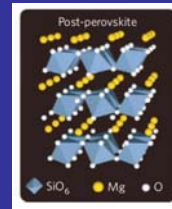
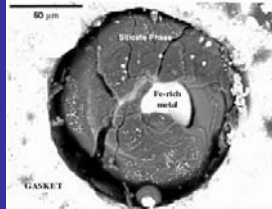


# Reis naar het middelpunt der Aarde



Wim van Westrenen

Vrije Universiteit Amsterdam

Leidse Winterlezing, 9 november 2014

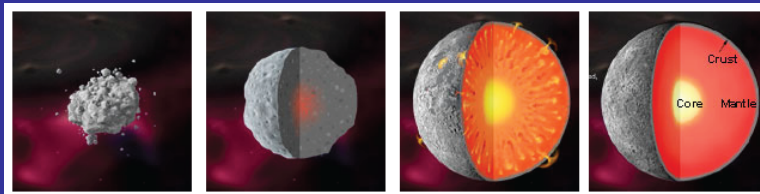
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam

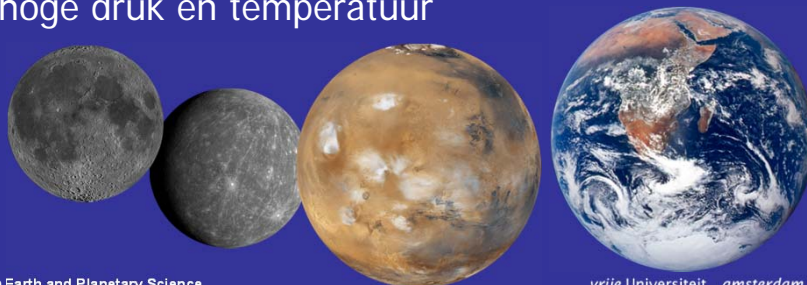


## Mijn onderzoek aan de VU

- Planetaire evolutie



- Fysische en chemische eigenschappen bij hoge druk en temperatuur



Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Overzicht

- Limieten aan kennis van de Aarde:  
**Ontoegankelijkheid**
- Indirecte aanwijzingen:  
**Diamanten, aardbevingen**
- De diepe Aarde in het laboratorium:  
**Hoge-druk experimenten**
- Voorbeeld:  
**De D'' laag:  
een raadsel op 2900 km diepte**



## Probleem: Ontoegankelijkheid

- Naar boven: 19.485.839.000 km
- Naar beneden: 12 km

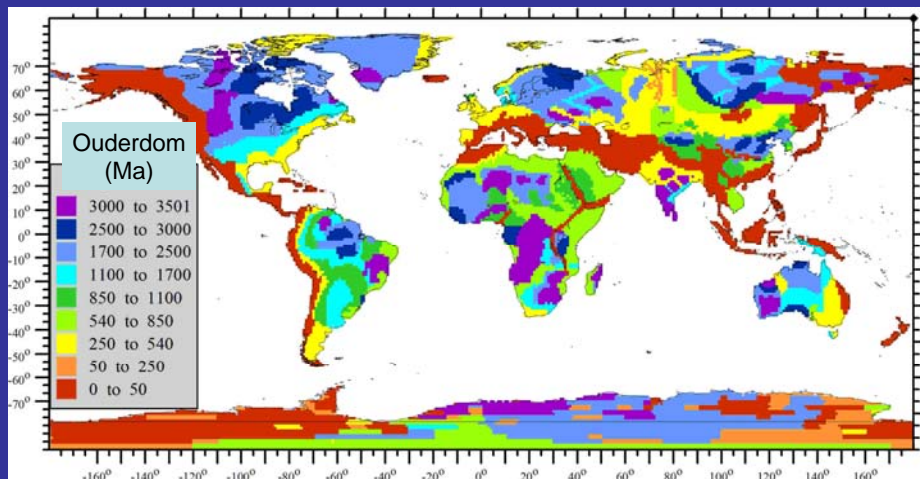


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Probleem: Ontoegankelijkheid



Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Indirecte aanwijzingen: Petrologie

