

# Plattentektonik

Antriebe &  
Auswirkungen auf Habitabilität

Josefa Großschedl  
Extrasolare Planeten Seminar  
27. 11. 2007



# Inhalt

- Aufbau der Erde und der Platten
- Mechanismen und Antriebe: Plattengrenzen, Konvektion
- Hot Spot Vulkanismus
- Einfluss auf Atmosphäre – Kohlenstoffzyklus
- Plattentektonik auf anderen Planeten: Venus, Mars
- Plattentektonik & Habitabilität
- Plattentektonik & Exoplaneten

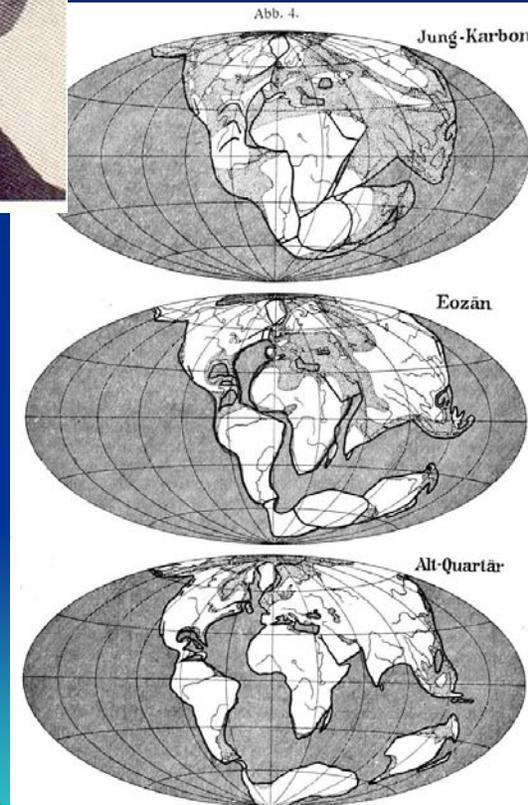
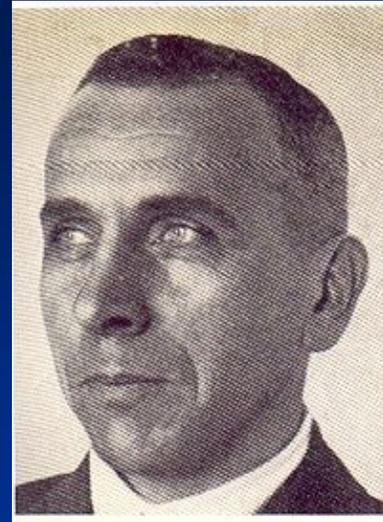


# Entdecker

Alfred Wegener (1912/15):  
Kontinentalverschiebungs-  
Theorie

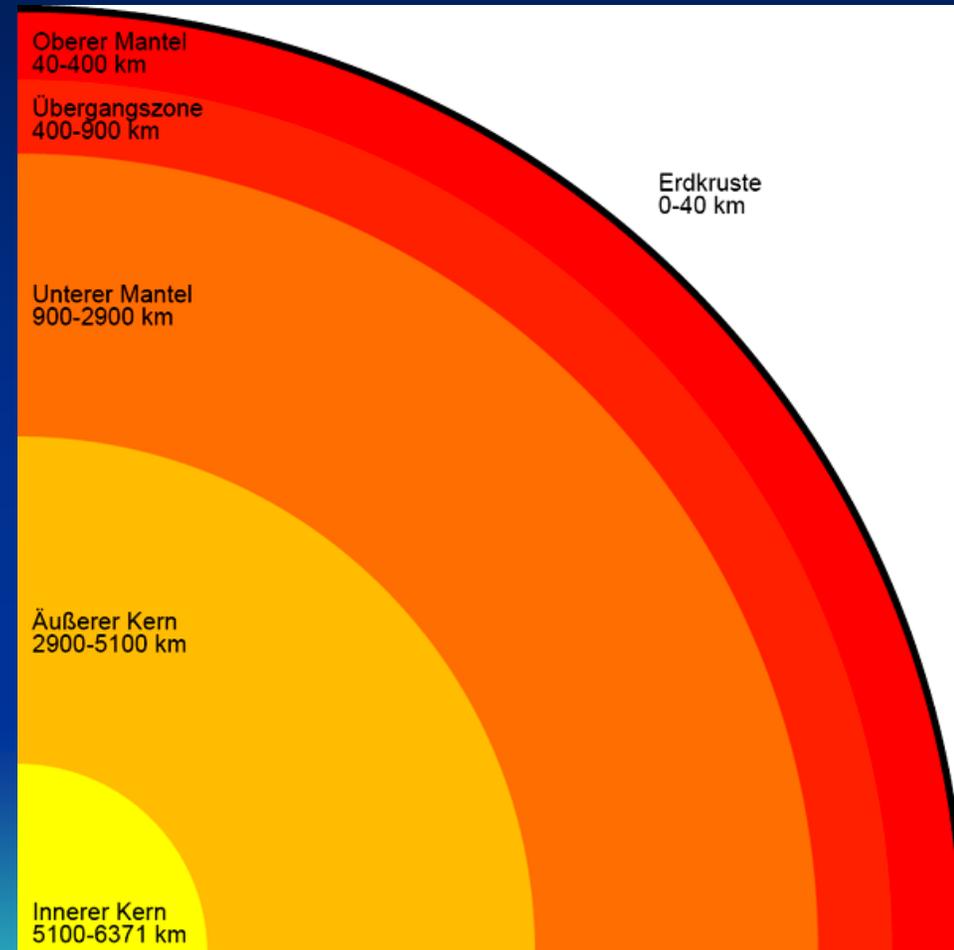
Anerkannt erst ab 1960  
- Plattentektonik

Bisher nur auf der Erde beobachtet!



