

Das Sonnensystem

Teil 1

Peter Hauschildt

yeti@hs.uni-hamburg.de

Hamburger Sternwarte
Gojenbergsweg 112
21029 Hamburg

24. Januar 2019

Übersicht

- ▶ Allgemeiner Überblick
- ▶ Bahnen der Planeten
 - ▶ historisch: geozentrisch
 - ▶ modern: heliozentrisch
 - ▶ Kepler's Gesetze
- ▶ Finsternisse

Überblick

- ▶ Astronomie nicht mit Astrologie verwechseln!
- ▶ Astronomie ist vielleicht die älteste Wissenschaft
- ▶ dadurch viele seltsame Eigenheiten (Namen etc)
- ▶ praktische Bedeutung durch Zeitmessung

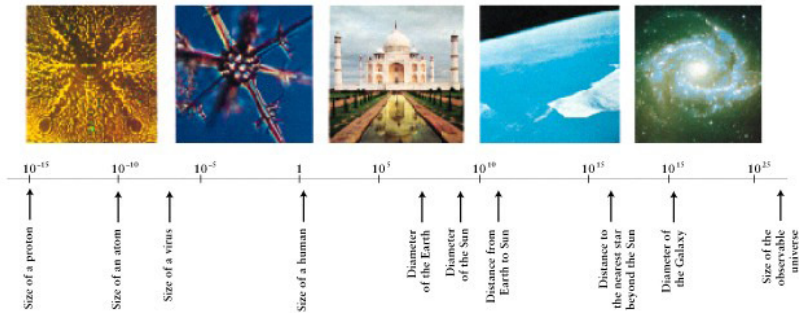


Überblick

- ▶ Moderne Astronomie ist Teil der Physik
→ Astrophysik
- ▶ Astronomie ist aber von je her *interdisziplinär!*
- ▶ Mathematik, Physik, Chemie, Philosophie
- ▶ seit neuestem: Informatik, Meteorologie, Biologie

“Powers of ten”

- ▶ Astronomie überspannt “astronomische” Größenordnungen



Einige Zahlen

- ▶ Radius der Erde: $R_{\oplus} = 6\,382\text{ km}$
- ▶ Radius von Jupiter: $R_{\text{Jup}} = 11R_{\oplus}$
- ▶ Radius der Sonne $R_{\odot} = 7 \times 10^8\text{ m} = 109 R_{\oplus}$
- ▶ Entfernung Sonne-Erde:
 $\approx 150 \times 10^6\text{ km} = 1\text{ AU} \approx 214 R_{\odot}$
- ▶ Entfernung Sonne-Jupiter: 5.2 AU
- ▶ Entfernung Sonne-Pluto: 39.5 AU
- ▶ Entfernung zum nächsten Stern (Proxima Cen):
 $\approx 1.3\text{ pc} \approx 4.22\text{ ly} \approx 267000\text{ AU} \approx 4 \times 10^{13}\text{ km}$

Einige Zahlen

- ▶ Entfernung zum Zentrum der Milchstraße: ≈ 8 kpc
- ▶ Durchmesser der Milchstraße: ≈ 50 kpc
- ▶ Entfernung zu den Magellanschen Wolken: ≈ 50 kpc
- ▶ Entfernung zum Andromeda Nebel (M31): ≈ 778 kpc
- ▶ Radius der lokalen Galaxiengruppe: ≈ 1.4 Mpc
- ▶ Entfernung zum Virgo Cluster: ≈ 16 Mpc
- ▶ Radius des beobachtbaren Universums: ≈ 4 Gpc...

Sternbilder

- ▶ Ein Blick an den Himmel sieht ungefähr so aus:



