



Astronomie für Nicht-Physiker: Das Sonnensystem und seine nächsten Verwandten

Markus Pössel & Hubert Klahr

Haus der Astronomie / Max-Planck-Institut für Astronomie

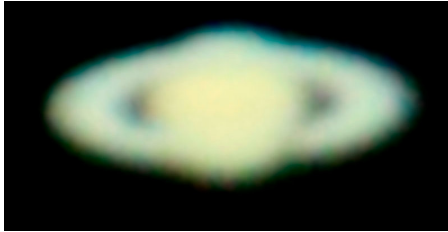
16.10.2018 bis 22.1.2019

Blick nach außen



Eigenes Bild

Einfach selbstgemacht vs. Spitzentechnik



Eigenes Bild

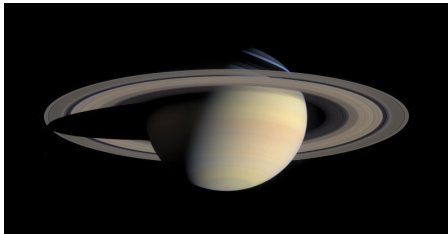


Bild: NASA/JPL/Space Science Institute

Das Sonnensystem...

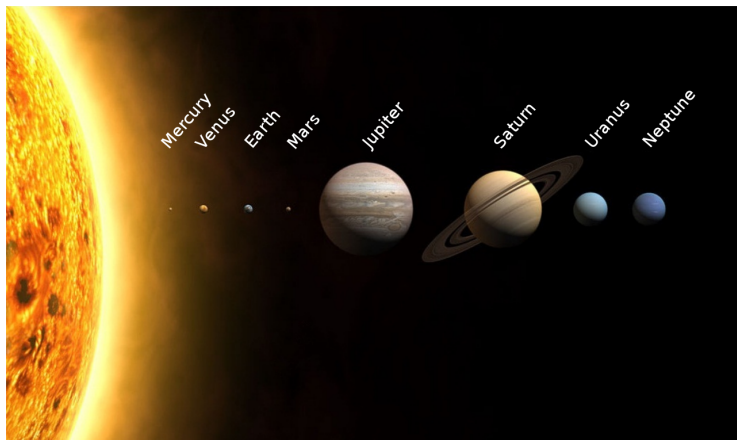
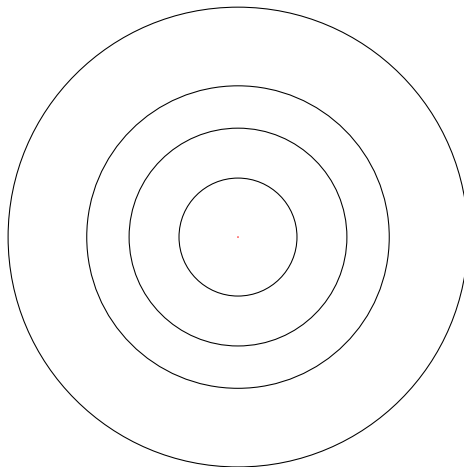


Bild:

Planets2013 von Nutzer WP via Wikimedia Commons unter Lizenz CC BY-SA 3.0

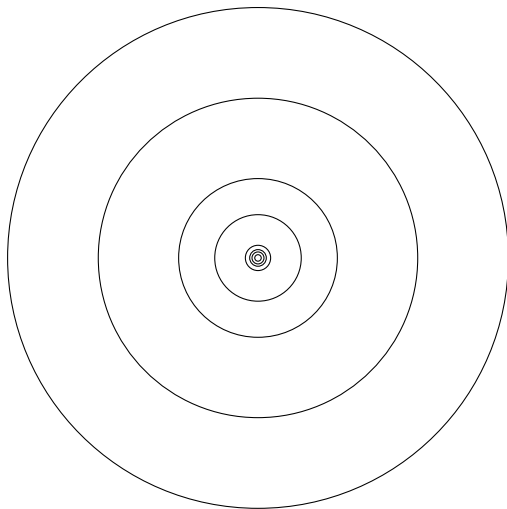
Die Sonne und die Planeten des Sonnensystems. Relative Größen maßstabsgetreu, relative Abstände nicht

Das Sonnensystem (Abstände)...



Inneres Sonnensystem bis Mars, keine Exzentrizitäten, Sonne maßstabsgetreu

Das Sonnensystem (Abstände)...