# Aufbau der Erde

- Erdkruste
  - ozeanisch
  - kontinental
- Oberer Mantel
  - Teil d. Lithosphäre (starr)
  - Asthenosphäre (weich)
- Übergangszone
- Unterer Mantel
  - zäh-plastisch
- Äußerer Kern
  - flüssige FeNi-Legierung
- Innerer Kern
  - fester Fe-Kern



# Lithosphäre – tektonische Platten

Lithosphäre = Kruste + oberster Erdmantel bis ca. 100 – 200 km

– Erdkruste:

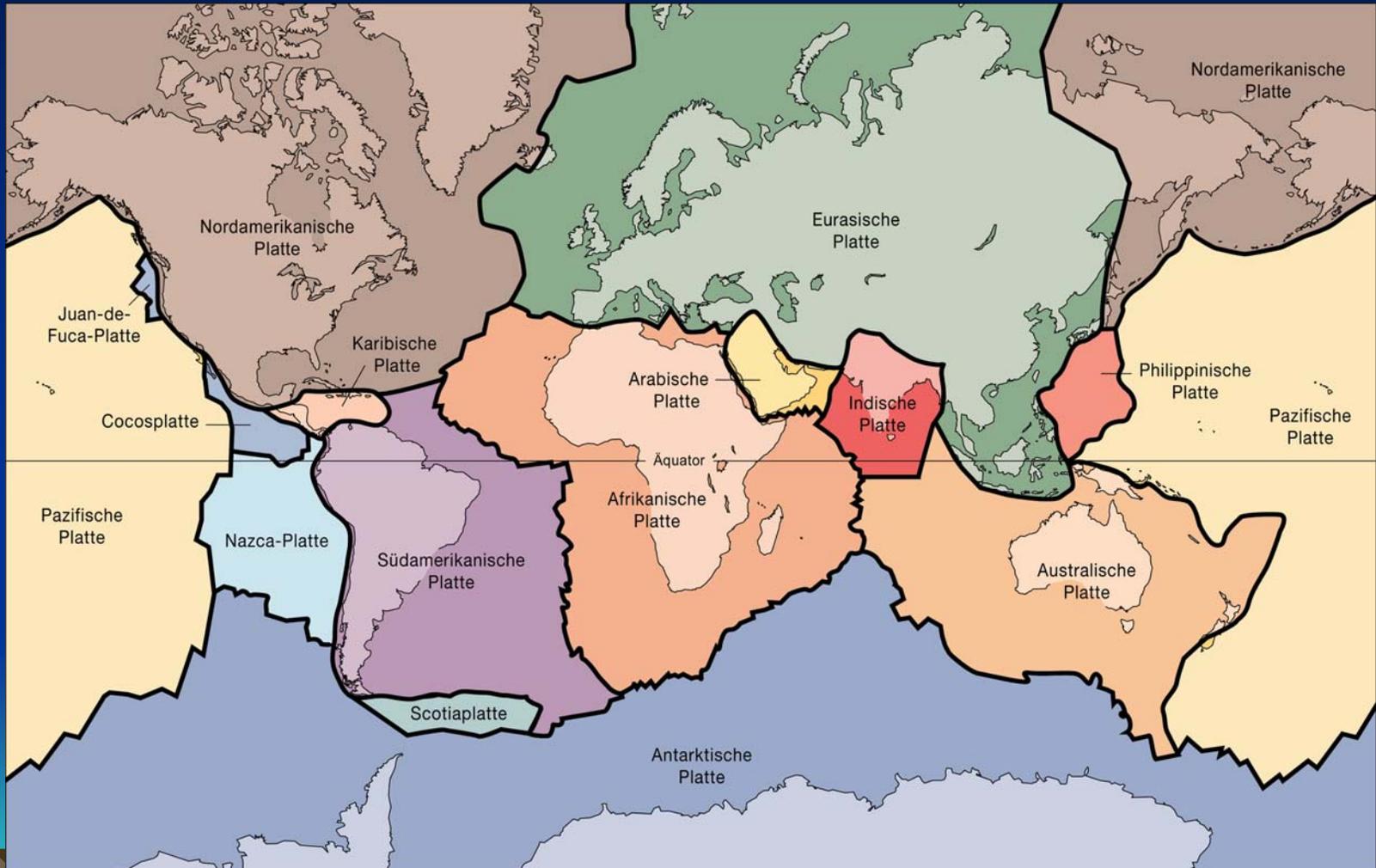
- **Kontinentale Kruste** – 30-40 km (max.70 km),  $\rho \sim 2,7 \text{ g/cm}^3$  (Granit, Gneis,  $\text{SiO}_2\text{Al}$ ), älteste Gesteinsfunde  $\sim 3.9 \text{ Gyr}$ , Wärmer durch Radioaktives Material
- **Ozeanische Kruste** – 5-10 km, dichteres Material,  $\rho \sim 2,9 - 3,1 \text{ g/cm}^3$  (Basalt, Gabbro, Si, Fe, Mg), jünger  $\sim 200 \text{ Myr}$

– Mohorovičić-Diskontinuität („Moho“): Übergang zw. Kruste und oberem Erdmantel

Die harten und spröden Lithosphärenplatten bewegen sich auf der fließfähigeren **Asthenosphäre** (bis 300-410 km Tiefe).



