6 \text{ km}$ . Der heutige Wert von  $149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$  wird mittels Radarstrahlen vermessen.



$$\tan\left(\frac{\delta}{2}\right) = \frac{\frac{D}{2}}{1 \text{ AE}} \Leftrightarrow 1 \text{ AE} = \frac{\frac{D}{2}}{\tan\left(\frac{\delta}{2}\right)}$$



Wikipedia / Sch

# Vorgehen: Parallaxe und AU

- Beobachtungsobjekt: Venustransit
- Methode
  - Beobachtung des Venustransits von möglichst verschiedenen Standorten in der geographischen Breite
  - Vermessung der beobachteten Position der Venusbahn relativ zur Sonnenscheibe, ebenso wie die Ermittlung der Zeitpunkte des Schattenein- und -austritts.
- Ergebnis:
  - Größe der Entfernung Erde-Sonne, der Astronomischen Einheit.
  - Diese Eichung ermöglicht die Entfernungsbestimmung aller Planeten von der Sonne (Stichwort Synodische Umlaufzeit und Kepler 3)
  - Entfernungsmaß zu den Sternen (Parallaxe)

# **Eigenschaften der Planeten**



# Objekte des Sonnensystems

## Gesteinsplaneten

## Gasriesen

## Eisriesen

Merkur

Venus

Erde

Mars

Jupiter

Saturn

Uranus

Neptun

Planeten



0.30-  
0.47 AU  
 $e = 0.2$



0.72 AU



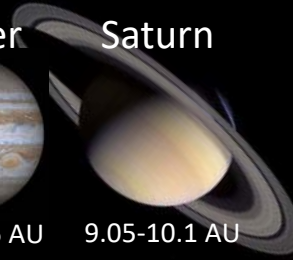
1 AU



1.38-  
1.67 AU  
 $e = 0.1$



4.95-5.46 AU  
 $e = 0.05$



9.05-10.1 AU  
 $e = 0.05$



18-20 AU  
 $e = 0.05$



30 AU

Zwerg-  
Planeten

Ceres



2.55-  
2.99 AU  
 $e = 0.08$

Pluto



29.6-  
48.9 AU  
 $e = 0.25$   
+ Haumea,  
Makemake,  
Eris

Asteroiden  
& TNOs

Asteroid Belt  
(2.0-3.4 AU)

