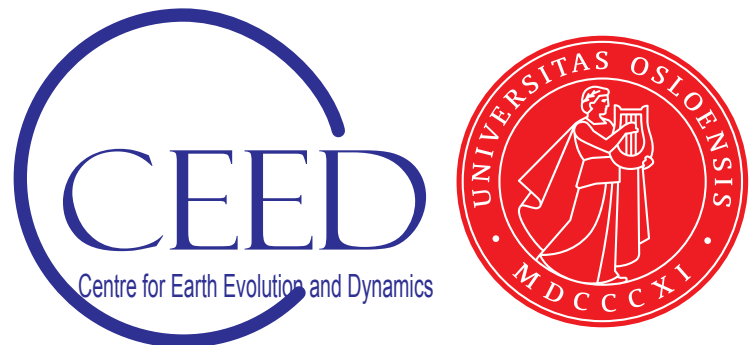


# Ab initio atomistisk simulering av faseforhold og materialegenskaper i Jordas dype indre

Senter for Jordas utvikling og dynamikk (CEED, Centre for Earth Evolution and Dynamics)



## Vi fokuserer på

- Faseforhold og materialegenskaper: nedre mante + ytre kjerne
- Kjemisk utveksling mellom kjernen og det nedre magmahavet i de første 500 millioner år av solsystemet (Hadeikum)
- Utvikling av nye og forbedrede metoder i atomistisk simulering

## Hovedmål

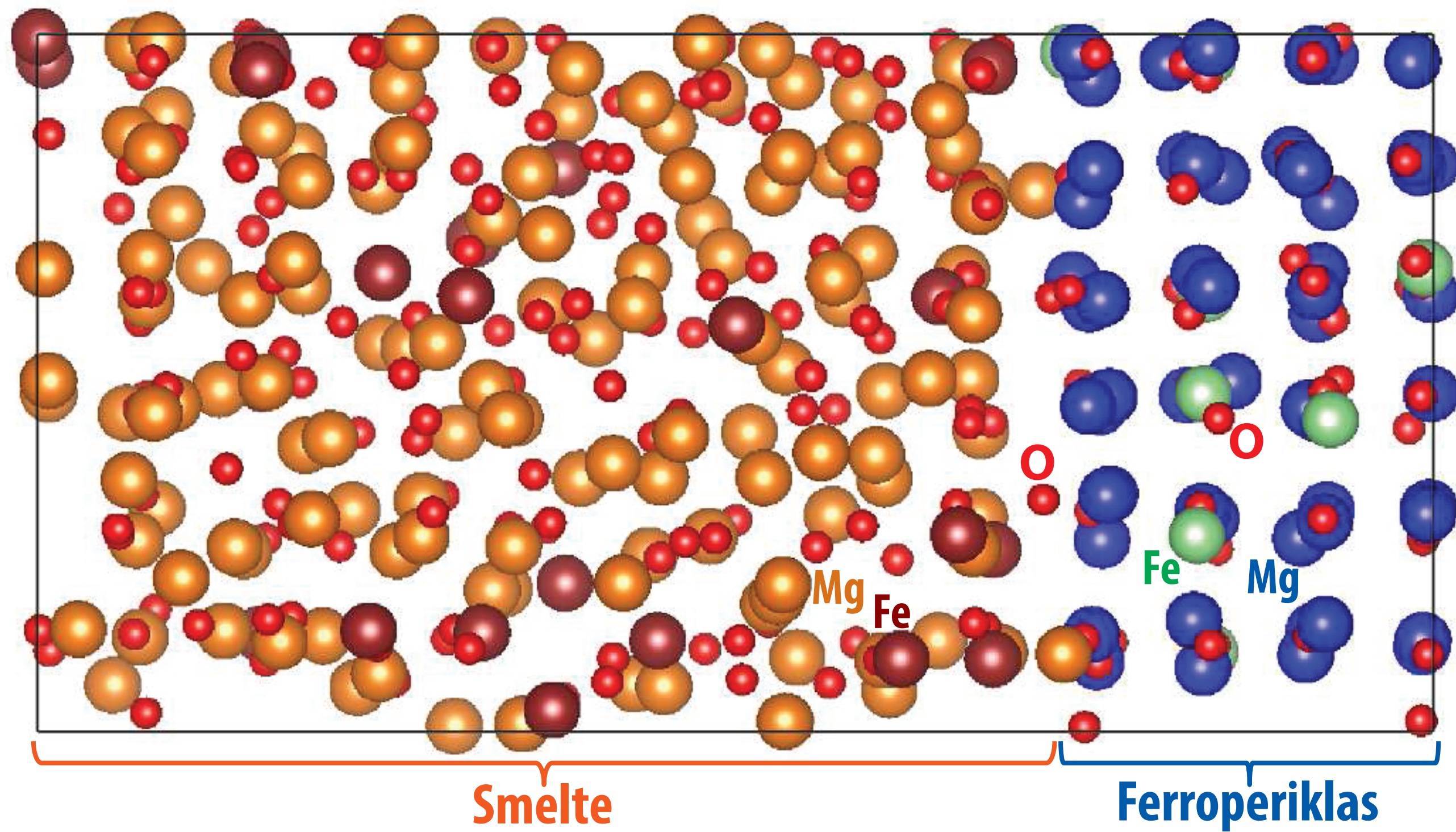
- Klarlegge struktur og dynamikk i Jordas dype indre
- nedre mantel, generelt
  - det termiske grenselaget nederst i mantelen (D'', ca. 300 km tykt)
  - det ytterste stillestående E'-laget (300-450 km tykt) i kjernen
  - resten av den flytende og konvekterende kjernen ytre kjernen