Gesamtes Sonnensystem, keine Exzentrizitäten, Sonne maßstabsgetreu

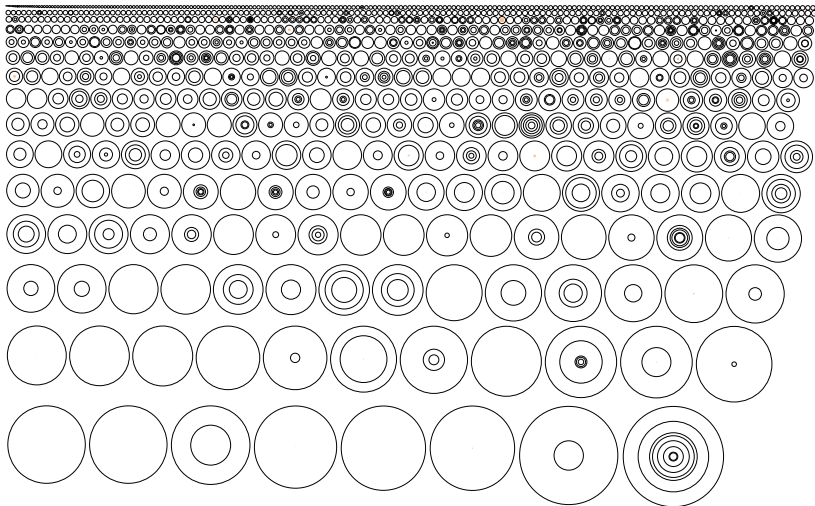
... und seine nächsten Verwandten: Exosysteme



Bild: ESO / N. Bartmann/spaceengine.org

Künstlerische Darstellung eines der Planeten des TRAPPIST-1-Systems: 7 erdähnliche (?) Planeten in 40 Lichtjahren Entfernung von uns

... und seine nächsten Verwandten: Exosysteme



—
Abstand Erde-Sonne

Daten von <http://exoplanet.eu>, 850 Exoplanetensysteme mit bekannten Bahndurchmessern,
Bahnen sind als Kreisebahnen angenähert, Sternscheibchen sind 50% größer als maßstabsgetreu gezeichnet.

Weltbilder: Ptolemäus vs. Kopernikus

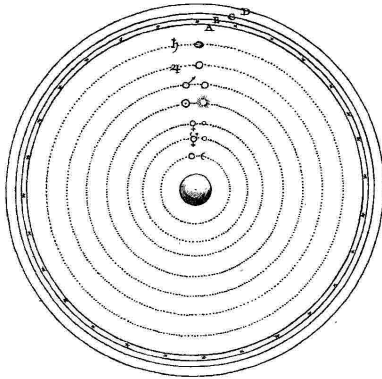
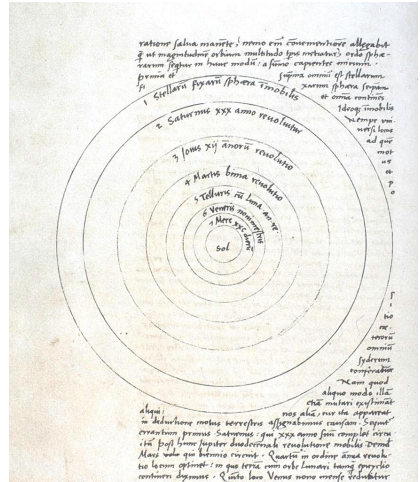


Abb. aus: Diderot/D'Alembert, *Encyclopédie*



De revolutionibus orbium coelestium (1543)

Newtonsche Gravitation und Kepler

108 PHILOSOPHIÆ NATURALIS

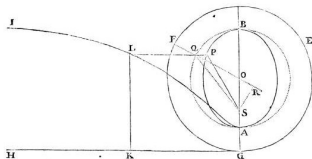
DE MOTU
CORPORUM

rum puncta omnia per longitudines æquationibus definitas, id est, per longitudinum rationes complicatas, determinari possunt; cæterasque (ut spirales, quadratrices, trochoides) geometrice irrationales. Nam longitudines quæ sunt vel non sunt ut numerus ad numerum (quemadmodum in decimo elementorum) sunt arithmetice rationales vel irrationales. Aream igitur ellipseos tempori proportionalem abscindo per curvam geometrice irrationalem ut sequitur.

PROPOSITIO XXXI. PROBLEMA XXIII.

Corporis in data trajectory elliptica moti invenire locum ad tempus assignatum.