# Platten auf der Erde

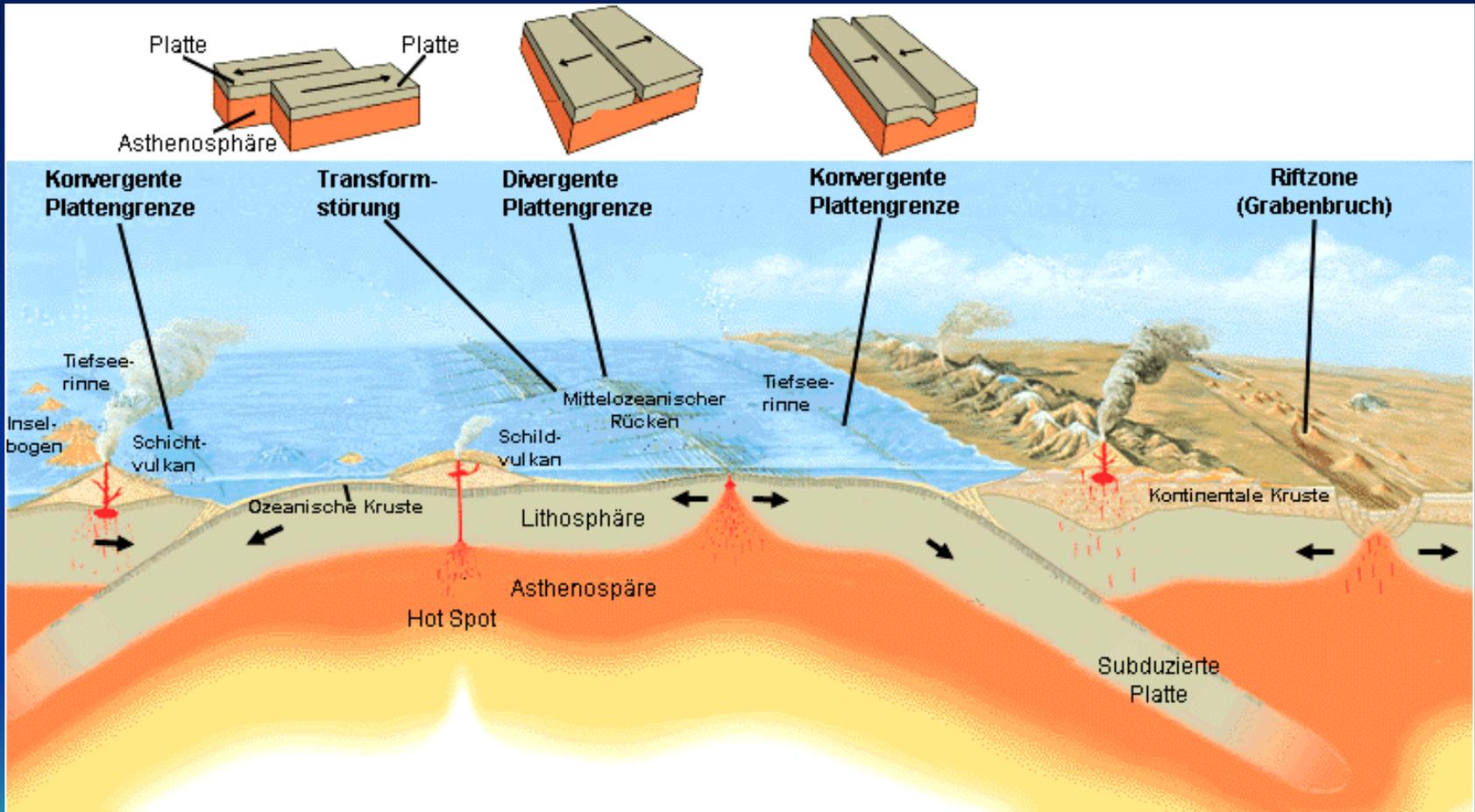


# 3 Arten von Plattengrenzen

- Konstruktive (Divergierend)
  - Sea-floor-spreading  $\Rightarrow$  Mittelozeanische Rücken
- Destruktive (Konvergierend)
  - Subduktionszonen
- Konservativ (keine Materialproduktion oder Vernichtung)
  - Transform faults



# Lithosphäre - Plattengrenzen



# Konstruktive Plattengrenze

„Sea-floor-spreading“ (ridge push)

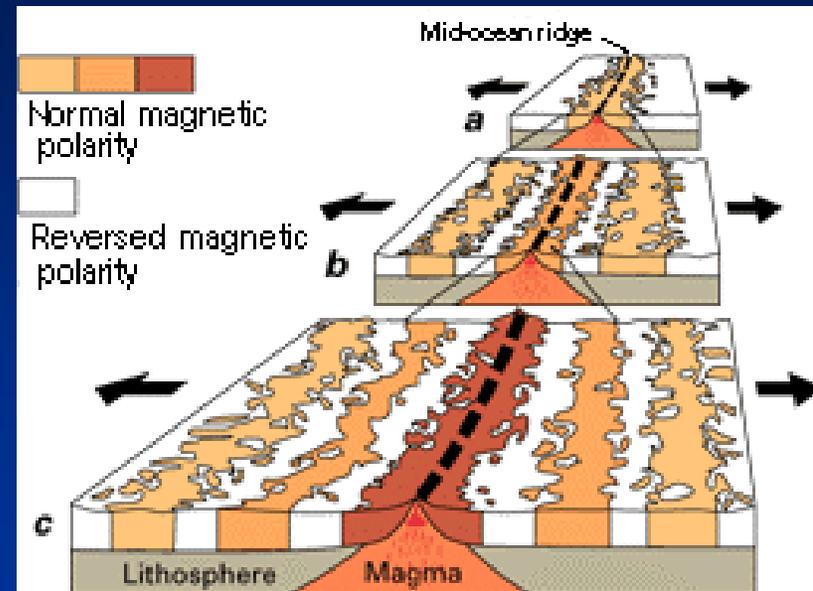
2 Platten driften auseinander (divergieren) ⇒  
Mittelozeanische Rücken entstehen

Neubildung ozeanische Erdkruste durch  
Gefrieren von aufsteigendem Magma.  
(Ergussgestein - Basalt, Plutonisch - Gabbro)

Umpolung des Erdmagnetfelds durch  
**paläomagnetische Streifenmuster** in den  
Ozeanböden erforschbar.

Erdmagnetfeld friert beim passieren der Curie-  
Temperatur ein (Übergang von para- zu ferro  
Magnetismus) – 853 K

⇒ remanente Magnetisierung



e.g. Mittelatlantischer Rücken,  
Ostpazifischer Rücken

$v \sim 2 \text{ cm/yr}$

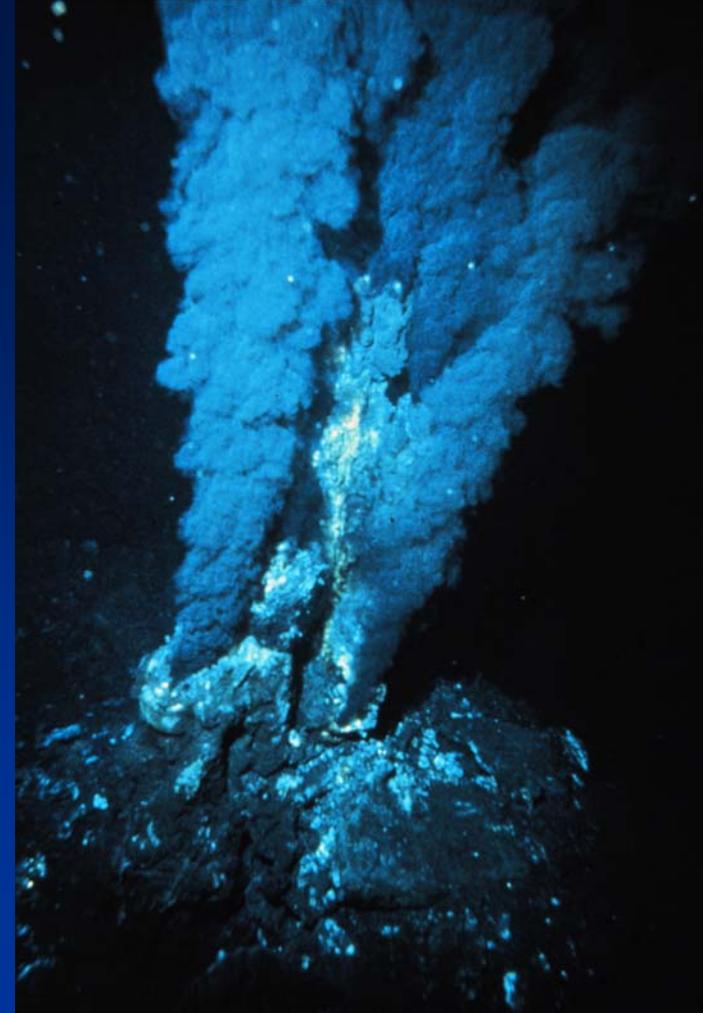
# Black Smokers

hydrothermale Quelle am Tiefseegrund in der Nähe von Mittelozeanischen Rücken

Über 100°C heißes Thermalwasser mit gelösten Schwermetallsulfiden angereichert trifft auf 2°C kaltes Meerwasser