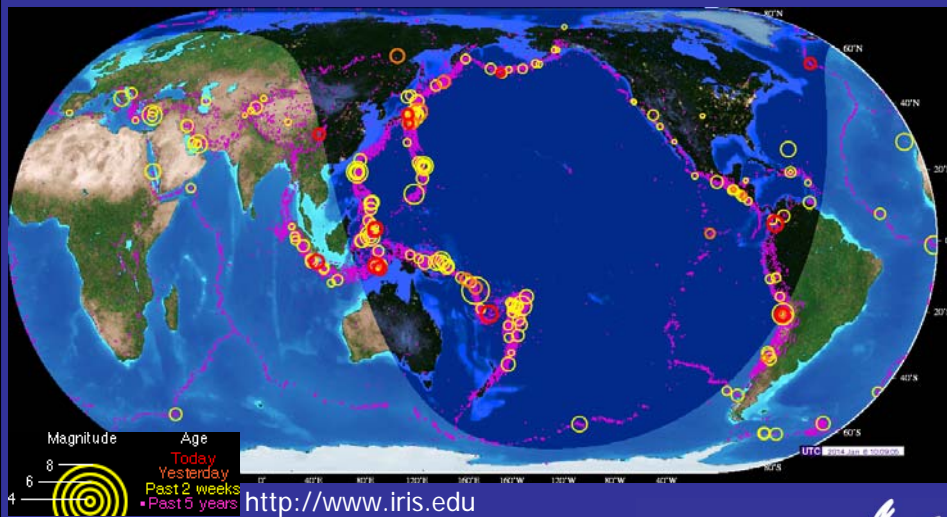


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Indirecte aanwijzingen: Geofysica

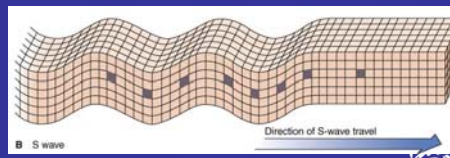
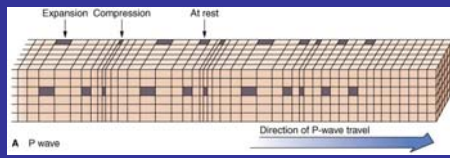
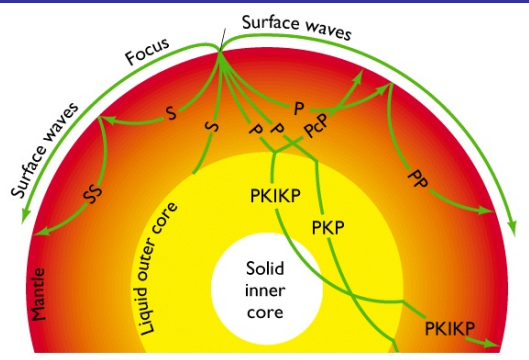
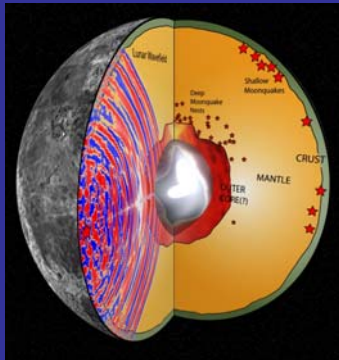


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Aardbevingsgolven

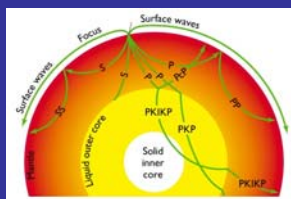
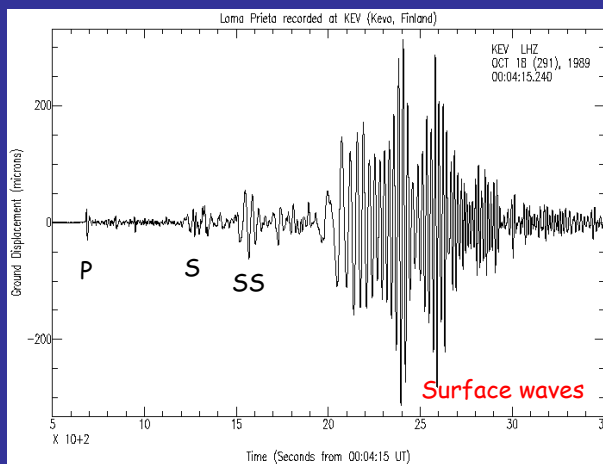


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Voorbeeld: Loma Prieta (1989, M7)



- Voortplantingsnelheid P,S golven afhankelijk van sterkte / dichtheid materiaal in inwendige

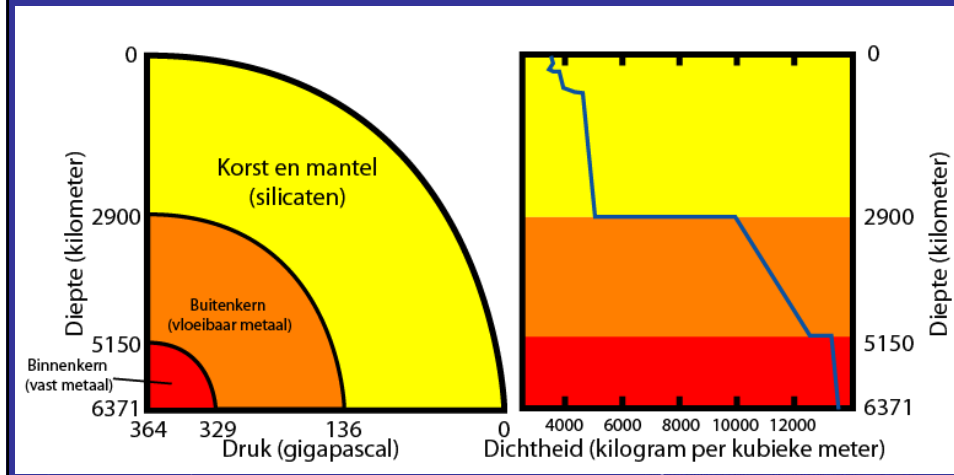
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