Ellipseos APB sit A vertex principalis, S umbilicus, & O centrum, sitque P corporis locus inveniendus. Produc OA ad G , ut sit OG ad OA ut OA ad OS . Erige perpendiculum GH , centroque O & intervallo OG describe circumulum GEF , & super regula GH , ceu fundo, progrediatur rota GEF revolvendo circa axem suum, & interea puncto suo A describendo trochoidem ALI . Quo facto, cape GK in ratione ad rotæ perimetrum $GEFG$, ut



est tempus, quo corpus progrediendo ab A descripsit arcum AP , ad tempus revolutionis unius in ellipse. Erigatur perpendiculum KL occurrans trochoidi in L , & acta LP ipsi KG parallela occurrat ellipse in corporis loco quaesito P .

Nam

Isaac Newton (*Principia*, 1687):
Mechanik und Formel für
Gravitationskraft. Grundlage für
physikalische Beschreibung
der Bewegungen im
Sonnensystem —
Umlaufbahnen, Störungen,
Gezeitenkräfte. . .

Was können wir verstehen?

Ernest Rutherford: "Science is either physics or stamp collecting."

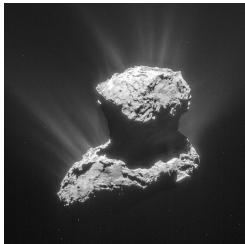


Bild: ESA/Rosetta/NavCam unter
Lizenz CC BY-SA IGO 3.0

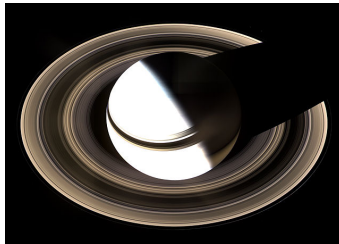


Bild: NASA/JPL/Space Science Institute



Bild: NASA/JPL-
Caltech/SwRI/MSSS/Gerald
Eichstädt /Seán Doran

Nutze **Physik**, **Chemie**, **Planetologie/Geowissenschaften**
(mindestens auf der Erde: auch **Biologie**!) um Strukturen zu
erklären: Gleichgewichte, Flüsse, Temperaturen, Dichten,
Interaktion mit Licht. Dabei wichtig: **Entstehungsgeschichte**!

Wie finden wir etwas über Planeten/Sonnen heraus?

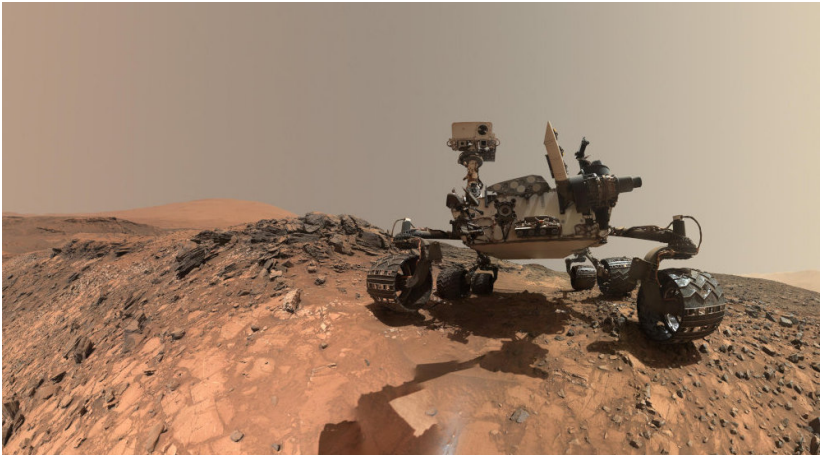


Bild: NASA/JPL-Caltech/MSSS

Im Sonnensystem: Hinfliegen, herumfahren! (Hier: Curiosity)