Halbmetergroße Würmer und Muscheln leben von Archaeobakterien, diese wiederum vom Abbau der Sulfide

e.g. Ostpazifischer Rücken zw. Nazca-Platte und Pazifischer-Platte bei den Galapagos Inseln

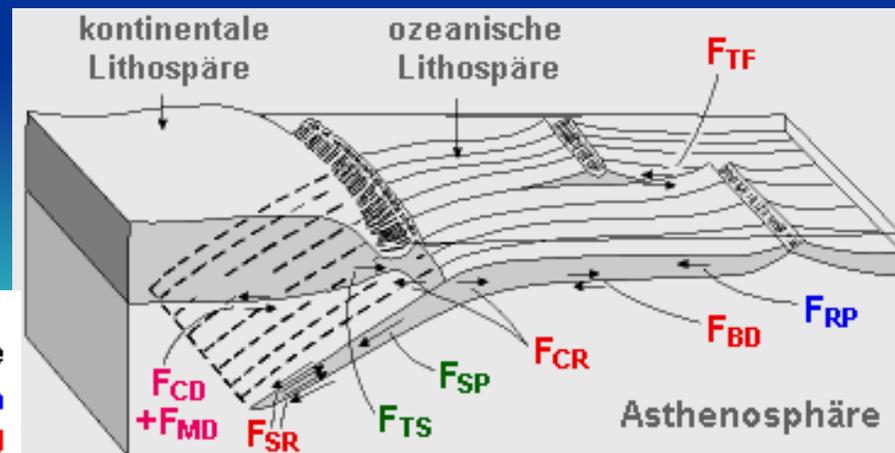


# Destruktive Plattengrenze

- Subduktionszonen („trench pull“)
  - Ozeanische Lithosphäre sinkt unter kontinentale oder ozeanische Platte. **Gebirgsbildung** (bzw. Inselbogenbildung) durch Gesteinsaufaltung, Vulkanismus und wieder aufsteigende Sedimente.  
Bildung von Tiefseegräben  
e.g. Nazca-Platte sub. (10 cm/yr) unter Südamerikanische Platte  $\Rightarrow$  Anden
  - Kontinent/Kontinent Grenze: frühere Subduktion einer ozeanischen Lithosphäre bis Kontinentalteile beider Platten aufeinander treffen  
massive Gebirgsbildung  $\Rightarrow$  e.g. Himalaya, Indische Platte drückt noch immer mit 5 cm/yr auf die Eurasische

Aktive Subduktionszonen  
 $\Rightarrow$  starke Erdbeben-Gebiete

Subduktion ozeanischer  
unter kontinentale Kruste  
mit Druck- bzw. Zugkräften  
und Widerstand/Reibung



# Transform faults

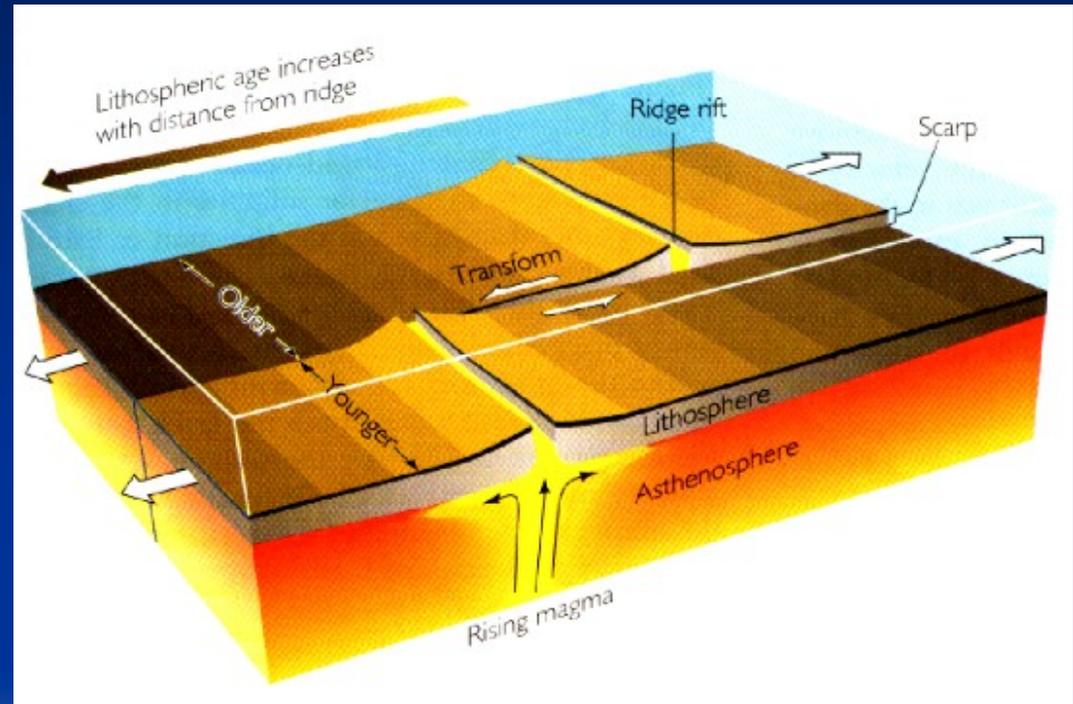
Relativbewegung  
zwischen 2 versetzten  
Mittelozeanischen  
Rücken (bzw.  
Subduktionszonen)

Keine Material Bildung  
oder Vernichtung

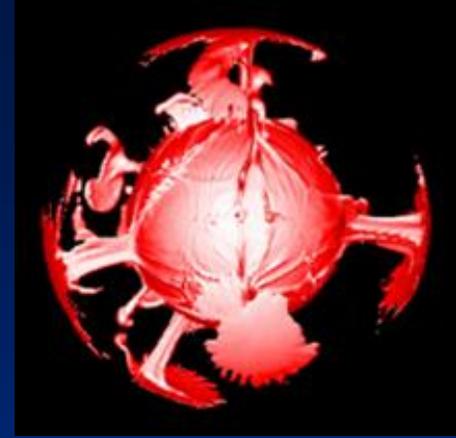
Entstehung von Gräben

Erdbeben durch große  
Spannungen

e.g. San Andreas Verwerfung in Kalifornien



# Konvektion



## Thermische Konvektion

Energiequellen:

von Innen – Radioaktiver Zerfall von  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$   
und Unten – Freiwerdende Energie durch Abkühlen des Erdkerns