## Gruppens medlemmer

- Reidar Trønnes (prof. NHM, CEED)  
 Chris Mohn (forsker)  
 Andreas Løken (postdoktor-stip.)  
 John Brodholt (prof., Univ. College London, CEED)  
 PhD-student: Marzena Baron (til 2017)  
 MSc-sudenter: Katharina Eigenmann og Marthe Guren (til 2017)

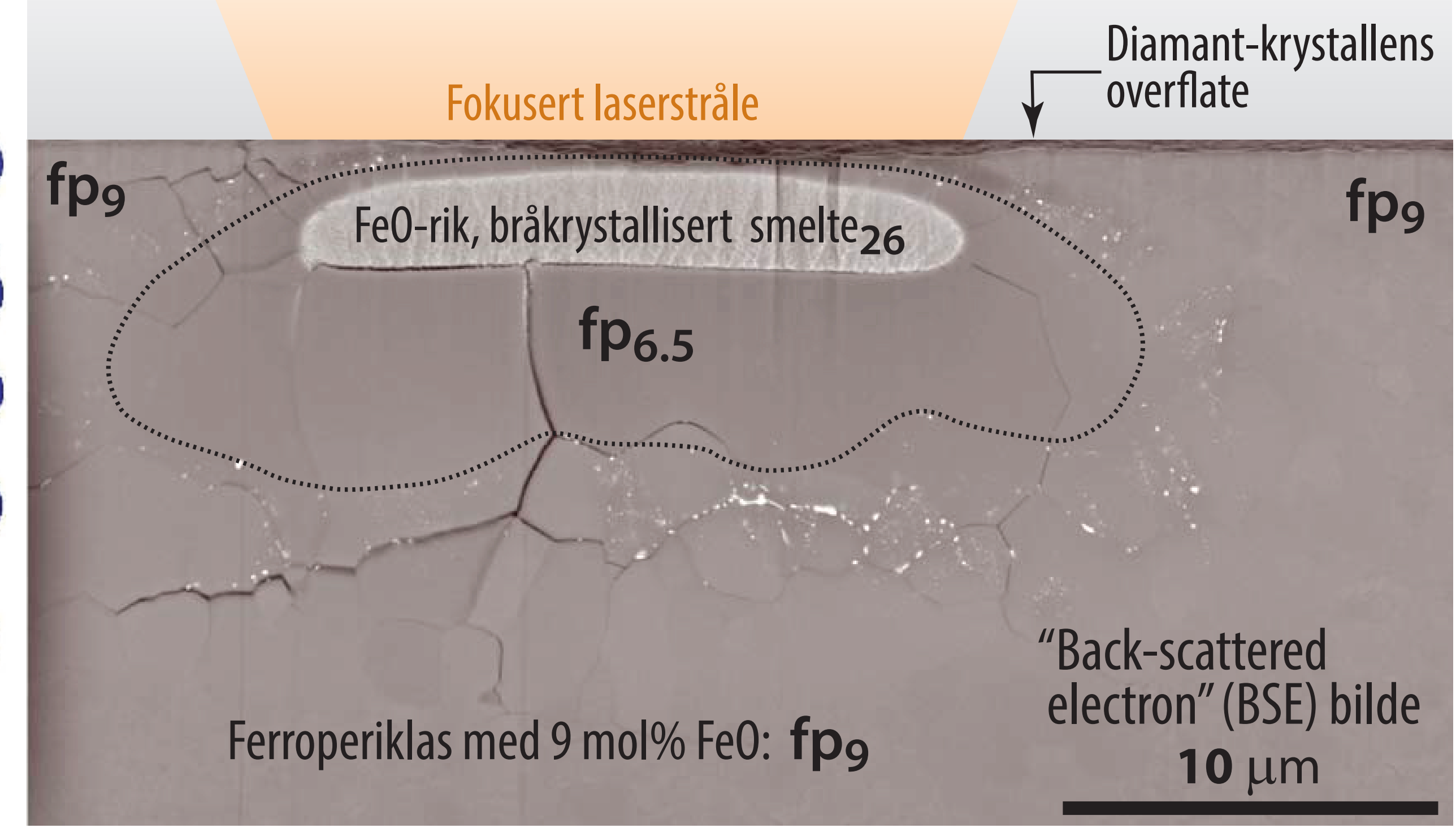
## Eksempel på molekyl-dynamisk simulering: likevekt, smelte-krystall