Teleskop-Detailbeobachtungen

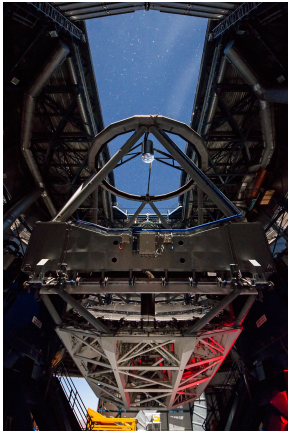


Bild: ESO / G. Lombardi



Bild: ESO/University of Oxford/L. N. Fletcher/T. Barry

Teleskop-Lichtkurven

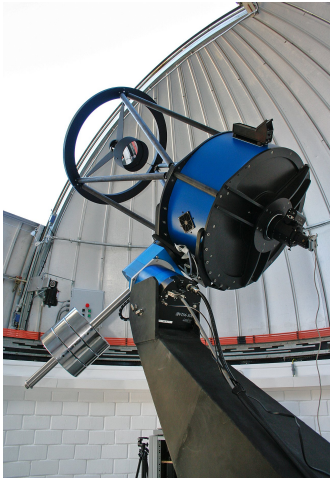


Bild: E. Jehin/ESO

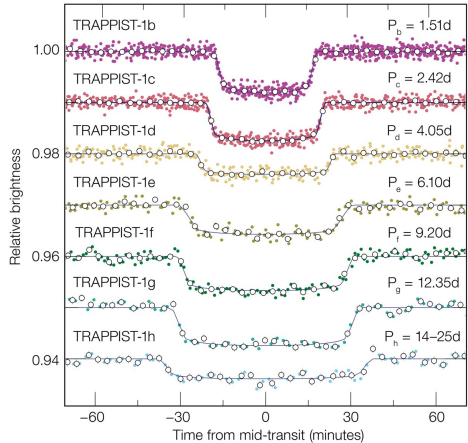


Bild: ESO/M. Gillon et al.

Atmosphären-Spektren

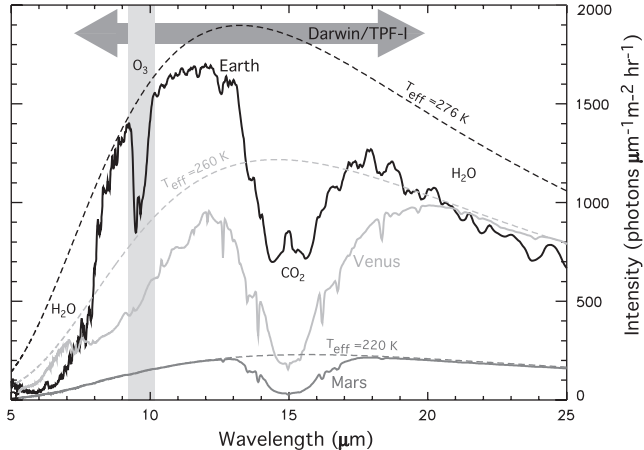
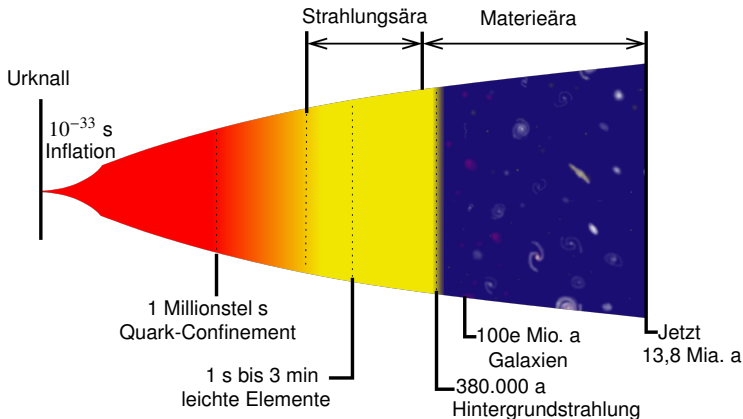


Abb. 1 (rechts) aus Selsis, Kaltenegger & Paillet 2008

Informationen über Atmosphären-Bestandteile

Langfristige Vorgeschichte



Wo kommt die Materie her, aus der sich später Sterne und Planeten bilden?

Kosmologische Simulationen

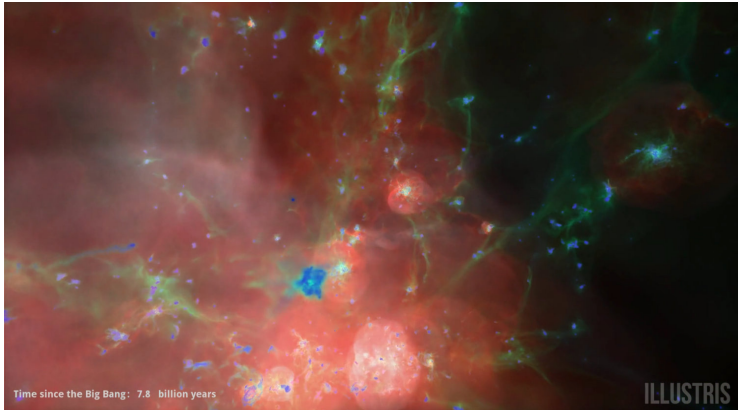


Bild: Illustris Collaboration / Illustris Simulation

Woher kommen das kühle Gas zur Sternentstehung, die schwereren Elemente für Planetenentstehung?