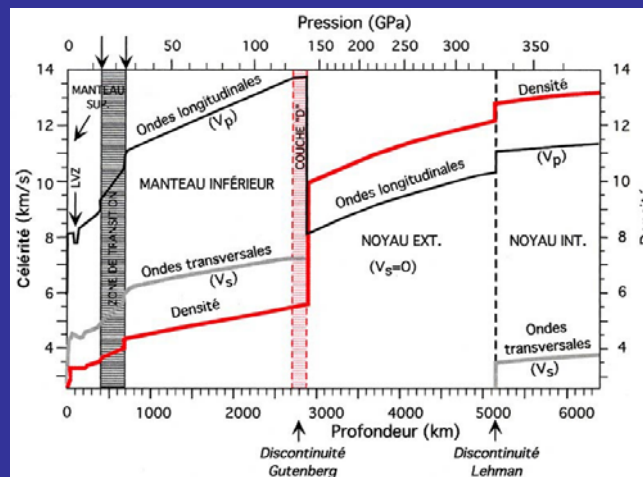
## Indirecte aanwijzingen: Geofysica

- Combinatie van aardbevingen + meetstations: Referentiemodellen (gemiddeld beeld)



## Indirecte aanwijzingen: Geofysica

- Combinatie van aardbevingen + meetstations: Discontinuïteiten



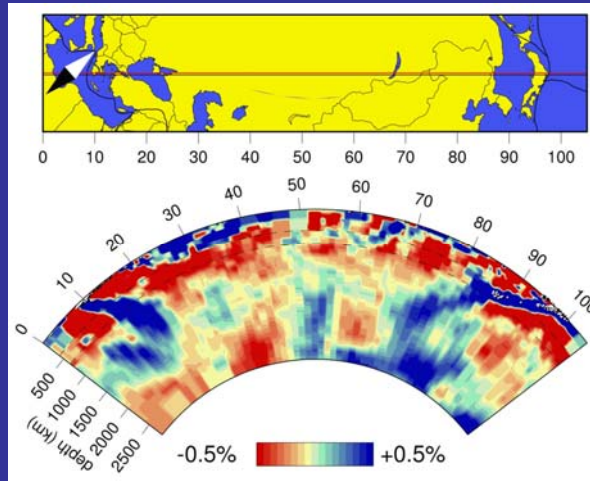
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Seismische tomografie

- Kleine afwijkingen van referentiemodel (Universiteit Utrecht – Spakman / Wortel)



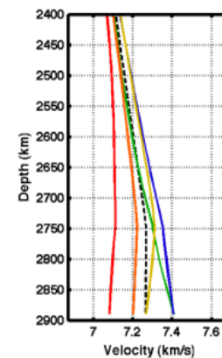
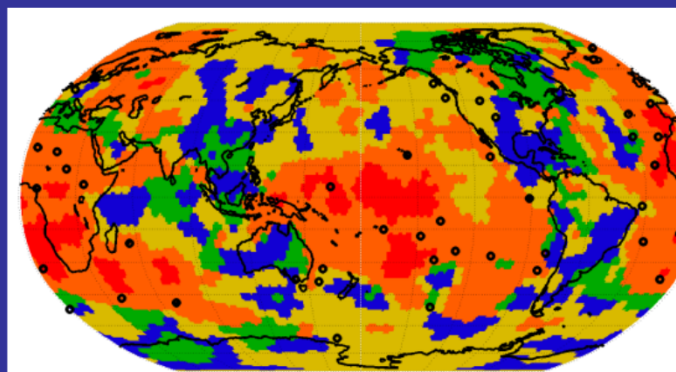
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Seismische tomografie

- De wereld op 2900 km diepte



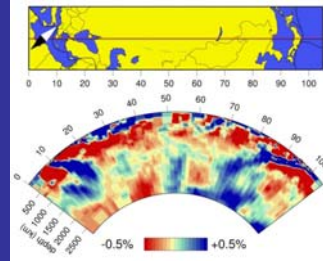
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Een paar openstaande vragen

- Welke mineralen / smelten zitten er in het diepe inwendige?  
→ **Experimentele petrologie**
- Hoe veranderen hun eigenschappen met druk en temperatuur?  
→ **Mineraalfysica**



Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## De Aarde in het laboratorium

- Conditie in het inwendige nabootsen
- Hoge druk en temperatuur  
→ Grote kracht op een klein oppervlak