Sternbilder

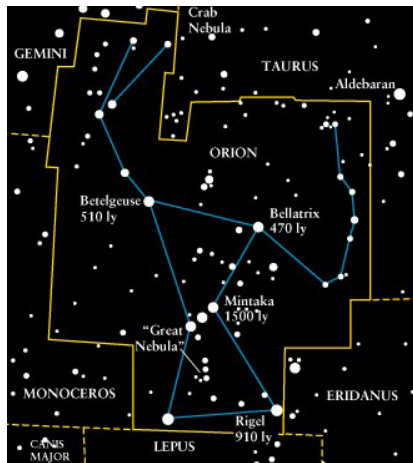
- ▶ Mythologisch wurde daraus



c

Sternbilder

► und heute

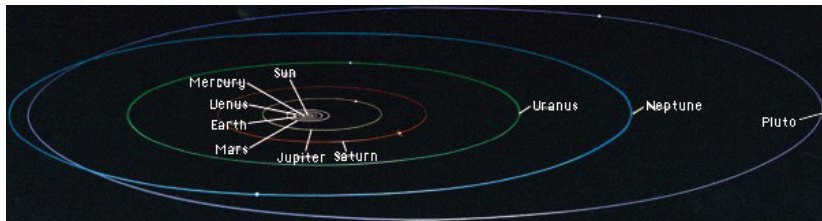


b

Sternbilder

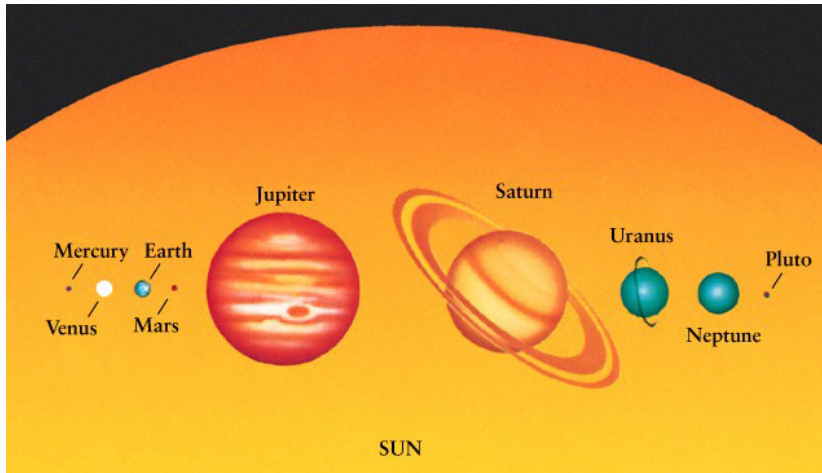
- ▶ Modern: 88 Sternbilder, definiert durch die IAU
- ▶ Sternnamen:
 - ▶ Eigennamen: Vega
 - ▶ Griechischer Buchstabe & Sternbild: α Lyrae
 - ▶ Katalogname: BD +38° 3238, HD 172167, GC 25466, SAO 67174 etc.
- ▶ Sternbilder auch verwendet zur ungefähren Angabe der Position nicht-stellarer Objekte (z.B. Galaxien)

Übersicht Sonnensystem



- ▶ 1 Stern ($333 \times 10^3 M_{\oplus}$)
- ▶ 8 Planeten ($5 \times 10^3 \dots 140 \times 10^3$ km, $448 M_{\oplus}$)
- ▶ 2+ Zwergplaneten
- ▶ 62+ Monde ($10 \dots 5000$ km, $0.12 M_{\oplus}$)
- ▶ 50000+ Planetoiden ($1 \dots 800$ km, $0.0005 M_{\oplus}$)
- ▶ $10^{7\dots 11}$ Kometen ($1 \dots 100$ km, $0.1 M_{\oplus}$)

Übersicht Sonnensystem



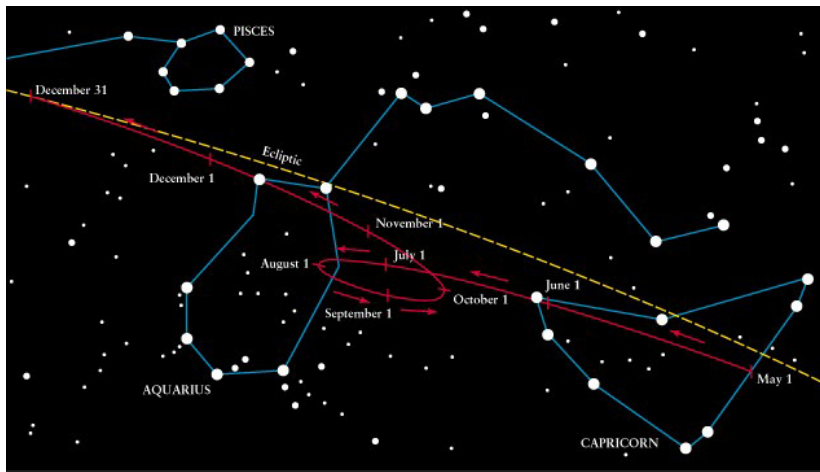
- ▶ Sonne und Planeten im richtigen Verhältnis