Entstehen von „**Mantle Plumes**“: Aufsteigendes heißes Gestein in Konvektionszellen

Ursprungsort nicht geklärt:

- Über dem Äußeren Kern im Unteren Mantel
- Asthenosphäre (Übergangszone als Grenzschicht)
- **Unterströmungstheorie**: nur wenige große flache langsame Konvektionszellen in der Asthenosphäre – Wölbung und Dehnung der Kruste (ostafrikanischer und antarktischer Grabenbruch erklärbar)

**Chemische Konvektion** durch unterschiedliche Dichten verschiedener Gesteine und Sedimente.



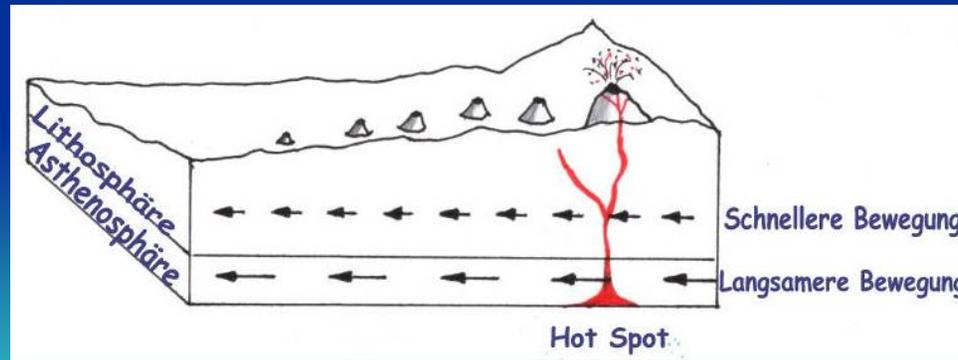
# Antriebe der Plattentektonik

- Konvektionsströme:
  - Entstehen von „**Mantle Plumes**“  
Kräfteverhältnis von Krustenstärke zu Plume – „ridge push“  
Stärke der Plumes abh. von Viskosität des Mantels  
Durchbruchwahrscheinlichkeit abh. von Lithosphärenstärke (Dicke, spröde/dehnbar)
- Kräfteverhältnis an den Plattengrenzen:
  - Subduktion > sea-floor-spreading: nachuntenziehende Kraft der schwereren ozeanischen Kruste unter leichtere kontinentale Kruste erhält „sfs“ aktiv.  
Kräfteverhältnis auf der Erde: 13:1
- Wasser:
  - Wasser gilt als „Schmiermittel“ für Subduktion durch herabsetzen des Schmelzpunkts.
  - Viskosität von trockenem Gestein höher als von nassem Gestein.
  - Kontinente: SiO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O reiche Granite
  - Ozean: SiO<sub>2</sub>- und H<sub>2</sub>O arme Basalte



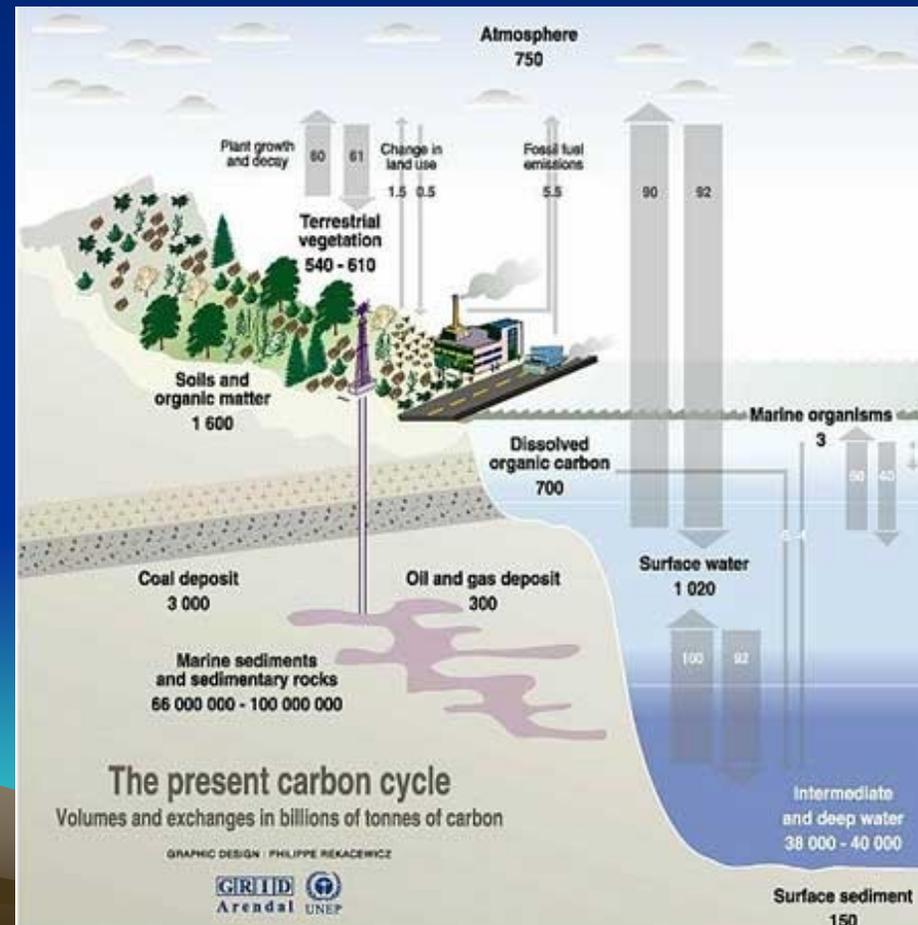
# Hot Spots

- Vulkanisch Aktive Gebiete – nicht an Plattentektonik gebunden  
vermutlich verursacht durch aufsteigende „Mantle Plumes“  
⇒ Schildvulkane
- Meist Entstehung von Vulkanketten, da sich die Platte relativ zur  
Asthenosphäre (somit zum Hot Spot) verschiebt.  
e.g. Hawaii



# Kohlenstoff Zyklus

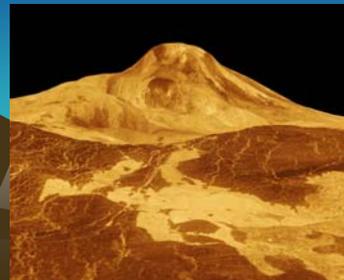
- Chemische Umwandlung und Austausch von C-Verbindungen in den globalen Systemen:
  - Lithosphäre
  - Hydrosphäre
  - Atmosphäre (CO<sub>2</sub>)
  - Biosphäre
- Sedimentablagerungen gelangen durch Subduktion in die Lithosphäre
- Wiederabgabe in die Atmosphäre durch Vulkanismus und Entgasungen
- Starker Vulkanismus
  - Treibhauseffekt