Unmittelbarer kosmischer Kontext: Galaxie



Bild: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler, J.-E. Ovaldsen, C. C. Thöne and C. Féron

Sternentstehung erfolgt in Galaxien — mit unserer Milchstraße als lokalem, besterforschten Beispiel

Sternentstehungsgebiet



Bild: ESO / R. Colombari

Sternentstehungsregion Lupus 3 mit Dunkelwolken

Protoplanetare Scheibe

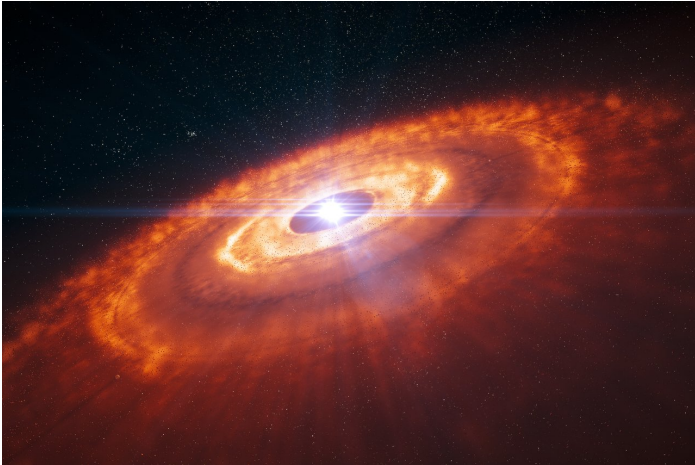


Bild: ESO / L. Calçada

Planetenentstehung in protoplanetarer Scheibe um jungen Stern

Simulationen: Entstehung nachvollziehen

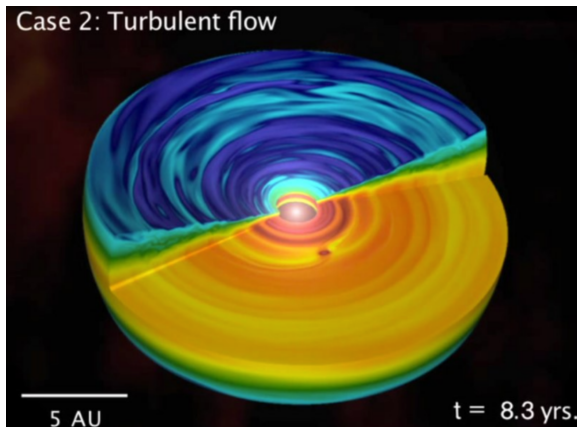
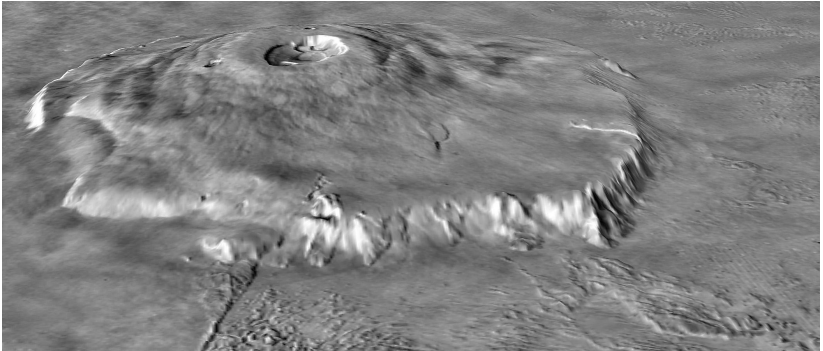


Bild: Uribe, Klahr, Henning (MPIA)

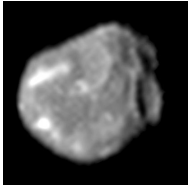
Beispiel: Entstehung von Planeten in protoplanetaren Scheiben

Form: Wie hoch kann ein Berg werden?



3D-Rekonstruktion Mars Global Surveyor und Viking-Aufnahme. Bild: NASA/MOLA Science Team

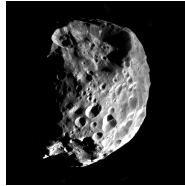
Ab wann ist ein Objekt rund?



Jupitermond
Amalthea, $R = 84$ km
Bild: NASA/JPL/Cornell
University



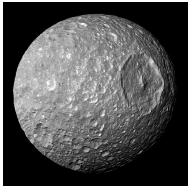
Saturnmond Janus,
 $R = 90$ km
Bild: NASA/JPL/Space
Science Institute



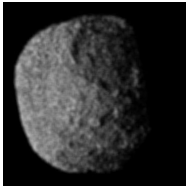
Saturnmond Phoebe,
 $R = 120$ km
Bild: NASA/JPL/Space
Science Institute



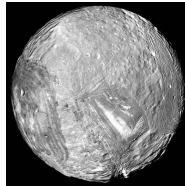
Saturnmond Hyperion,
 $R = 133$ km
Bild: NASA/JPL/Space
Science Institute



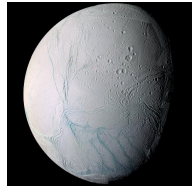
Saturnmond Mimas,
 $R = 200$ km
Bild: NASA/JPL/Space
Science Institute



Neptunmond Proteus,
 $R = 210$ km
Bild: NASA/JPL



Uranusmond Miranda,
 $R = 236$ km
Bild: NASA/JPL-Caltech



Saturnm. Enceladus,
 $R = 250$ km
Bild: NASA/JPL/Space
Science Institute

Wie groß können Planeten werden?