Große Monde



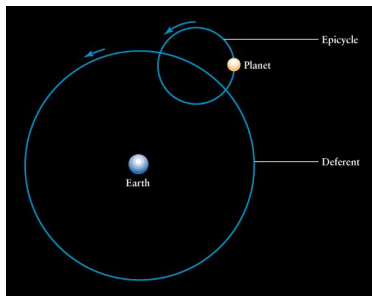
Bahnbewegungen

- ▶ Retrograde Bewegungen einiger Planeten (Movies)



Bahnbewegungen

- ▶ Geozentrische Idee (Ptolemäus):



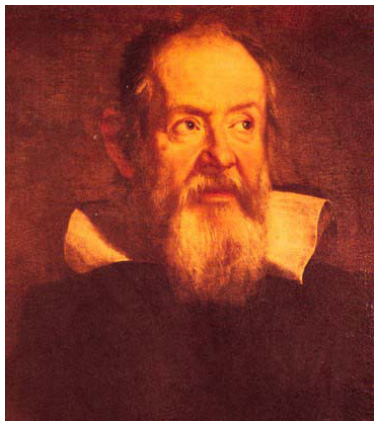
- ▶ Erklärt sowohl normale wie retrograde Bewegungen
- ▶ Einstellungen: Radien Deferent/Epicyle & Perioden
- ▶ → guter Fit zu Beobachtungen möglich

a

Bahnbewegungen

- ▶ Geozentrische Idee wurde als absolut richtig betrachtet
- ▶ → alle Objekte im Sonnensystem kreisen um die Erde
- ▶ passt auch gut zum damaligen religiösen Weltbild
- ▶ → keinerlei Hinterfragung über Jahrhunderte
- ▶ obwohl die richtigen Ideen schon im Altertum bekannt waren

Bahnbewegungen



- ▶ das ändert sich erst mit (u.a.)
- ▶ Galileo Gallilei

Bahnbewegungen

- ▶ Probleme:
 - ▶ Keine physikalische Erklärung
 - ▶ Fit *nicht* gut über lange Zeiträume
 - ▶ Neue Beobachtungen: Jupiter hat Monde (Galileo, 1610)

Observationes Jovianae
1610

20. Febr. Mond H. 12	○ * *
30. Febr.	* * ○ *
2. März.	○ * * *
3. März.	○ * *
3. März.	* ○ *
4. März.	* ○ * *
6. März.	* * ○ *
8. März H. 17.	* * * ○
10. März.	* * * ○ *
12.	* * ○ *
12. H. 4. u. 1/2.	* ○ *
17. März.	* * ○ *
14. April.	* * * ○ *



Bahnbewegungen

- ▶ Probleme:
 - ▶ Neue Beobachtungen: Größe und Phasen von Venus (Galileo, 1610)
- ▶ Galileo beobachtet dies:



