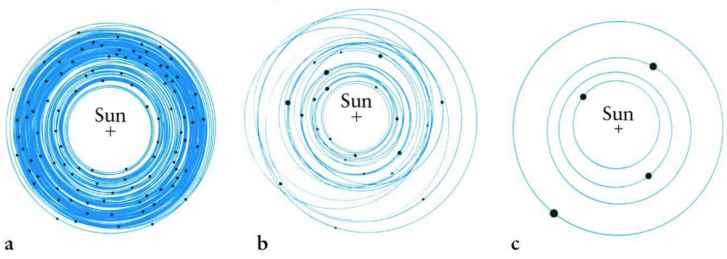
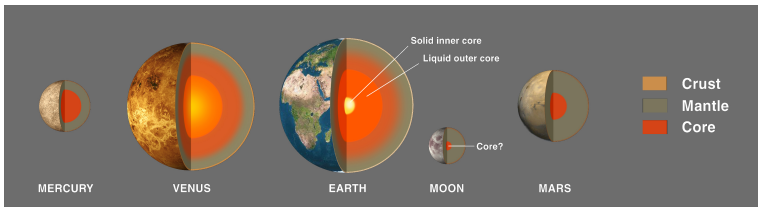
Differenzierung der Erde – Kernbildung

Thorsten Kleine

Einführung in die Geochemie

Bildung und Aufbau terrestrischer Planeten





- Alle terrestrischen Planeten differenziert in Kern (Metall) und Mantel (Silikate)
- Kernbildung bedeutendster Differenzierungsprozess in Planeten

Kernbildung

- Kernbildung = physikalische Trennung von Metall und Silikat mit anschließendem Transport des Metalls zum Zentrum
- Material muss sich leicht bewegen können, mindestens Metall muss geschmolzen sein:
  - 1000 °C Fe-FeS-Schmelze
  - 1200 °C Silikat-Solidus
  - 1600 °C Silikat-Liquidus
- Wärmequellen
  - Kurzlebige Nuklide: v.a. ^{26}Al ($t_{1/2} \sim$ 0.7 Ma)
  - Umwandlung von kinetischer Energie in Wärme bei planetaren Kollisionen

Prozess der Kernbildung

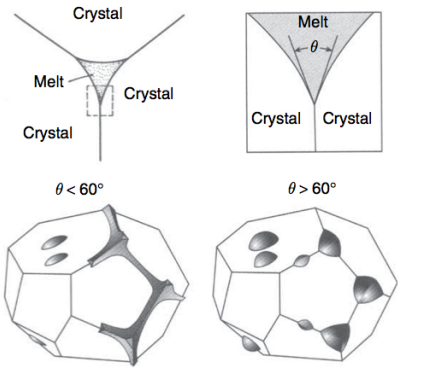
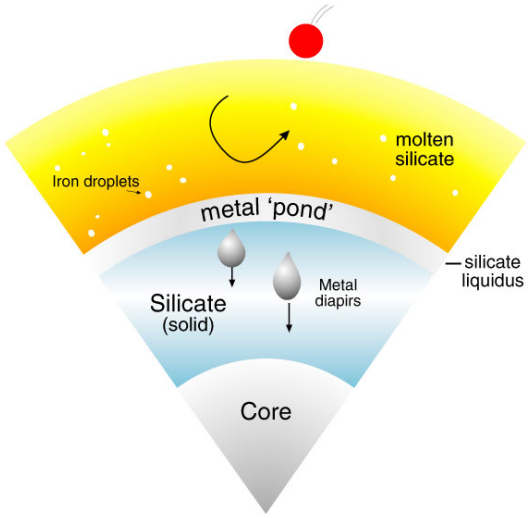