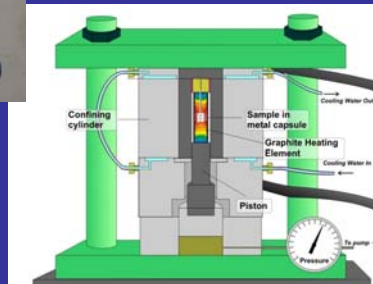
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Technieken

- Piston-cylinder pers (30.000 atm, 1700 graden)



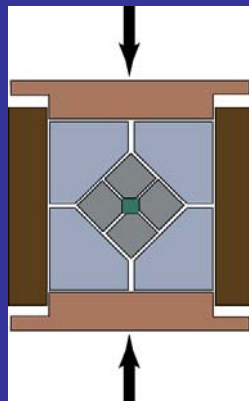
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Technieken

- Multi-anvil pers (250.000 atm, 2500 graden)



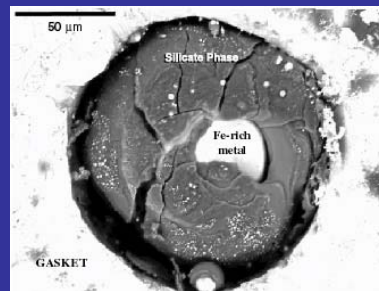
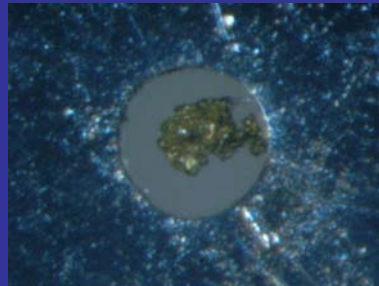
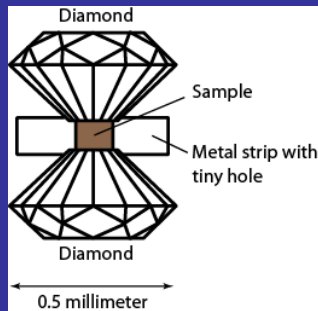
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



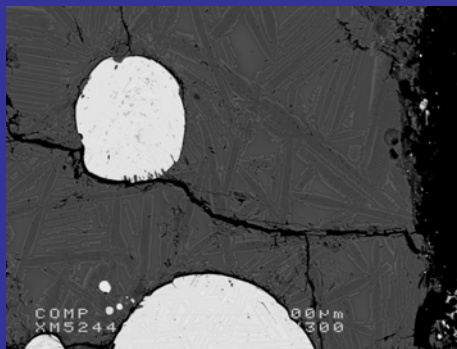
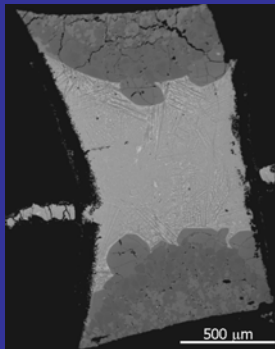
# Naar het middelpunt der Aarde

- Diamantcel  
(P,T > middelpunt der Aarde)



Deep Earth and Planetary Science

# Bepalen chemische eigenschappen

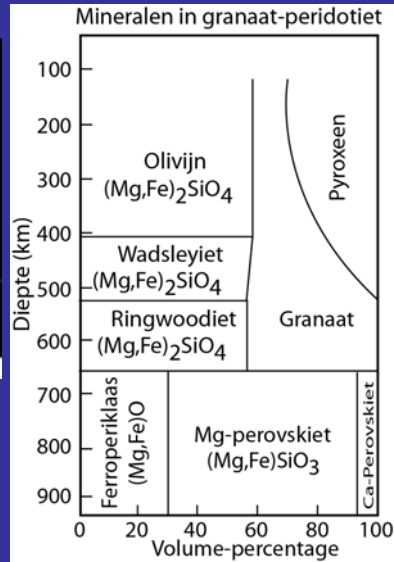


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Resultaat: Mineralogie van de mantel

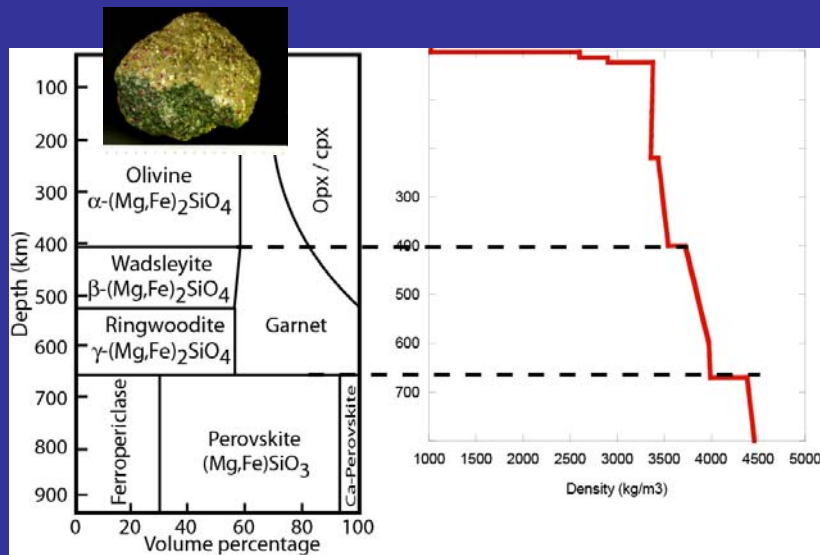


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Combinatie experimenten + geofysica



Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Fysische eigenschappen: Deeltjesversnellers



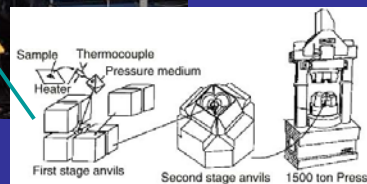
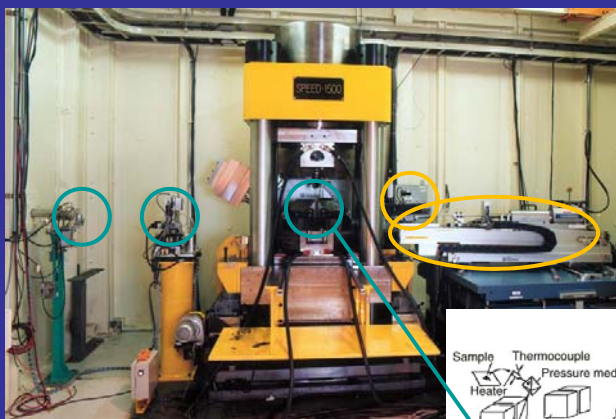
SPring-8, Japan

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Hogedrukkers in de bundel

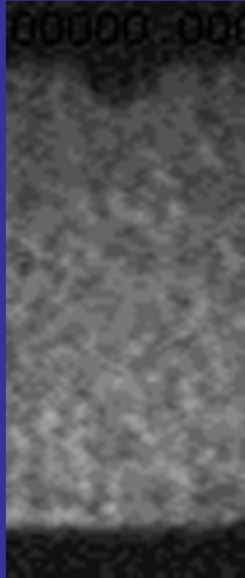


Deep Earth and Planetary Science

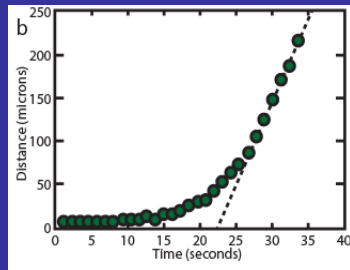
vrije Universiteit amsterdam



# Viscositeit van magma



- Magma bij 20.000 atmosfeer en 1600°C
- Re bal



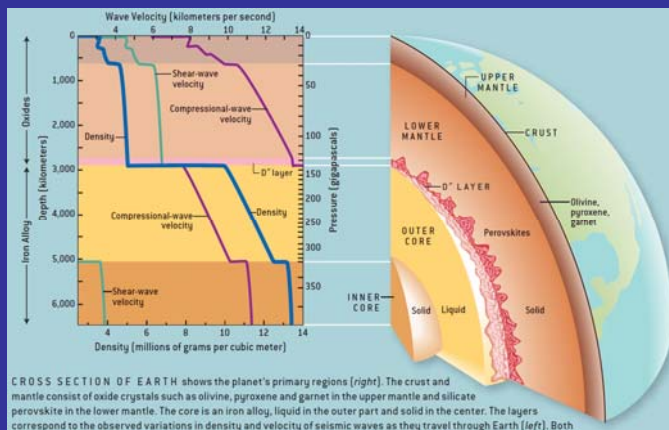
- → viscositeit
- → transportsnelheid

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Voorbeeld: De D'' laag



CROSS SECTION OF EARTH shows the planet's primary regions [right]. The crust and mantle consist of oxide crystals such as olivine, pyroxene and garnet in the upper mantle and silicate perovskite in the lower mantle. The core is an iron alloy, liquid in the outer part and solid in the center. The layers correspond to the observed variations in density and velocity of seismic waves as they travel through Earth [left]. Both



- Veranderingen in eigenschappen extremer dan op korst-atmosfeer grens!
- Enorm reliëf ('gebergten' 50-300 km hoog)
- Extreme P-T condities – moeilijk experimenteren