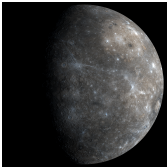


Bild: NASA/Johns
Hopkins University
Applied Physics
Laboratory/Carnegie
Institution of
Washington



Bild: NASA

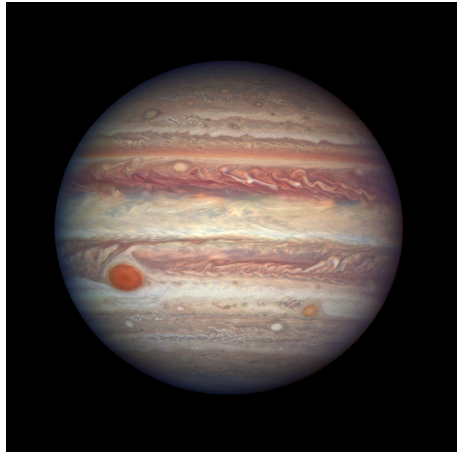


Bild: NASA, ESA, and A. Simon (GSFC)

Die Sonne: 3D, Filme, diverse Wellenlängen

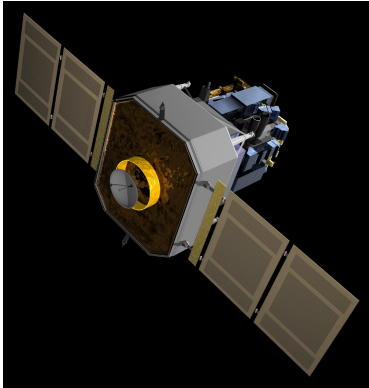
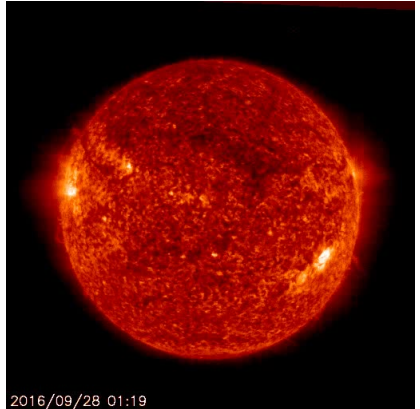


Bild: SOHO (NASA & ESA)

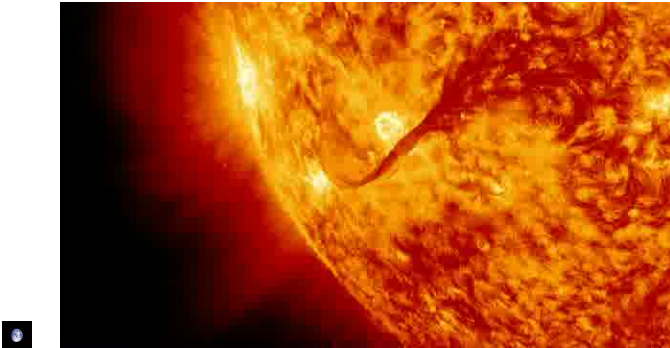


2016/09/28 01:19

Bilder: SOHO (NASA & ESA)

Intensive Erforschung vom Boden aus und durch Raumsonden –
einzigartige Chance, Stern zu verstehen!

Komplexe Sonne: Aktivität

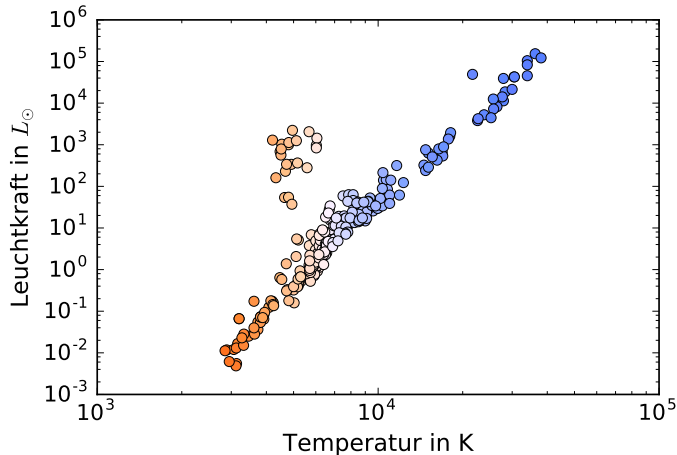


Bilder: SOHO (ESA & NASA)