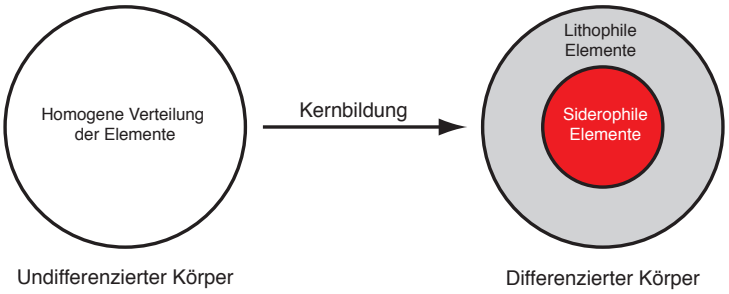
Figure 5 Relation between melt connectivity and dihedral angle in a polycrystalline aggregate containing a small amount of dispersed melt. The dihedral angle is defined in the top diagrams and the dependence of melt connectivity on the dihedral angle is shown in the lower diagrams. Note that an ideal case is shown here in which the crystals have an isotropic surface energy. Adapted from Stevenson DJ

Perkolation



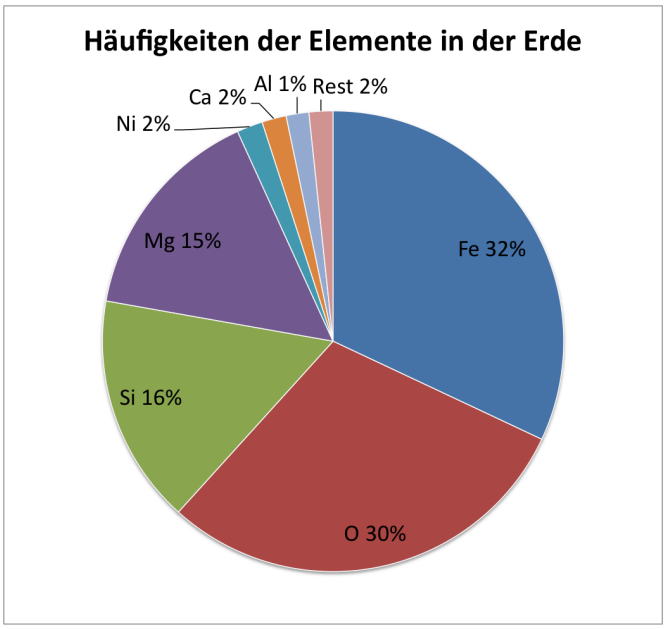
Magmaozean

Geochemie der Kernbildung

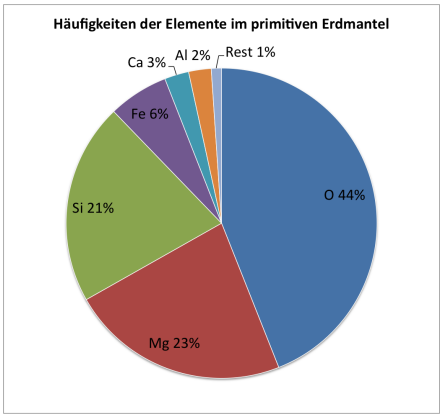


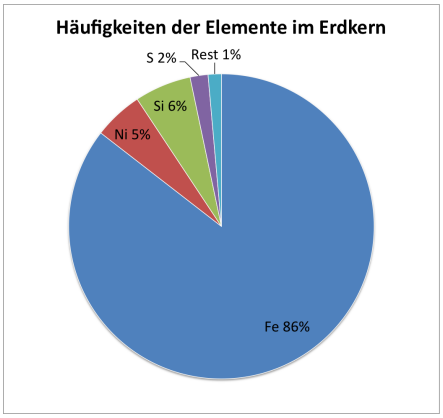
- Kernbildung bedingt Umverteilung der chemischen Elemente.
- Mantel steht hier für den gesamten Silikatanteil, d.h. Mantel vor der Extraktion von Kruste [primitiver Mantel, Gesamtsilikaterde (BSE)]