Ferroperiklas med ca. 15% FeO (Guren & Mohn, unpubl.)

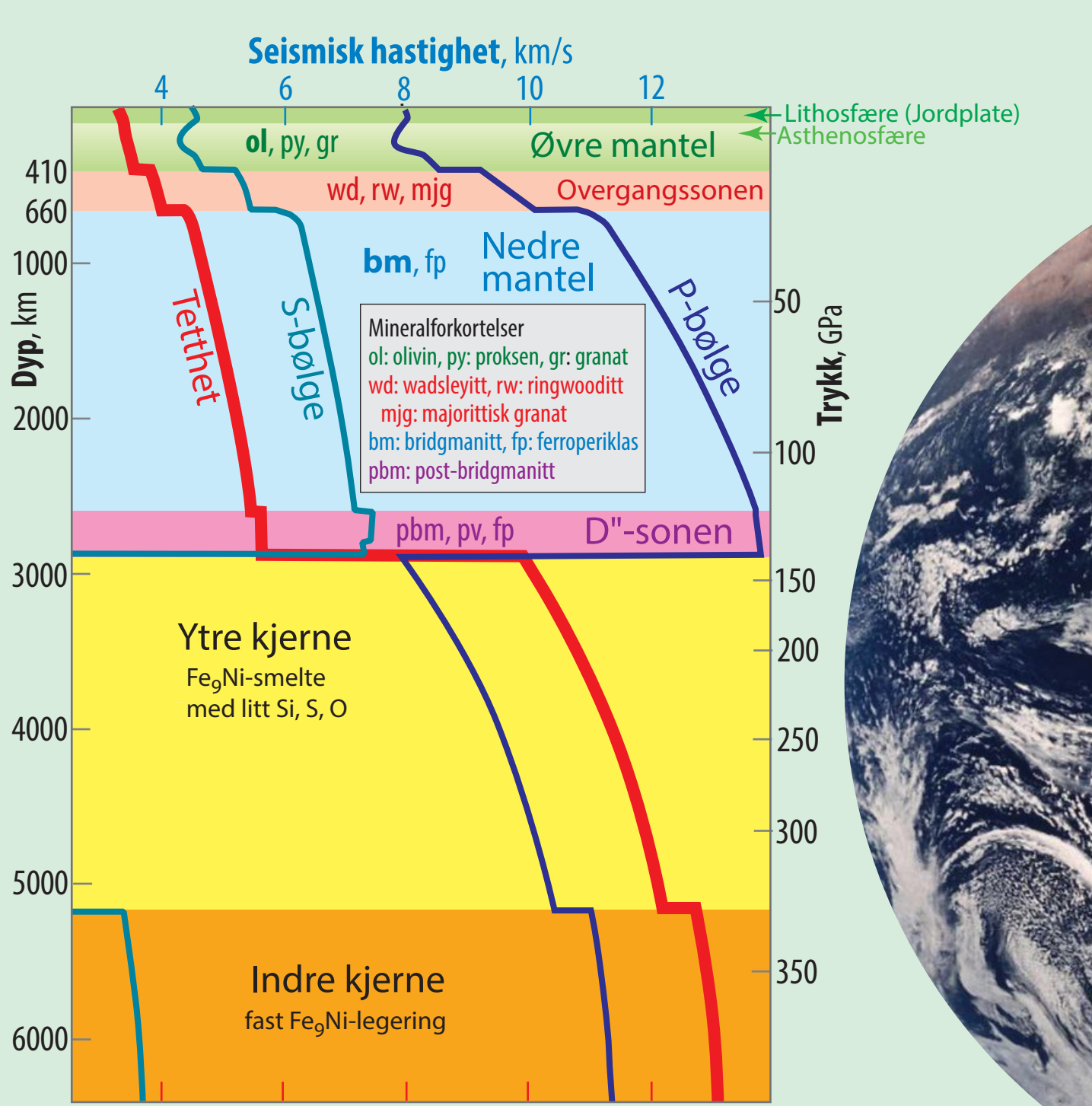


## Eksempel på smelteeksperiment, laser-varmet diamantcelle-eksperiment, 27 GPa

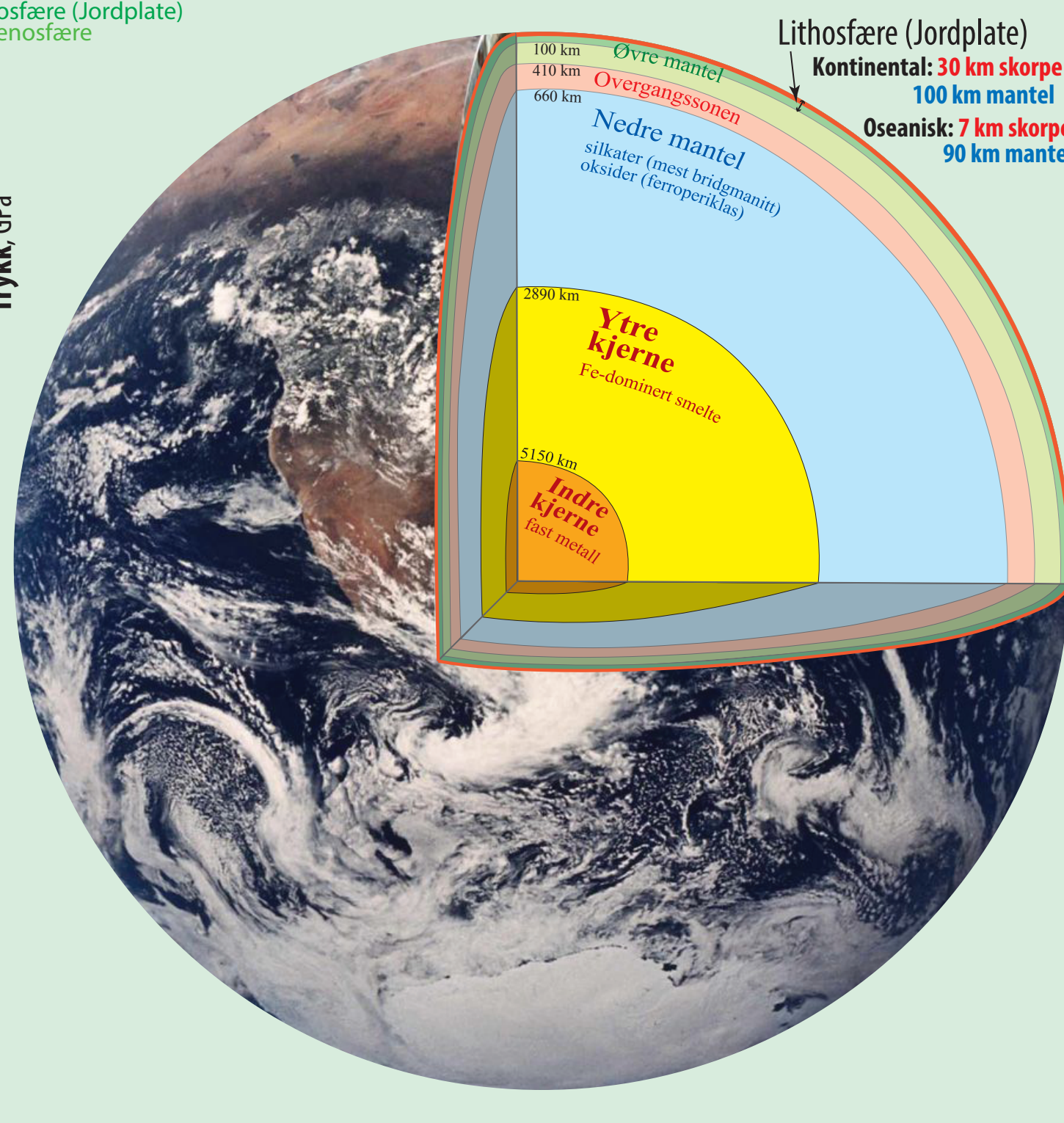
Ferroperiklas med ca. 9% FeO (Du et al. 2014, GRL)



## Jordas struktur: utledet fra masse-tetthetsfordeling og seismiske egenskaper (bølge hastighet og Jordas egensvingninger)



Seismiske grenseflater definerer øvre mantel, overgangssonen, nedre mantel og D''-sonen, samt ytre og indre kjerner. Svingeretningene til P- og S-bølgene er hhv. langs og på tvers av utbredelses-retningen. P- og S-bølger er dermed hhv. trykk- og skjærbølger.