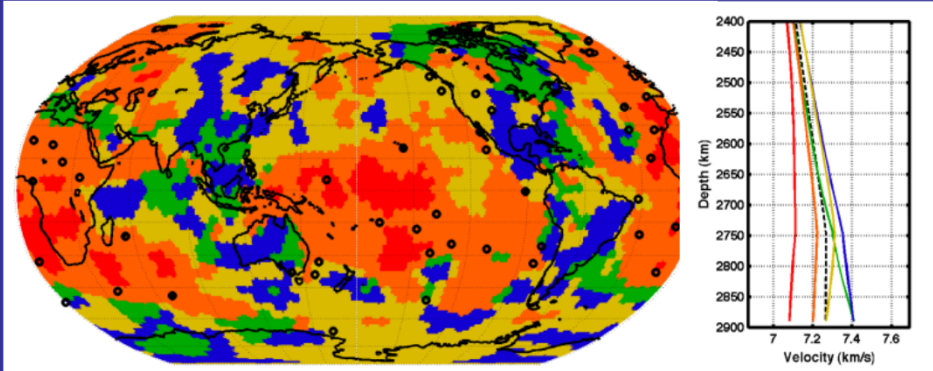
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## D'' laag: erg heterogeen

- Hoge en (extreem) lage snelheden, heterogeen verdeeld



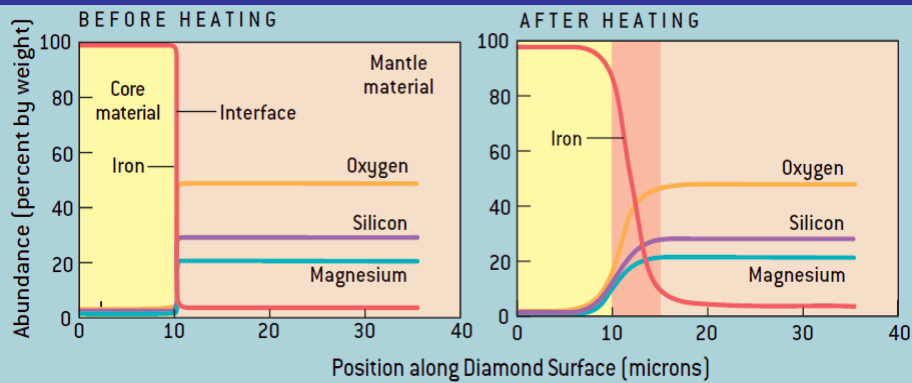
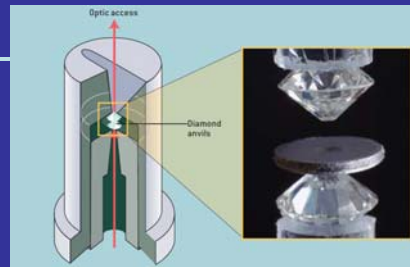
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Wat is D''?

- Jaren 90: Reactiezone kern/mantel?



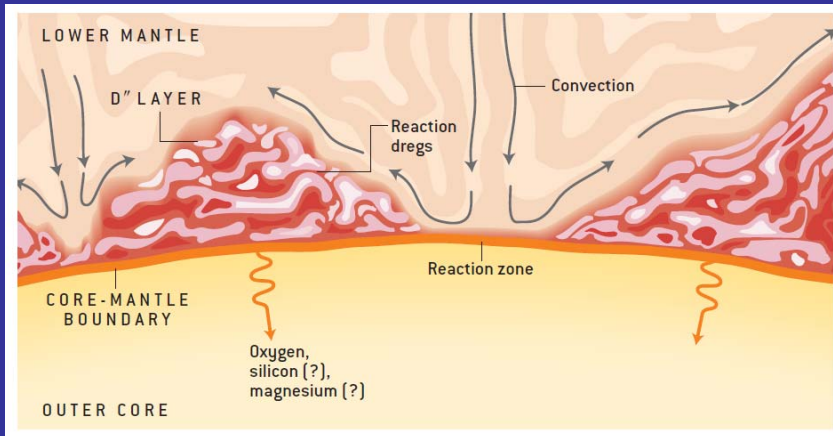
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Reactiezone?

- Gebergten: ophopingen van reactieproducten?
- Helaas: experimenten te slordig



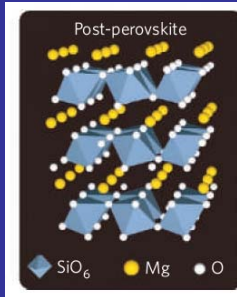
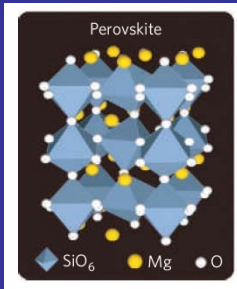
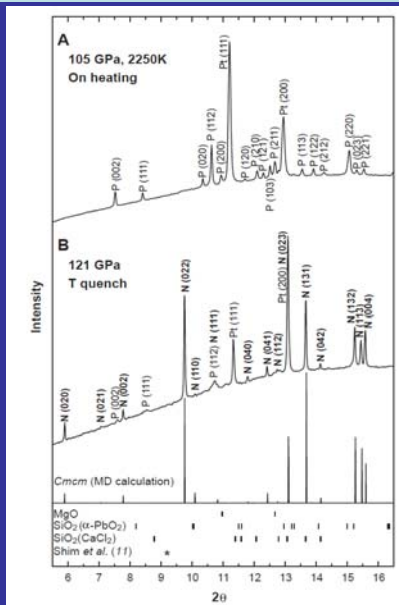
Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# D'' = nieuw mineraal?