Häufigkeiten der Elemente in der Erde



Verteilung der Elemente zwischen Mantel und Kern





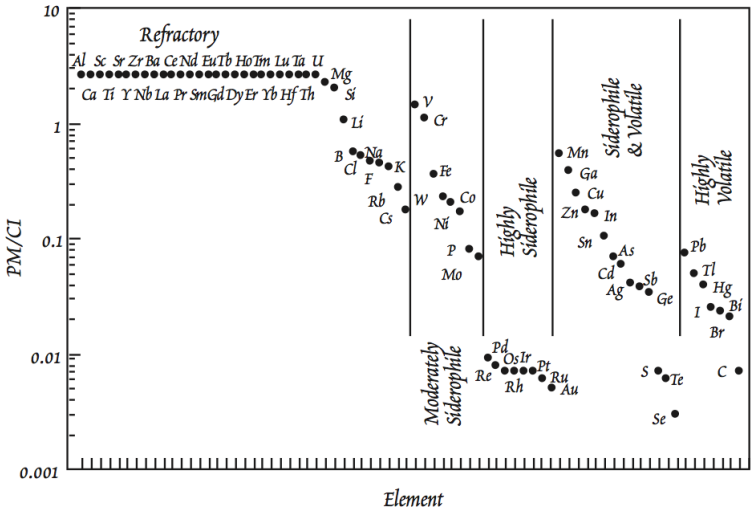
Geo- und kosmochemische Klassifikation der Elemente

Table 2 Cosmochemical and geochemical classification of the elements.

	Elements	
	Lithophile (silicate)	*Siderophile + chalcophile (sulfide + metal)*
Refractory	T_c = *1,850–1,400* K Al, Ca, Ti, Be, Ba, Sc, V, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, REE, Hf, Ta, Th, U, Pu	Mo, Ru, W, Re, Os, Ir, Pt
Main component	T_c = *1,350–1,250* K Mg, Si, Cr, Li	Fe, Ni, Co, Pd
Moderately volatile	T_c = *1,230–640* K Mn, P, Na, B, Rb, K, F, Zn	Au, As, Cu, Ag, Ga, Sb, Ge, Sn, Se, Te, S
Highly volatile	T_c < *640* K Cl, Br, I, Cs, Tl, H, C, N, O, He, Ne, Ar, Kr, Xe	In, Bi, Pb, Hg

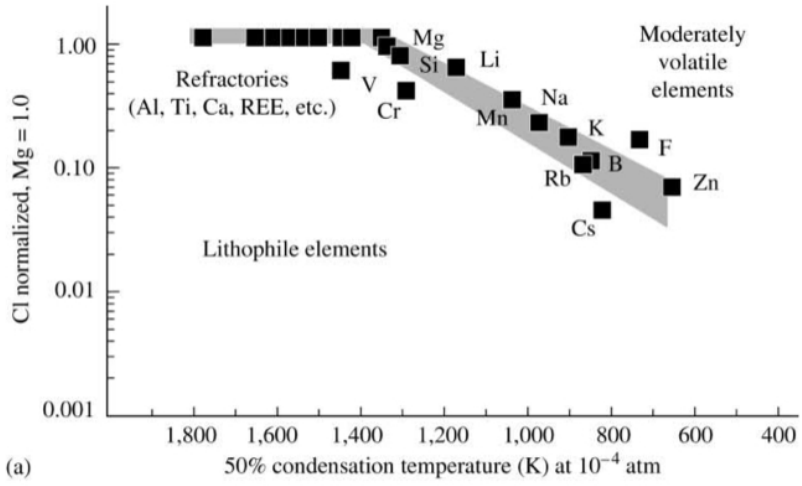
T_c—condensation temperatures at a pressure of 10^{-4} bar (Wasson, 1985; for B, Lauretta and Lodders, 1997).