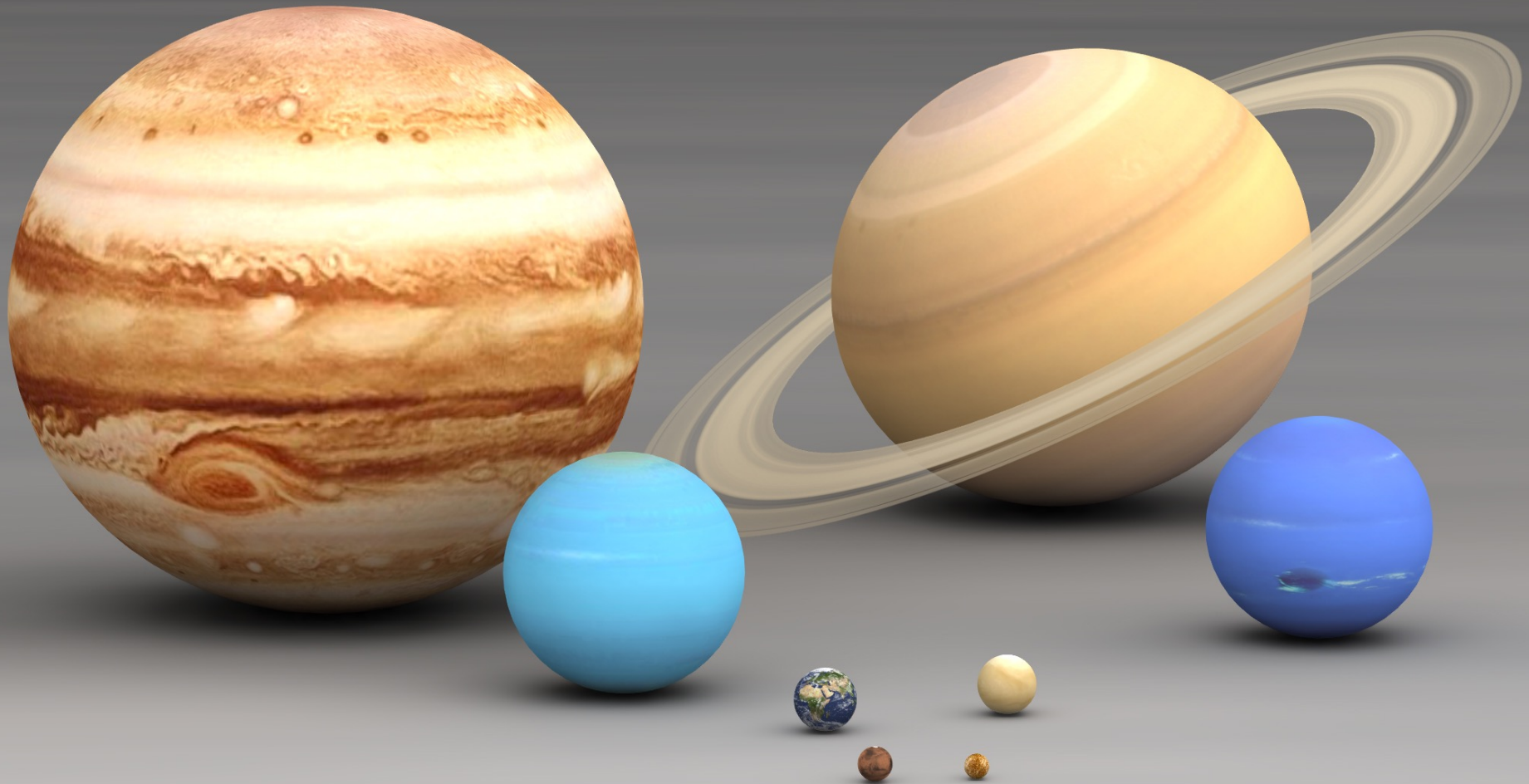
Kuiper Belt  
(30-50 AU)