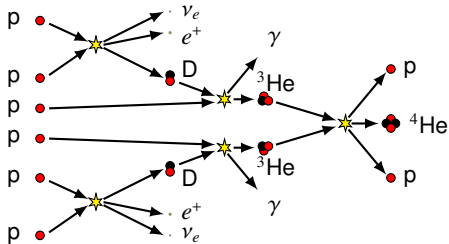
Mit Aktivität, Magnetfeld, Detailstruktur: hochwertige, reichhaltige Informationen, komplexe Modelle!

Sterne allgemein

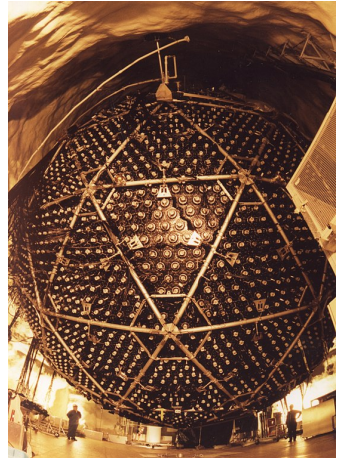
Systematik der Sterneigenschaften: Hauptreihensterne, Rote Riesen – mit Konsequenzen für Planeten!



Sonne: Blick ins Innere



Kernfusionsreaktion (pp-Kette) im Sonneninneren



Sudbury Neutrino Observatory: Außenansicht Detektor. Bild: Sudbury Neutrino Observatory (SNO) unter Lizenz CC BY-SA 4.0

Erdähnliche Planeten



Eigenes Bild



Bild: USGS



Eigenes Bild



Eigenes Bild

Erdähnliche Planeten: Mechanismen

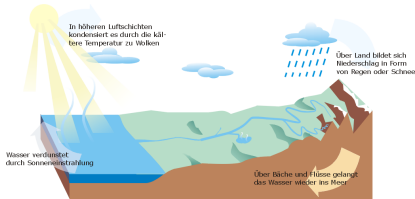


Bild: Wasserkreislauf von Nutzer Saperaud auf Wikimedia Commons unter CC BY-SA 3.0

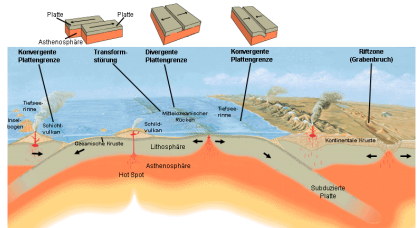


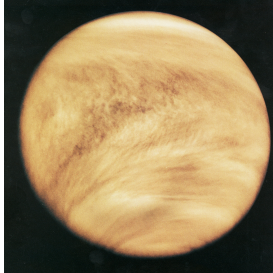
Bild: USGS/USGov, verändert von Eurico Zimbres und Nutzer TomCatX, via Wikimedia Commons

Geowissenschaften und Verallgemeinerung auf Planetologie:
Welche Mechanismen sind am Werke? Welche Gleichgewichte
(auch: Flussgleichgewichte) stellen sich ein?

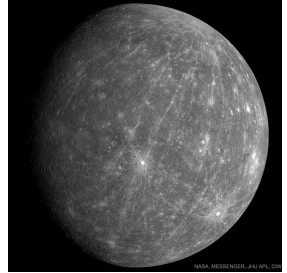
Erdähnliche (terrestrische) Planeten



NASA



NASA



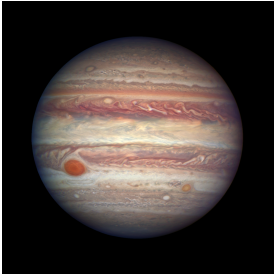
MESSENGER, NASA, JHU APL, CIW

Erdähnliche Planeten sind sich untereinander gar nicht so ähnlich!

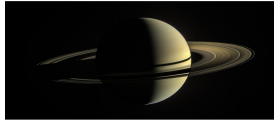
Woher kommen die Unterschiede? Abstand von Sonne?

Zusammensetzung?