Zusammensetzung des Erdmantels

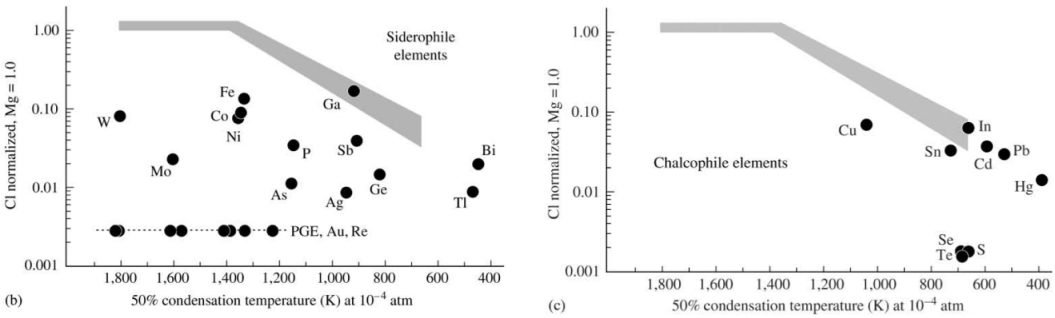


- Abgeleitet i.w. aus Peridotiten und Chondriten
- Refraktäre lithophile Elemente sind chondritisch
- Verarmt an siderophilen und volatilen Elementen