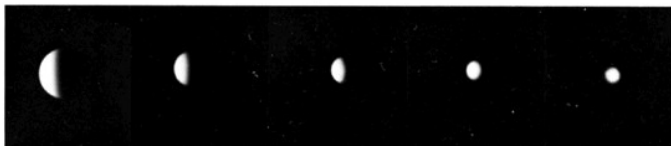
$d = 58''$

$d = 58''$

$d = 51''$

$d = 42''$

$d = 31''$



$d = 24''$

$d = 18''$

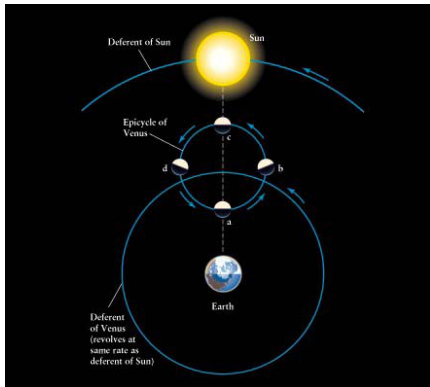
$d = 15''$

$d = 12''$

$d = 10''$

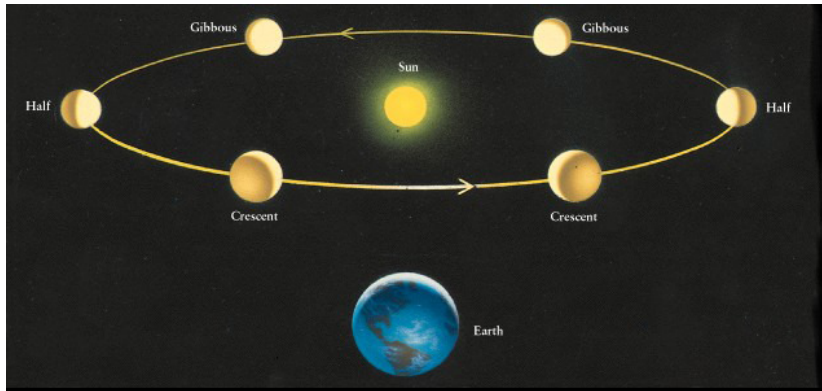
Bahnbewegungen

- ▶ Geozentrisches Modell
- ▶ → Phase von Venus immer $< 50\%$
- ▶ → nicht beobachtet!



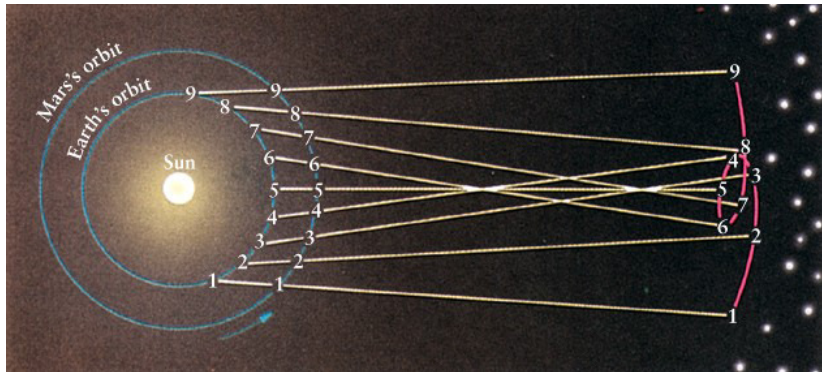
Bahnbewegungen

- ▶ Erklärung: Venus umkreist die Sonne

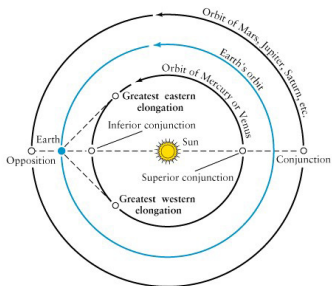


Heliozentrisches System

- ▶ Nikolaus Copernicus (1473–1543)
- ▶ Retrograde Bewegung → Erde überholt äußeren Planeten



Heliozentrisches System



- ▶ Planeten kreisen um die Sonne
- ▶ Kreisbahnen um Sonne
- ▶ Konstante Bahngeschwindigkeit
- ▶ innere Planeten 'schneller' als äussere (Movie)

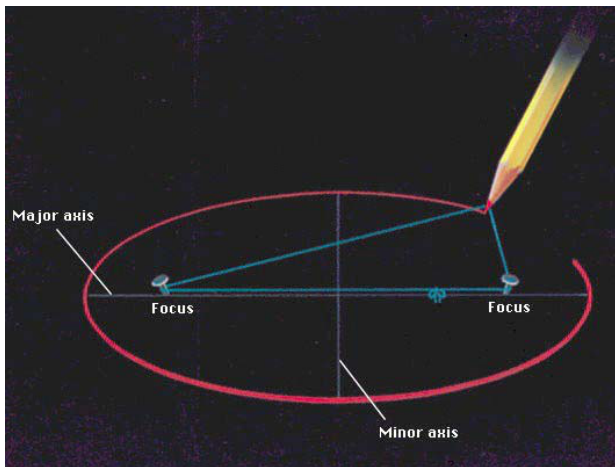
- ▶ schlecht für Vorhersagen!
- ▶ → Epizykel!