# Venus



- $M = 0.81 M_{\text{Erde}}$
- $R = 0.95 R_{\text{Erde}}$
- $\rho \sim 0.95 \rho_{\text{Erde}}$
- Dicke der Kruste  $\sim 30$  km „ozeanisch“  $\sim 80$  %
- Höhenunterschiede: 63 % geringer als auf Erde
- 20 % Erhebungen, davon nur  $\sim 8$  % Hochländer (Aphrodite Terra, Ishtar Terra)
- Keine aktive Plattentektonik feststellbar
- Kein messbares Magnetfeld
- Hot Spot Vulkanismus (vermutlich nicht aktiv)
  - Oberflächenalter: 500 – 800 Myr
- Strukturen (Coronae, Arachnoide) die auf Vorhandensein von Mantle Plumes hinweisen
- Atmosphäre: 50 x dichter als Erd-Atmosphäre, 96 %  $\text{CO}_2 \Rightarrow$  Treibhauseffekt  
93 bar Druck,  $T_{\text{Oberfl}} = 464^\circ\text{C}$   
Curietemp. überschritten – Keine Paläomagnetischen Streifenmuster sichtbar



# Venus

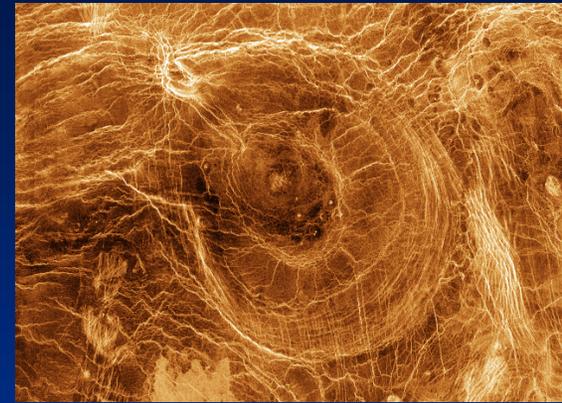
Vulkanismus: Vermutlich langsam ausgeklungen

Vulkane überall verteilt:

50000 kleinere vulkanische Erhebungen

167 Durchmesser > 100 km

Pancake Domes (flache Vulkane)



Strukturen: Coronae, Arachnoide (Einbruchkrater)

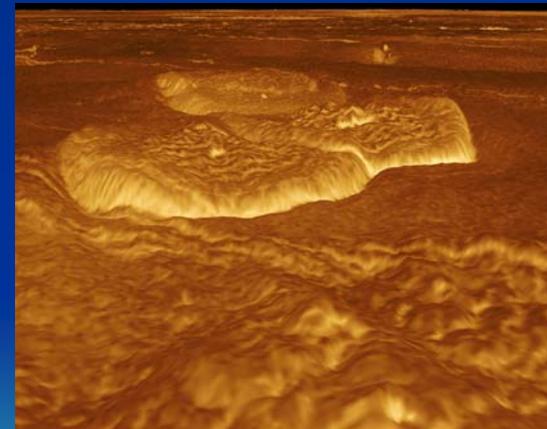
- Theorie: zu schwache Plumes die abkühlen bevor sie die Kruste durchdringen

Keine Plattentektonik:

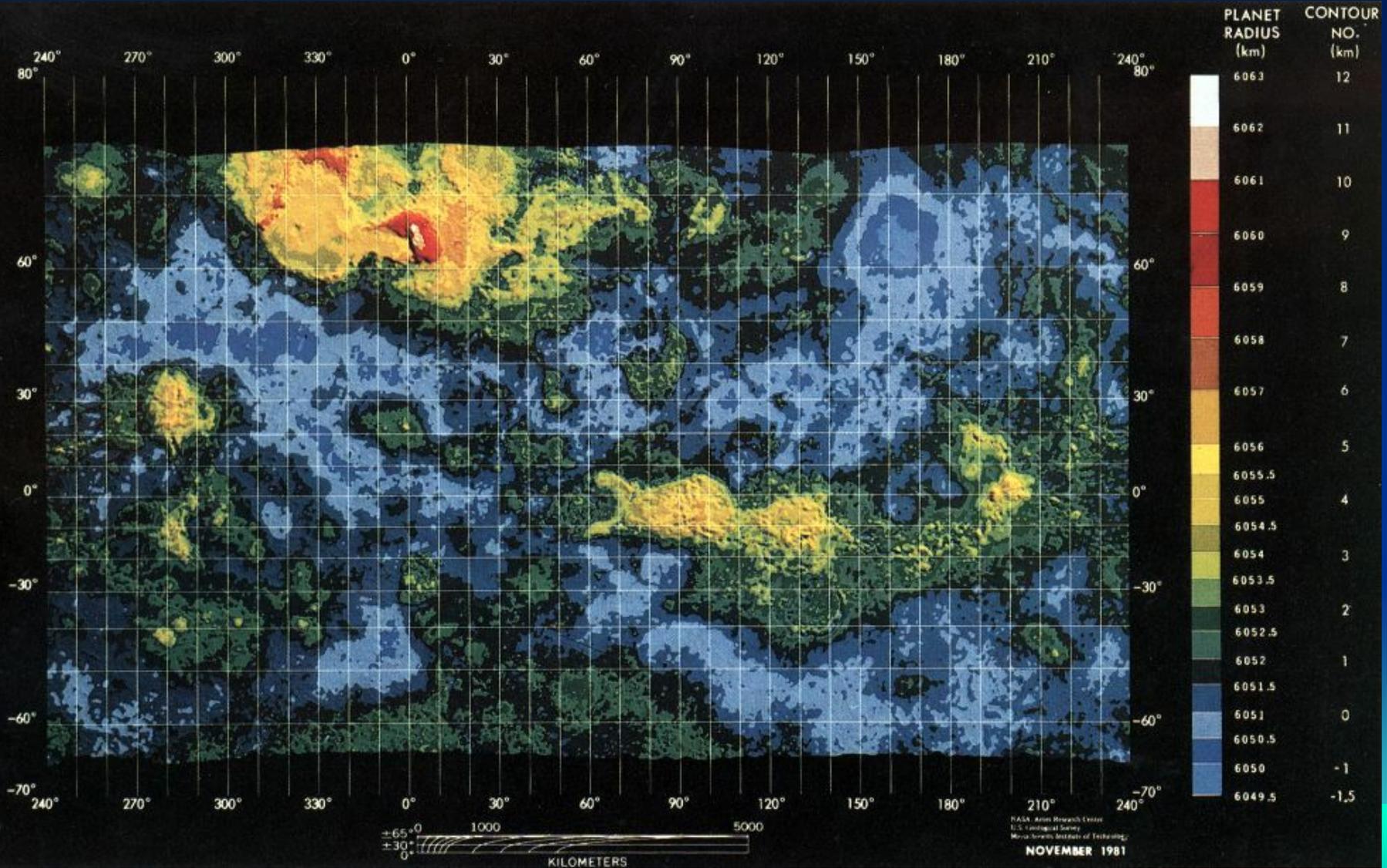
- Kein Oberflächenwasser – Gestein viskoser
- Kräfteverhältnis von Subduktion zu Ridge Push: 1:0.7