1 AU

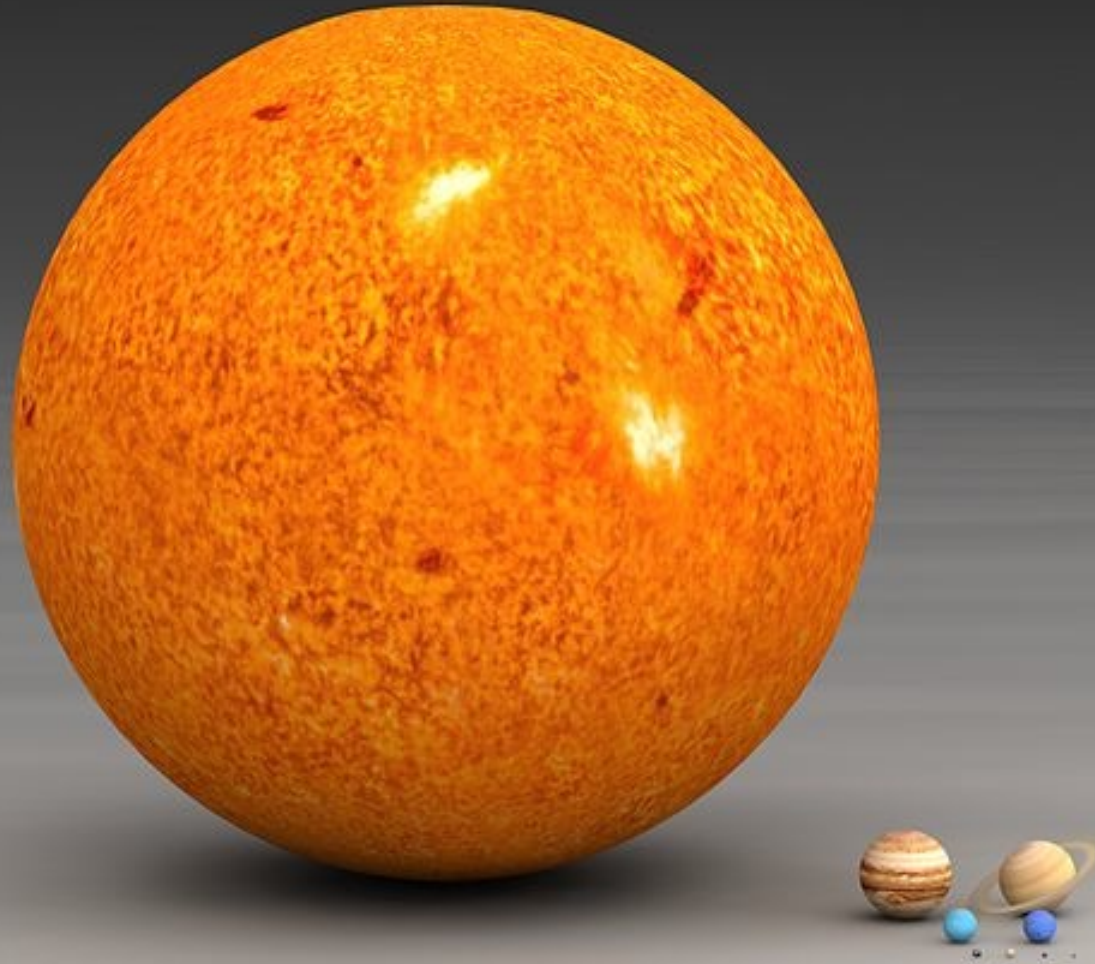
10 AU

Logarithmische Distanz-Skala

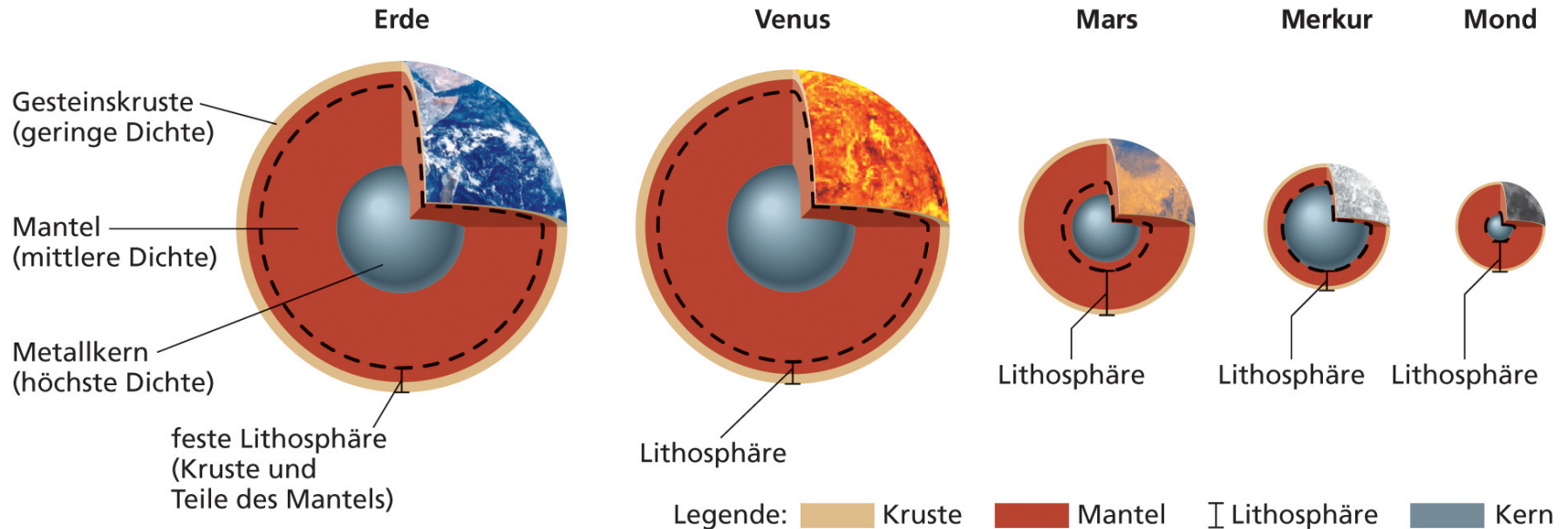
# Relative Größen



# Relative Größen

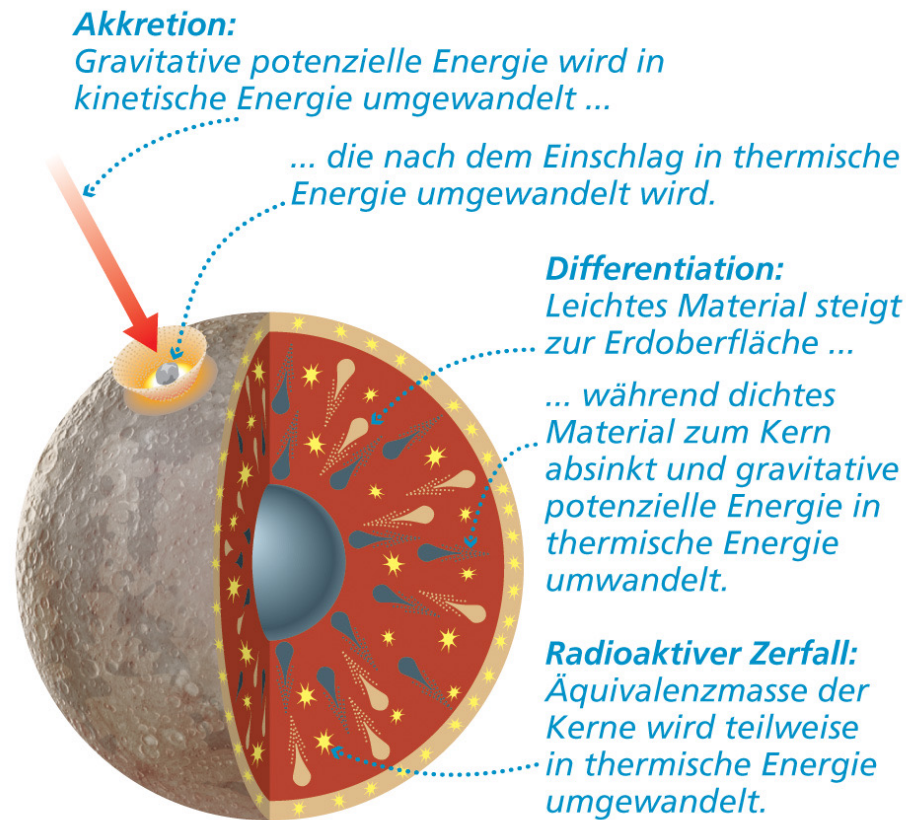


# Aufbau der terrestrischen Himmelskörper



**Abbildung 9.2:** Innerer Aufbau der terrestrischen Planeten, in maßstabgerechter Darstellung und in abnehmender Größe. Die Farben zeigen die Schichtung in Kern, Mantel und Kruste anhand der Dichte. Ein gestrichelter Kreis kennzeichnet die innere Grenze der Lithosphäre; sie wird durch die Festigkeit der Gesteine und nicht deren Dichte definiert. Die Dicke der Kruste und der Lithosphäre von Venus und Erde sind übertrieben dargestellt, damit sie in der Abbildung sichtbar sind. (Die Unterscheidung zwischen dem *inneren Kern* und dem *äußeren Kern* der Erde ist nicht gezeigt.)