Murakami et al. (2004) Nature

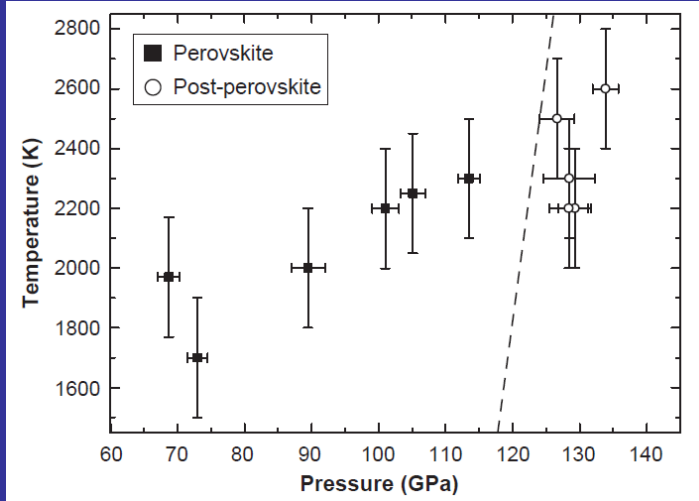


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## D'' = nieuw mineraal?



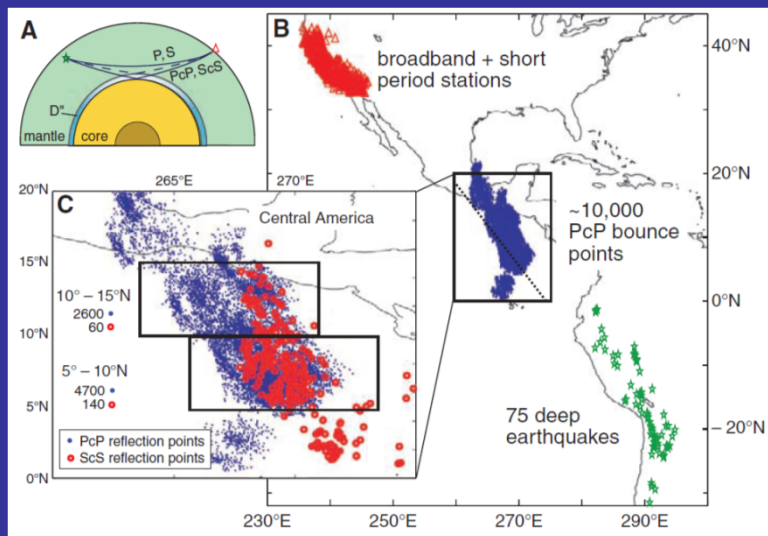
Murakami et al. (2004) Nature

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Kaart van voorkomen PPv



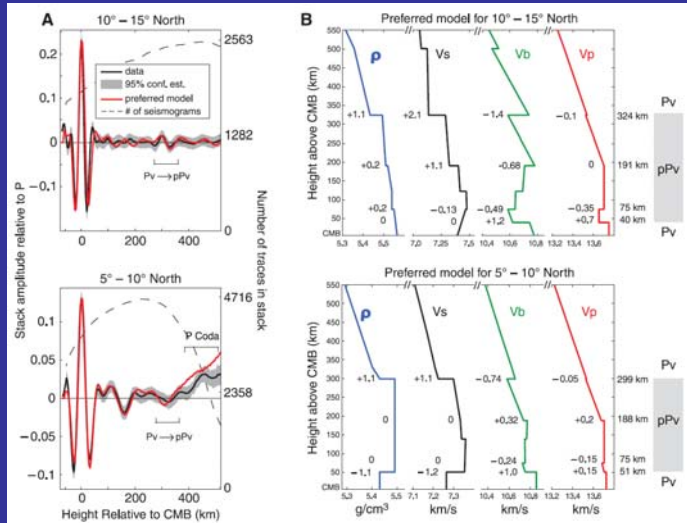
Hutko et al. (2008) Science

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Kaart van voorkomen PPv



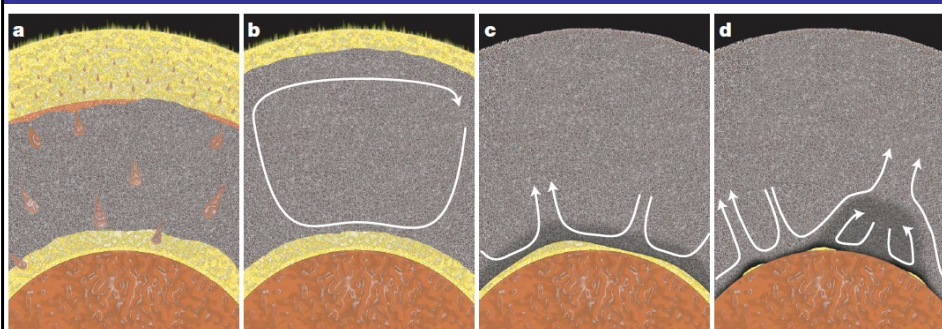
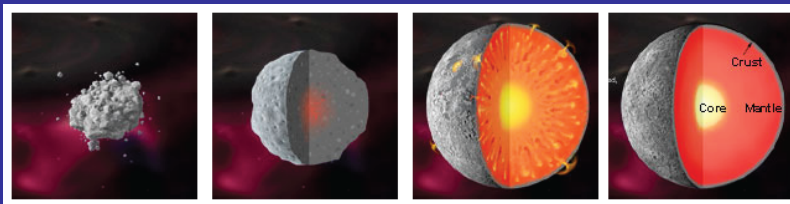
Hutko et al. (2008) Science

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



# Of: Omgekeerde vulkaan?



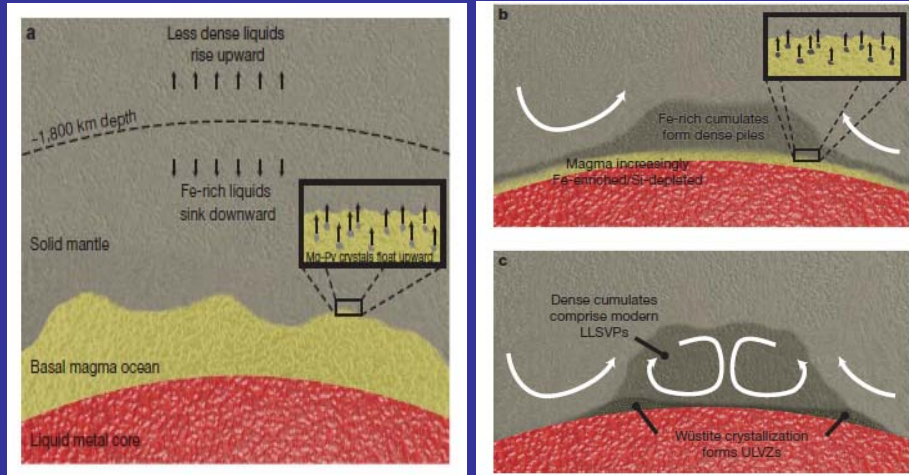
Labrosse et al. (2007) Science

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Evolutie van een omgekeerde vulkaan