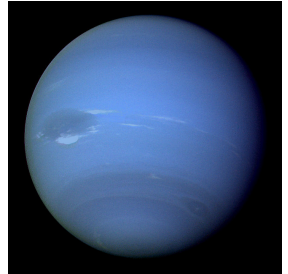
Gasplaneten



NASA, ESA, and A. Simon (NASA
Goddard)



NASA/JPL-Caltech/Space Science
Institute

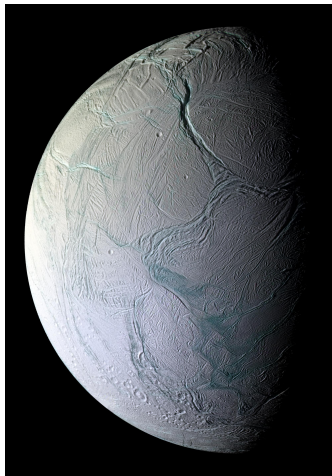


NASA/JPL

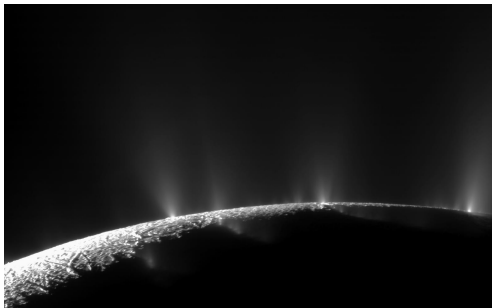
Woher kommen die Unterschiede? Abstand von Sonne?
Zusammensetzung?

Große Vielfalt außerhalb: Heiße Jupiter, Mini-Neptune...

Monde: Beispiel Enceladus



NASA/JPL/Space Science Institute



NASA/JPL-Caltech/Space Science Institute

Aktivität durch Gezeitenwirkung

Asteroiden



Bild: NASA/JPL

Interessant u.a. als urtümliches Material im Sonnensystem

Kometen: 67P/Tschurjumow-Gerassimenko

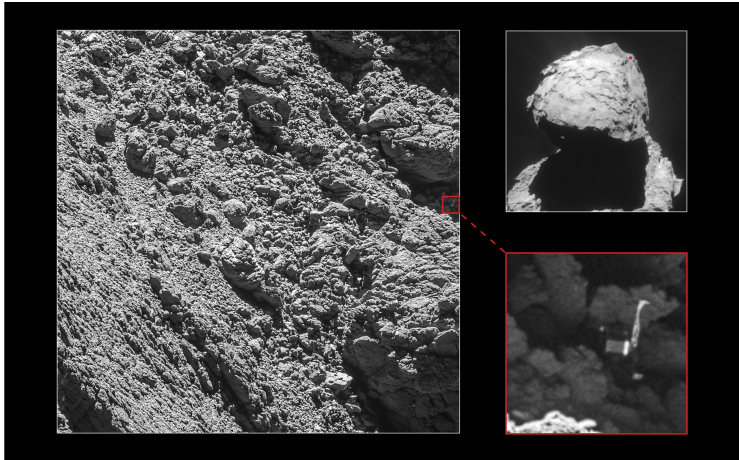


Bild: Main image and lander inset: ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA;
context: ESA/Rosetta/NavCam unter Lizenz CC BY-SA IGO 3.0

...ist da draußen noch jemand?



Bild: Allen Telescope Array, Flickr-Nutzer brewbooks unter Lizenz CC BY-SA 3.0

Hier: Allen Telescope Array (Paul Allen), Nordkalifornien.
Sendet da jemand?

Wahrscheinlicher als ein Radiosignal

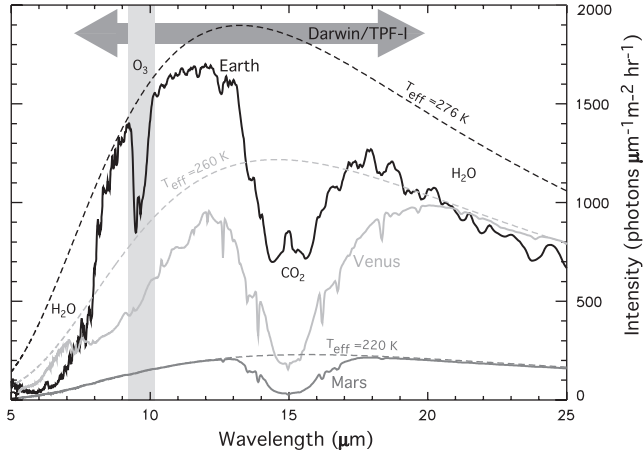


Abb. 1 (rechts) aus Selsis, Kaltenegger & Paillet 2008

Nachweis von Leben auf Exoplaneten über Spektrum der Atmosphäre