Johannes Kepler (1571–1630)

- ▶ Copernicus's System: Probleme mit Ephemeriden
- ▶ Kepler → Erweiterung des Modells
- ▶ Beobachtungen von Tycho Brahe → Marsbahn
- ▶ Kepler 'erbt' die Daten und analysiert sie
- ▶ "trial and error" Methode → extrem aufwendig

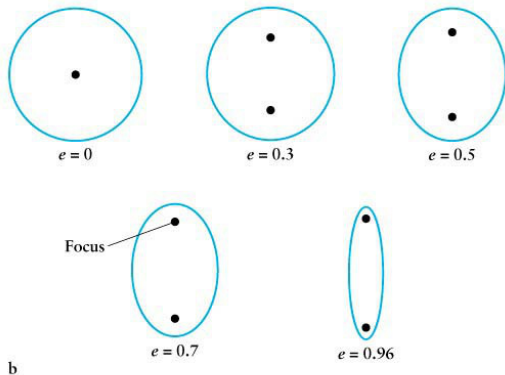
Kepler'sche Gesetze

- ▶ Kepler 1: Bahn ist Ellipse mit Sonne in Brennpunkt



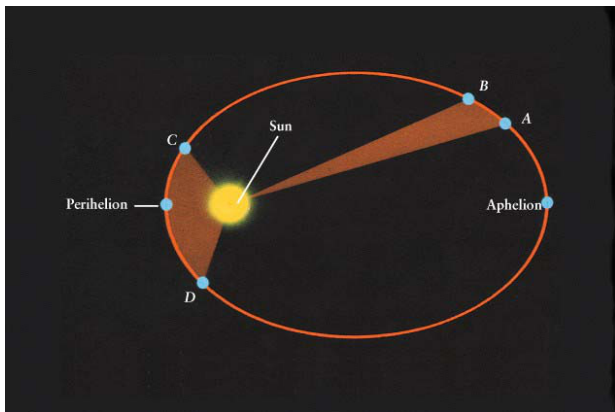
Kepler'sche Gesetze

- ▶ Kepler 1: Bahn ist Ellipse mit Sonne in Brennpunkt



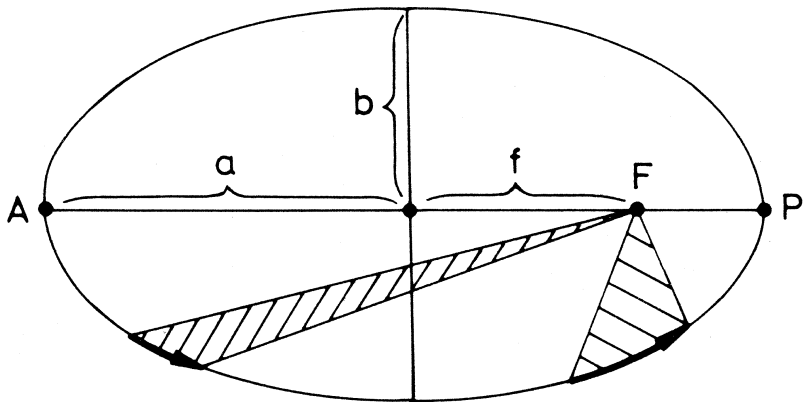
Kepler'sche Gesetze

- ▶ Kepler 2: gleiche Zeiten — gleiche Flächen



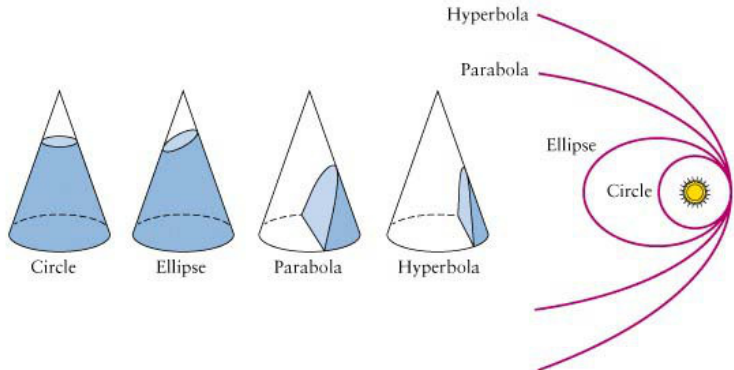
Kepler'sche Gesetze

- ▶ Kepler 1: Bahn ist Ellipse mit Sonne in Brennpunkt
- ▶ Kepler 2: gleiche Zeiten — gleiche Flächen
- ▶ Kepler 3: $P^2 = a^3$ (P in Jahren, a in AU)