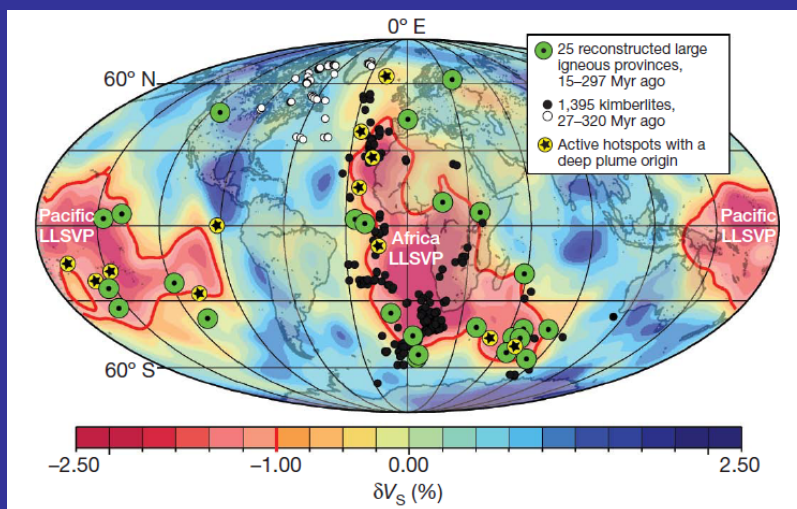
- Nomura et al. (2011) Science: Verklaren bergen in D'' en anomalie onderop

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Van LLSVP naar het oppervlak



Torsvik et al. (2010) Nature

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Conclusies

- Reeks hulpmiddelen om de diepe Aarde te bestuderen
- Beeld wordt steeds scherper
- D'': meest dynamische laag in de Aarde, met wellicht direct verband met processen aan het oppervlak

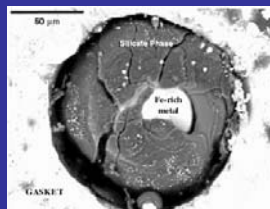


Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam



## Reis naar het middelpunt der Aarde



Wim van Westrenen

Vrije Universiteit Amsterdam

Leidse Winterlezing, 9 november 2014

Deep Earth and Planetary Science

vrije Universiteit amsterdam