2 Arten von Wärmetransport:

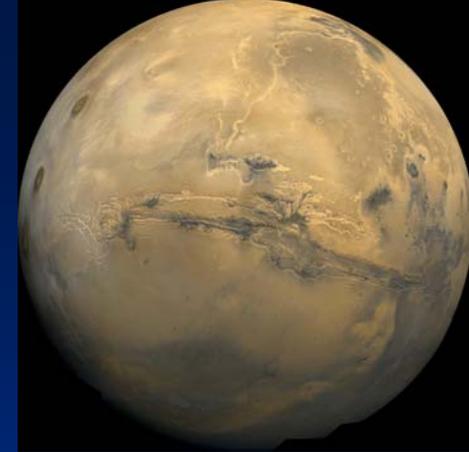
- Wärmeleitung 85%
- Hot Spot/Corona Vulkanismus 15%



# Venuskarte



# Mars

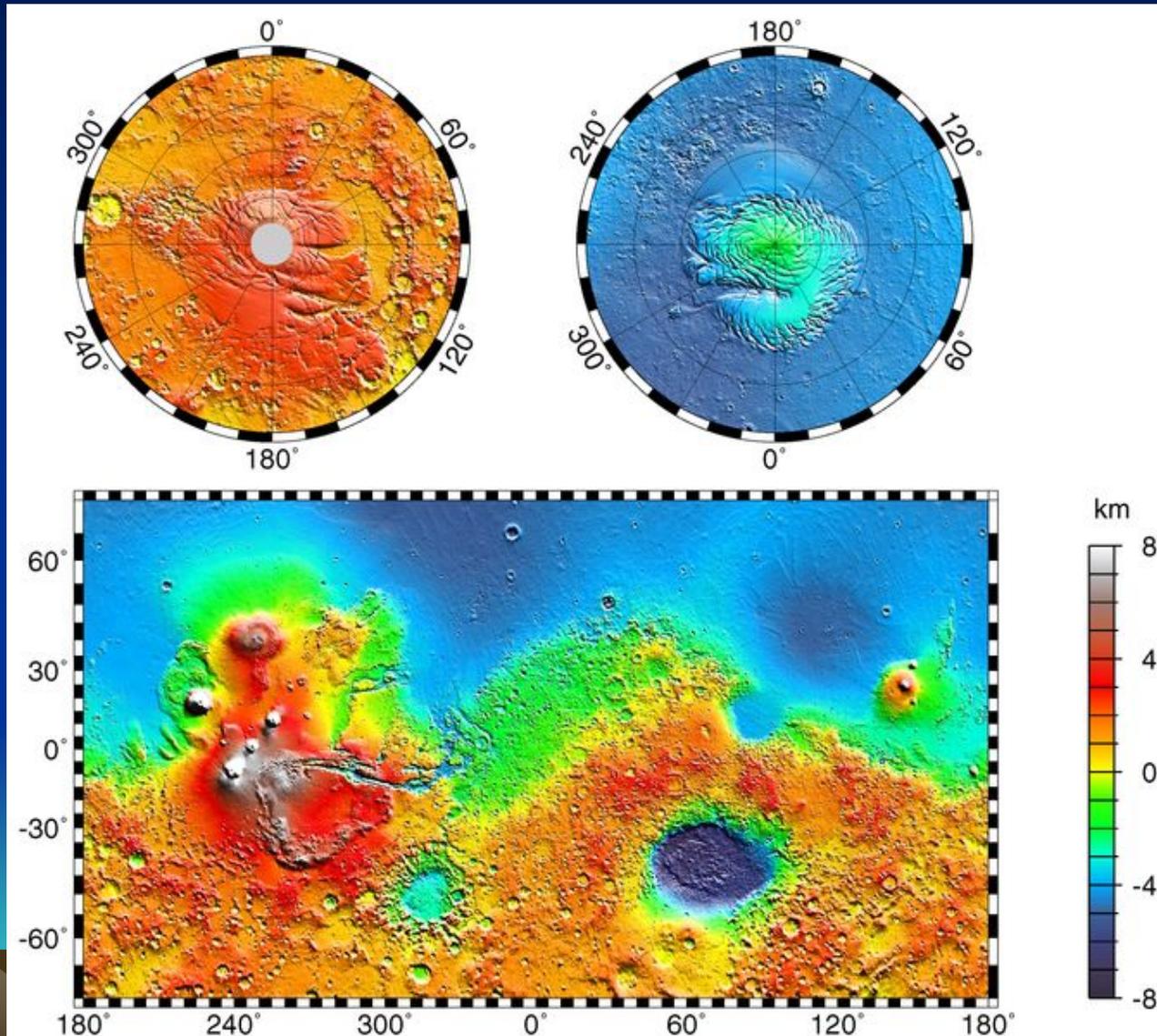


- $M = 0.107 M_{\text{Erde}}$
- $R = 0.53 R_{\text{Erde}}$
- Kruste  $\sim 100$  km ?
- Si-Mantel  $\sim 1800$  km
- vermutl. flüssiger S-Fe-Kern:  $\sim 1.520 - 1.840$  km Durchmesser
  
- Keine aktive Plattentektonik
- Erlöschene Schildvulkane vorhanden (Hot Spot Vulkanismus)
- Grabensysteme: Mariner Täler (Tektonischer Grabenbruch durch die massiven Vulkane im Westen)
  
- Sehr schwaches Magnetfeld:  $\sim 1/60000$  des Erdmagnetfelds  
aber Streifenartige Magnetfeldmuster der Kruste entdeckt (ähnlich wie auf Erde)  
– tektonische Bodenspreizung?

Großer Höhenunterschied zw. nördl. Tiefland zum südl. Hochland.