Newton

- ▶ Isaac Newton →
- ▶ Kepler's Gesetze sind Folge des Gravitationsgesetzes
- ▶ → gibt allgemeinere Version
- ▶ z.B. mögliche Bahnformen!



Newton

- ▶ Test von Newton's Ideen
→
- ▶ Halley's Komet →
Bahnbestimmung
- ▶ 76yr Umlaufzeit



Bahnen der Planeten

- ▶ Inklinationen klein $i \leq 3^\circ$
- ▶ Exzentrizitäten klein $e \leq 0.1$
 - ▶ Ausnahme: Merkur $i = 7^\circ$, $e = 0.21$
 - ▶ Ausnahme: Pluto $i = 17^\circ$, $e = 0.25$
- ▶ genaueste Bahnberechnung durch numerische Integration der Bewegungsgleichungen

Bahnen der Planeten

- ▶ Abstände von der Sonne: Titius-Bode Reihe

$$a = 0.4 + 0.3 \cdot 2^n$$

mit $n = -\infty, 0, 1, 2, \dots$

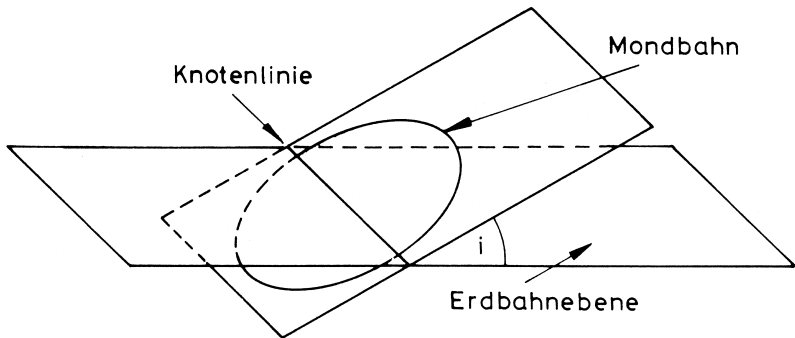
- ▶ gute Wiedergabe aber Neptun 'fehlt' und Asteroiden sind Nummer 3
- ▶ Keine physikalische Bedeutung!
- ▶ Historisch wichtig (Entdeckung von Ceres und Pluto)

Erdbahn

- ▶ $a = 1 \text{ AU} = 149.6 \times 10^6 \text{ km}$
- ▶ $e = 0.0167$
- ▶ Periheldistanz $R_P = a(1 - e) = 147 \times 10^6 \text{ km}$ (Ende Januar)
- ▶ Apheldistanz $R_A = a(1 + e) = 152 \times 10^6 \text{ km}$ (Anfang Juli)
- ▶ Störungen \rightarrow langsame Änderung der Erdbahn/drehung

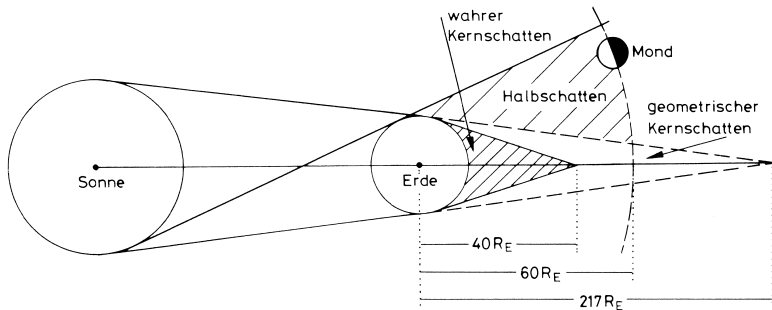
Mondbahn

- ▶ $a = 384.4 \times 10^3 \text{ km}$
- ▶ $e = 0.0549$
- ▶ Neigungswinkel $\approx 5^\circ$