Jordas indre kjerne vokser sakte ved krystallisering av jernsmelten på den indre kjerneoverflaten. Jernsmelten nær overflaten blir dermed oppvarmet av krystallisasjonsvarmen og anrikt på de lette grunnstoffene Si, S, O. Den varme og lette smelten stiger mot kjerne-mantel-grensen der den blir avkjølt ved varmeledning inn i mantelen (D''-sonen). Varmeledning er en mindre effektiv form for varmetransport enn konveksjon (massestrøm) som foregår lett i den flytende ytre kjernen og mindre lett i de faste, men deformerbare, steinmassene i mantelen. Fordi varmeledningsevnen er lav i steinmassene nederst i mantelen og fordi det flytende og tunge jernet ikke kan trenge inn i steinmassene, hopper varmen seg opp i D''-sonen. Dette gir en temperatur-nedgang fra 4000 K i den øverste delen av kjernen til 2500 K omtrent 300 km over kjerne-grensen. P.g.a. dette grenselaget med en vertikal temperatur-nedgang på 1500 K over 300 km er D''-sonen et nøkkelområde for Jordas utvikling og dynamikk.

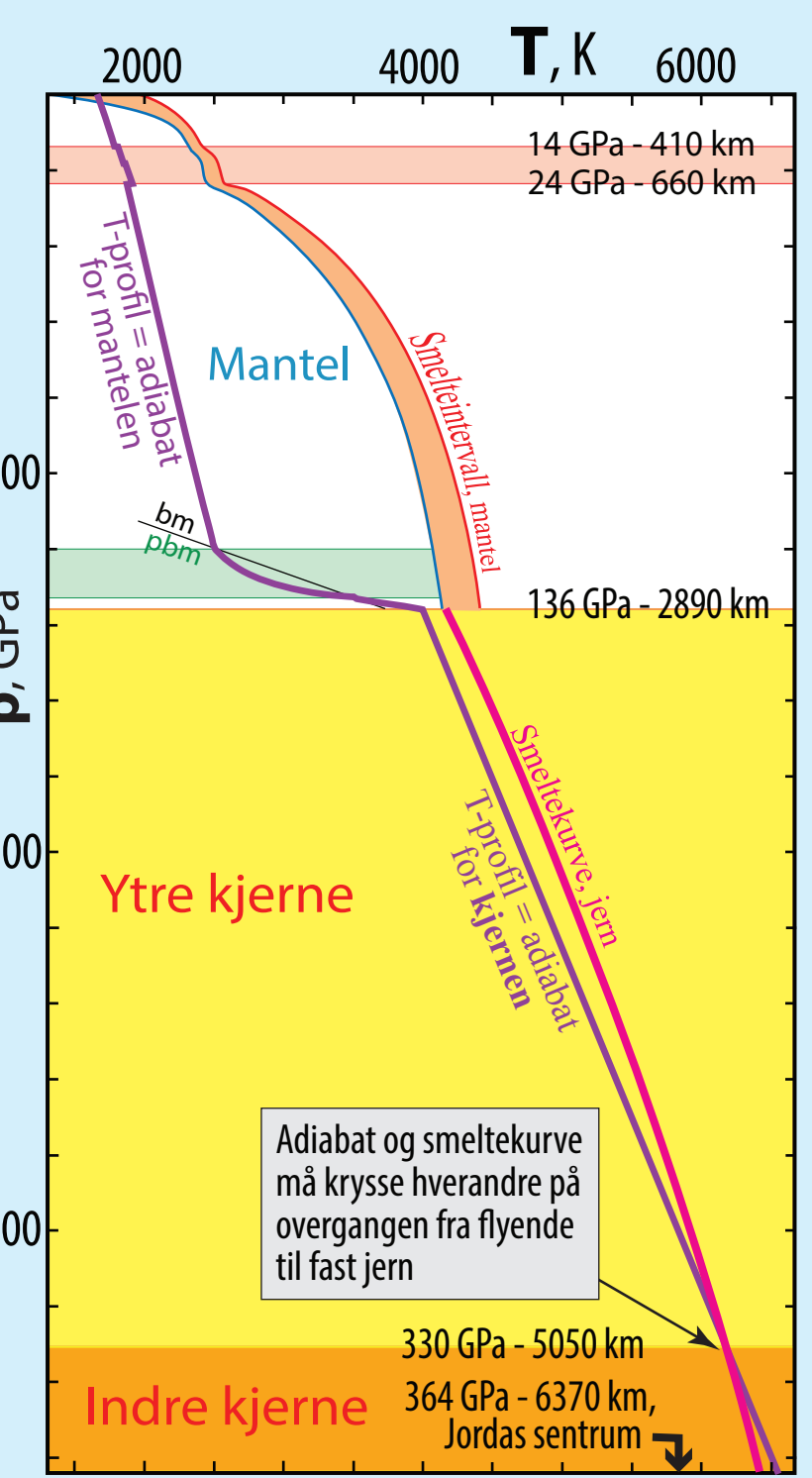
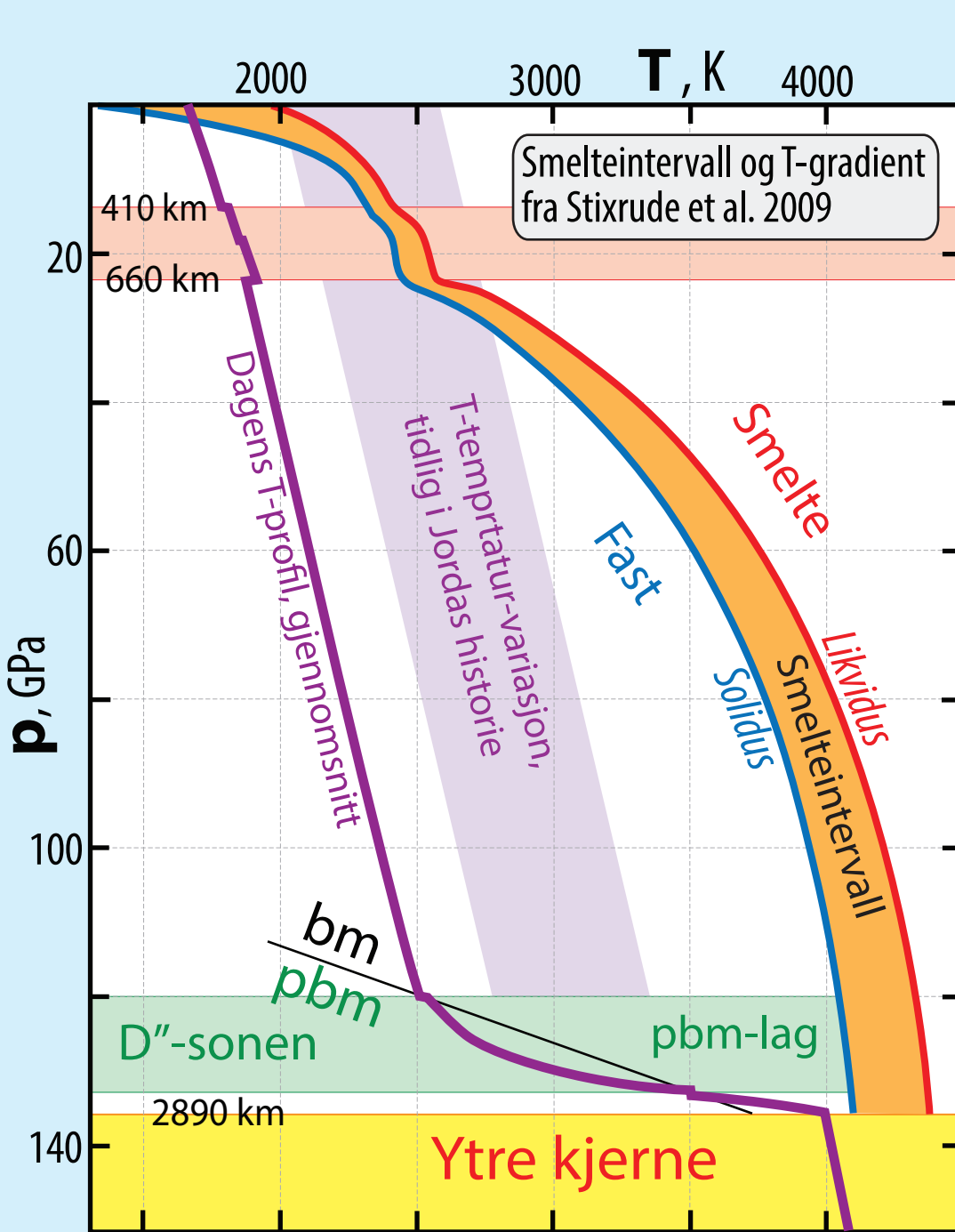
## Termiske grenselag i planetenes indre