# Heizung der terrestrischen Planeten



**Abbildung 9.4:** Die drei wichtigsten Wärmequellen für das Innere der terrestrischen Planeten sind Akkretion, Differentiation und radioaktiver Zerfall. Nur letzterer ist heute noch eine wesentliche Wärmequelle.



# Kühlung der terrestrischen Planeten

## **Konvektion**

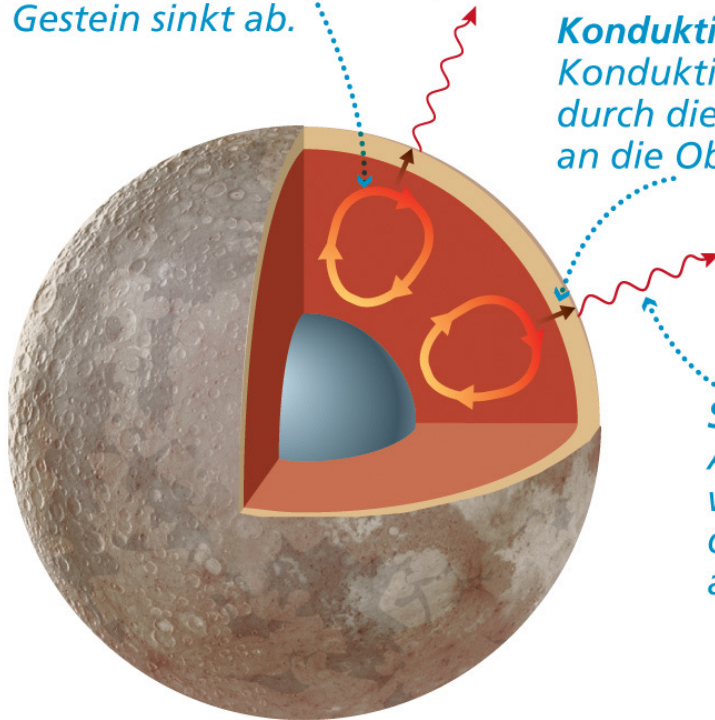
*In einer Konvektionszelle im Mantel steigt heißes Gestein auf, kühleres Gestein sinkt ab.*

## **Konduktion**

*Konduktion trägt Wärme durch die feste Lithosphäre an die Oberfläche.*

## **Strahlung**

*An der Oberfläche wird Energie in den Weltraum abgestrahlt.*



**Abbildung 9.5:** Die drei wichtigsten Kühlprozesse im Inneren eines Planeten. Konvektion kann nur in einem Planeten auftreten, dessen Inneres immer noch heiß ist.



# Größe der terrestrischen Planeten

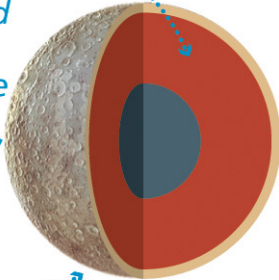
## Die Rolle der Planetengröße

### Kleine terrestrische Planeten

*Das Innere kühlt schnell aus ...*

*... sodass vulkanische und tektonische Aktivitäten nach etwa einer Milliarde Jahren abklingen. Viele alte Krater bleiben daher bestehen.*

*Fehlender Vulkanismus bedeutet geringe Ausgasung und bei geringer Gravitation kann Gas leichter entweichen; ohne Atmosphäre gibt es keine Erosion.*



### Große terrestrische Planeten

*Wärme im Planeteninneren erzeugt Konvektion im Mantel ...*

*... was zu dauerhafter tektonischer und vulkanischer Aktivität führt. Der größte Teil der alten Krater wird abgetragen.*

*Ausgasung erzeugt eine Atmosphäre, die durch hohe Gravitationskraft festgehalten wird; dadurch wird Erosion möglich.*

*Der Kern kann geschmolzen sein, wodurch bei genügend schneller Rotation ein Magnetfeld entsteht.*