Mondfinsternisse

- ▶ Mond kann in den Schatten der Erde geraten
- ▶ → Mondfinsternis



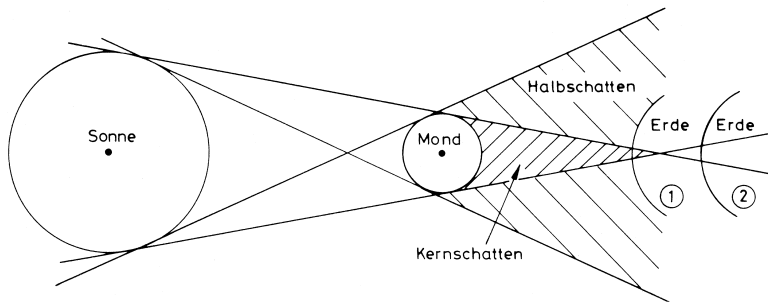
Mondfinsternisse

- ▶ Mond nicht voll verdunkelt
- ▶ Erdatmosphäre beugt bevorzugt rotes Licht
- ▶ → Mond erscheint rötlich



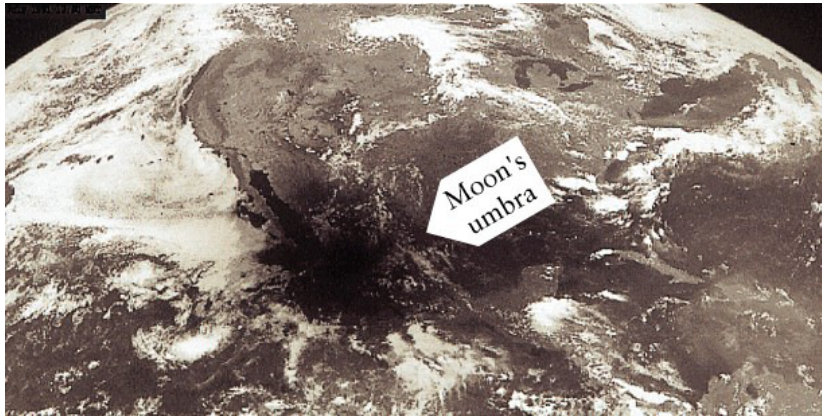
Sonnenfinsternisse

- ▶ Winkeldurchmesser(Mond) \approx Winkeldurchmesser(Sonne)
- ▶ \rightarrow Erde kann in den Schatten des Mondes geraten
- ▶ \rightarrow Sonnenfinsternis



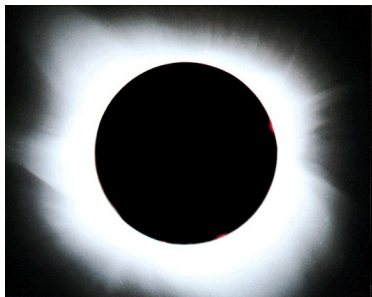
Sonnenfinsternisse

- ▶ Schatten des Mondes auf der Erde sichtbar



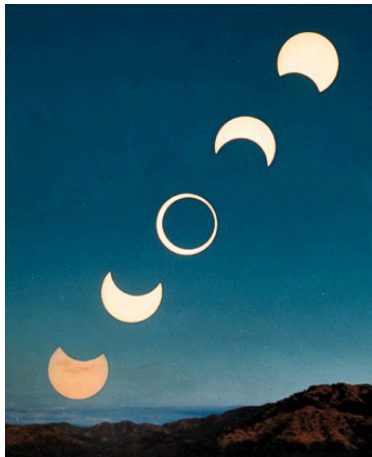
Sonnenfinsternisse

- ▶ Totale Sonnenfinsternis (≤ 7.3 min)
- ▶ Korona der Sonne wird sichtbar



Sonnenfinsternisse

- ▶ Ringförmige
Sonnenfinsternis



Sonnenfinsternisse

- ▶ *Saroszyklus* → 18a 11d
- ▶ 150 Mondfinsternisse/100yr
- ▶ 250 Sonnenfinsternisse/100yr