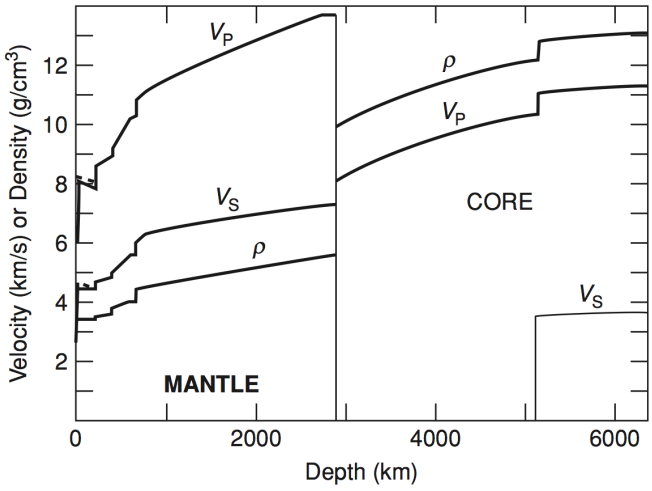
Lithophile Elemente



Siderophile und chalkophile Elemente

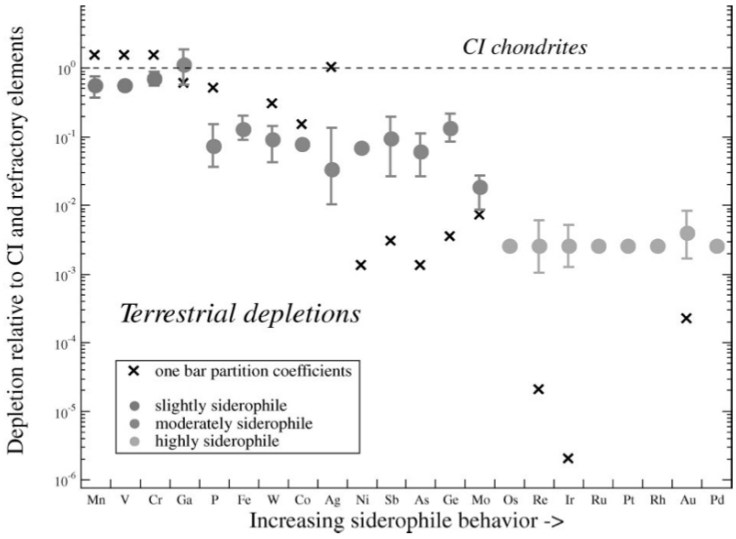


Leichtes Element im Kern

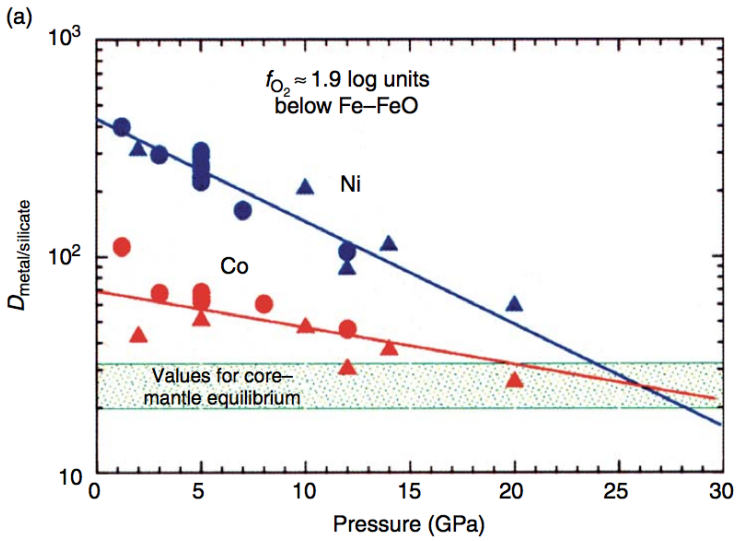


- Dichtesprung an Grenze äußerer zu innerer Kern
- Leichtes Element (d.h., leichter als Fe) im äußeren Kern: S, Si, C, O

Kernbildung im Experiment



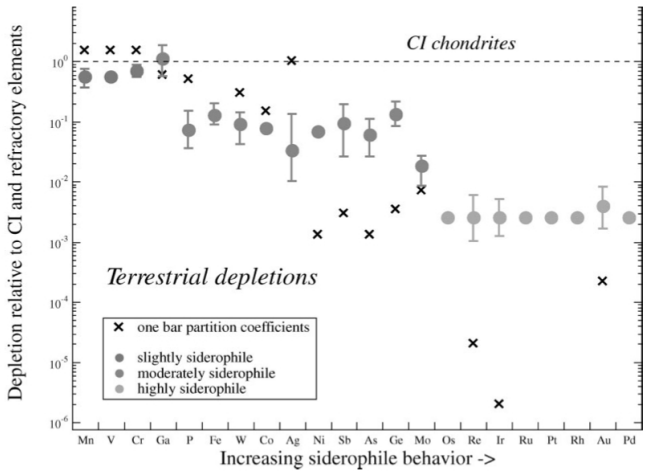
Ni und Co im Erdmantel



$P \sim 25$ GPa, $T \sim 2800$ °C

$\rightarrow$ Metall-Silikat-Equilibrium unter hohem Druck und Temperatur in tiefem Magma-Ozean

Hochsiderophile Elemente (HSE) im Erdmantel



- Häufigkeiten der HSE im Erdmantel viel höher als erwartet
- HSE kommen in chondritischen relativen Häufigkeiten vor
- Erklärung: nach Abschluß der Kernbildung hat die Erde ca. 0.5–1 % chondritisches Material akkretiert (sog. late veneer)

Zusammenfassung

- Kernbildung wichtigster chemischer Differenzierungsprozess: Führt zu Umverteilung der chemischen Elemente in der Erde
- Wärmequellen: Kollisionen, Zerfall kurzlebiger Nuklide (^{26}Al)
- Zusammensetzung des Erdmantels
  - Chondritisch für refraktäre lithophile Elemente ($\rightarrow$ Gesamterde chondritisch für refraktäre Elemente)
  - Verarmt an siderophilen Elementen $\rightarrow$ Kernbildung
  - Verarmt an volatilen Elementen $\rightarrow$ Gesamterde verarmt an volatilen Elementen
- Beobachtete *vs.* experimentell vorhergesagte Verarmung siderophiler Elemente $\rightarrow$ Metall-Silikat-Trennung bei hohem Druck und hoher Temperatur in tiefem Magmaozean
- Konzentration hoch-siderophiler Elemente im Erdmantel zu hoch $\rightarrow$ nach Abschluß der Kernbildung Akkretion von ca. 0.5–1 % chondritischem Material (sog. late veneer)