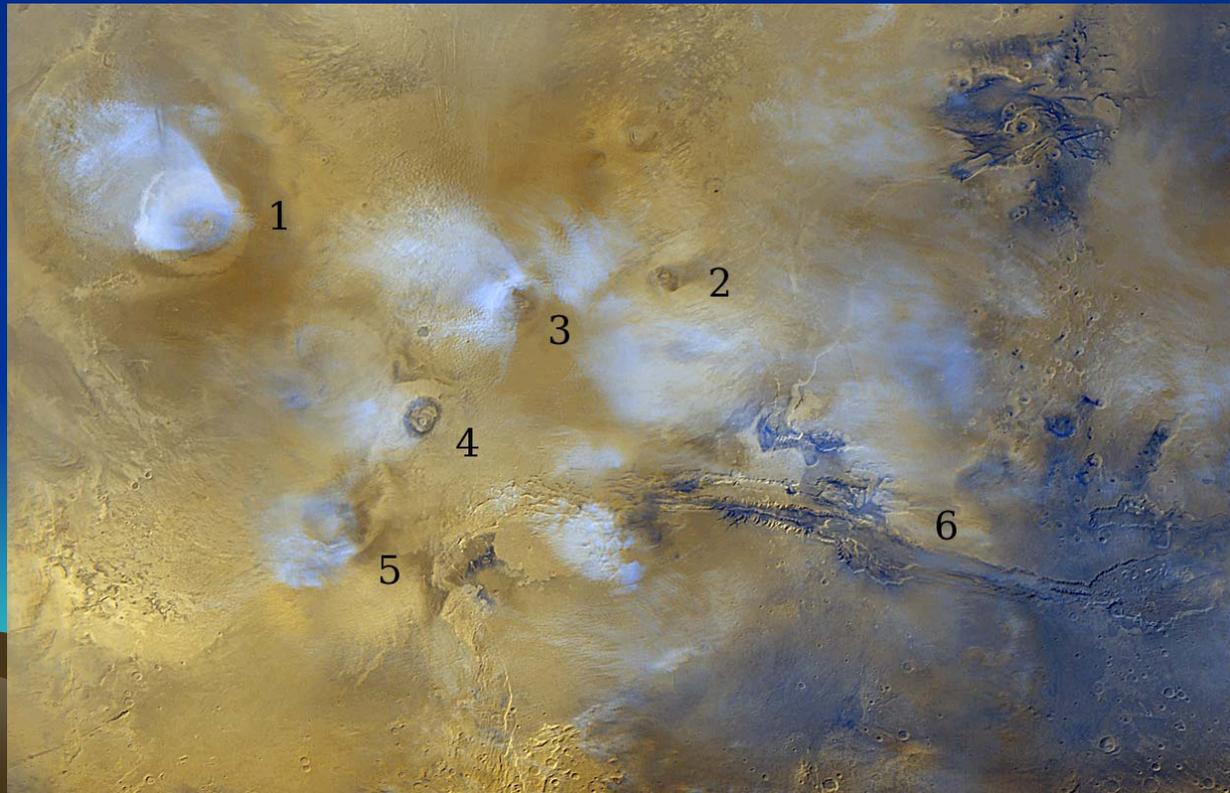
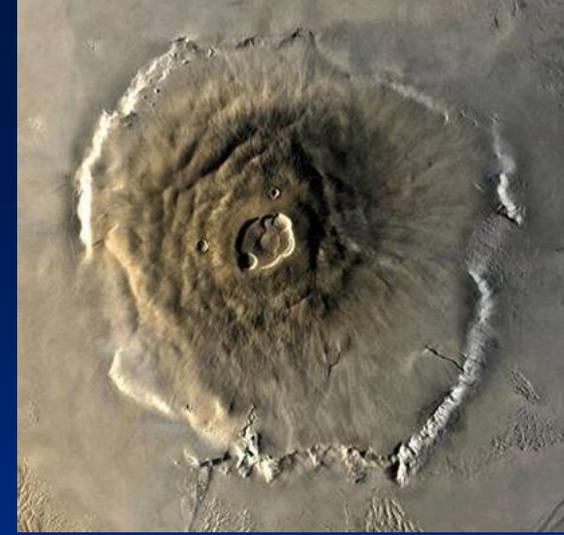


# Mars



# Mars Vulkane

- Hot Spot Schildvulkane
- Olympus Mons: 21.3 km über mittlerem Nullniveau, höchste Erhebung im Sonnensystem
- Tharsis-Region
  1. Olympus Mons
  2. Tharsis Tholus
  3. Ascraeus Mons
  4. Pavonis Mons
  5. Arsia Mons
  6. Valles Marineris



# Plattentektonik & Habitabilität

- Permanente Entstehung von Gebirgen und Hochgebirgen
  - verhindert, dass längerfristige Erosion die Kontinente abbaut.Große Niveauunterschiede möglich (Tiefseerinnen zu Hochgebirgen) somit relativ mehr Landmasse („verkleinerte“ Ozeane) – mehr Wahrscheinlichkeit für Entwicklung von Leben an Land.
  - auch abh. von vorhandener Wassermenge
- Geförderte Biodiversität durch Anpassung an sich ändernde Umwelt
- CO<sub>2</sub>-Zyklus: große Speicherung von C in Sedimenten in der Lithosphäre durch Subduktion, Abgabe durch Vulkanismus
  - Erwärmung durch Treibhauseffekt
- 75 % des Wärmetransports durch Plattentektonik (auf der Erde)
- Black Smokers (midocean-ridges): Biotope



# Plattentektonik & Exoplaneten

Nicht feststellbar durch Beobachtungen!

Plattentektonik nur für Erd-Verhältnisse erforscht!

Probleme:

- Andere Elementhäufigkeiten
- Auswirkung der Planetenmasse – unbekannte Ober- bzw. Untergrenze (zu groß – zu träge Platten, zu klein – zu kleine Energiequelle)
- Ursprünglicher Antrieb bzw. Stop-Mechanismus für Plattentektonik bisher ungeklärt – e.g. ist Plattentektonik eine Phase beim Abkühlungsprozess eines Planeten?
- Notwendigkeit von Existenz ozeanischer *und* kontinentaler Kruste?



# Quellen:

- H. Miller: Abriss der Plattentektonik (1992)
- J. Leitner: Plattentektonik auf der Venus?
- C. O'Neill et al.: Conditions for the onset of plate tectonics on terrestrial planets and moons (2007)
- <http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~schmelin/what-is-convection.html>
- <http://geo.lsa.umich.edu/~crlb/COURSES/270/Lec14/Lec14.html>
- <http://www.astronomie.de/sonnensystem/mars/aufbauma.htm>
- <http://www.geophysik.uni-frankfurt.de/~schmelin/skripte/Geodyn1-kap2-S47-S58-2004.pdf>

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit!**