Skyldes store tetthets-kontraster, f.eks. fra 5,6 til 9,9 tonn/m<sup>3</sup> fra fast stein til flytende jern ved Jordas mantel-kjerne-grense (se figuren under)

## Grenselagene

- er ugjennomtregelige for massestrøm
- er åpne for varmestrøm (varmeledning)
- kontrollerer varmestrømmen ut fra planetenes indre

## D''-sonen (de nederste 300 km av mantelen): et nøkkelområde med dramatisk temperaturøkning



## Struktur og dynamikk i D''-sonen - grenselaget over kjernen

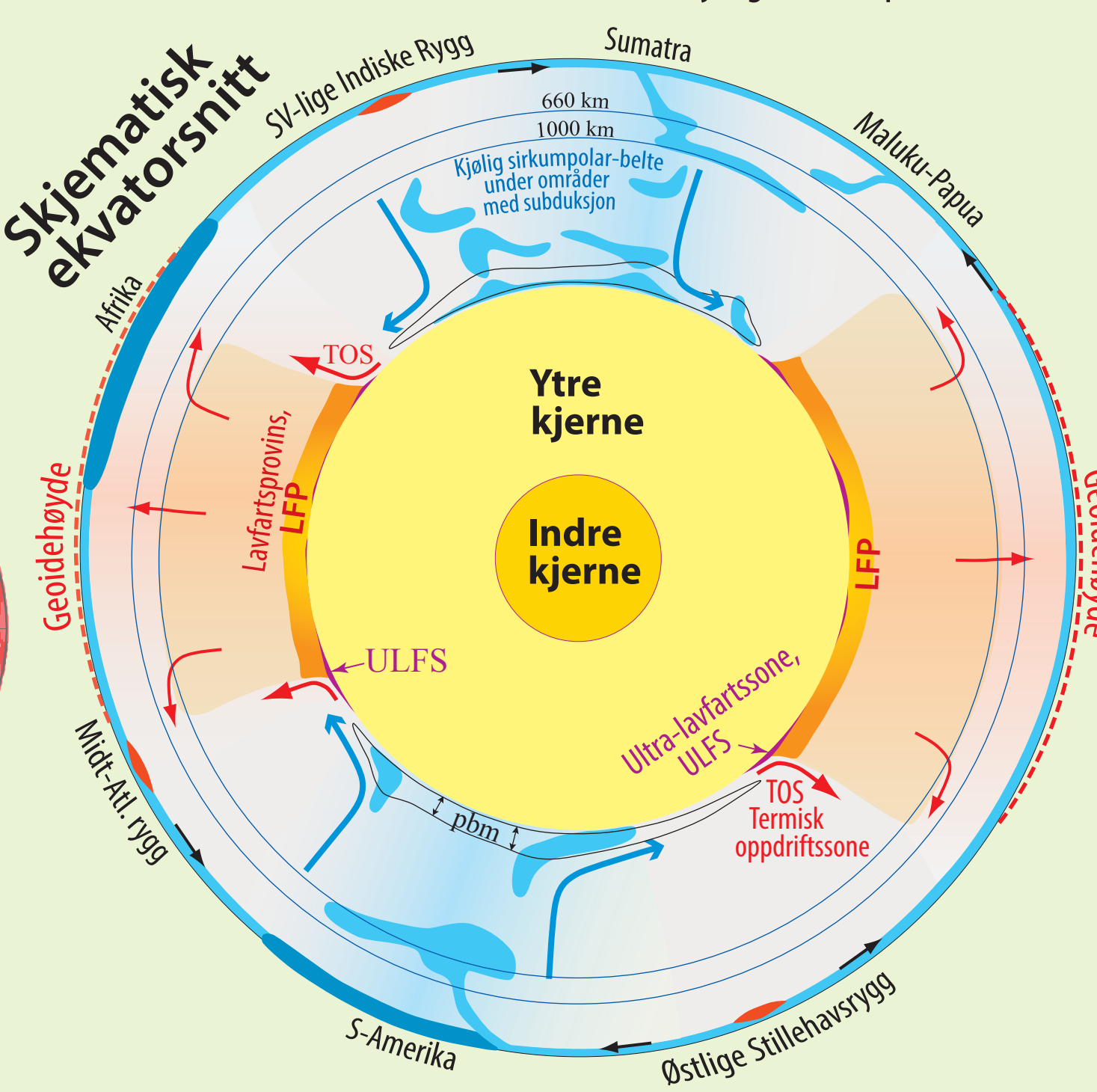
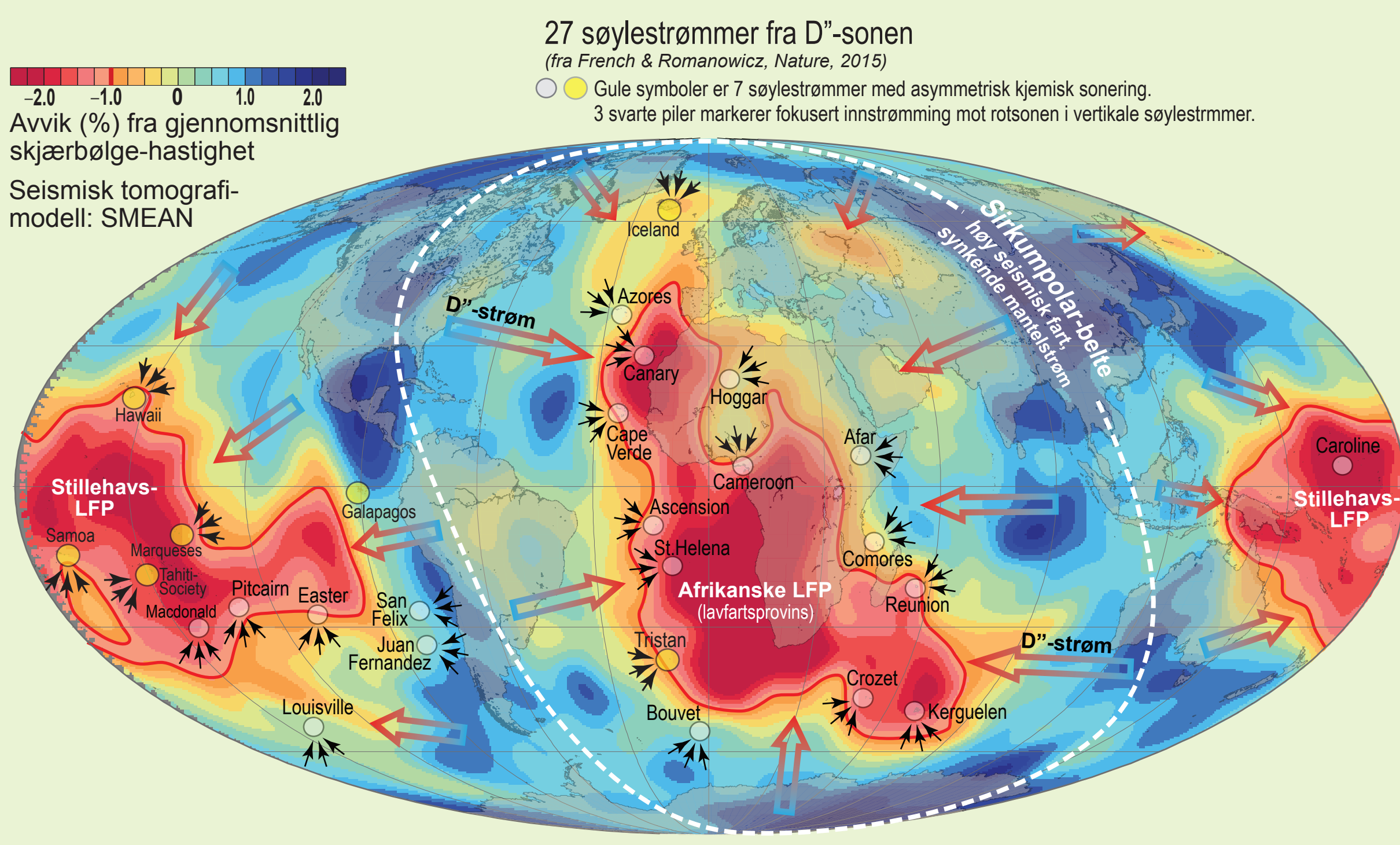
### D''-sonen - kartbilde av seismisk hastighetsvariasjon

Figuren under viser avvik fra gjennomsnittlig skjærbølgefart på 2800 km dyp. Store horisontale og vertikale variasjoner i materialer og temperatur i D''-sonen reflekterer ulike strukturer: - Et sirkumpolar-belte med høy bølgefart, gjennom Arktis, Asia, Australia, Antarktis, Amerika - Store lavfartsprovinser (LFP) under Afrika og Stillehavet - Tynne og uregelmessige ultra-lavfartszoner (ULFS, nederste fig.).

Strukturer i D''-sonen bestemmer mønsteret til massestrømmene over kjerne-grensen, og dermed også varmestrømmen mellom kjerne og mantel, samt Jordas utvikling og dynamikk. Det sirkumpolare høyfarts-beltet inneholder kalde og tunge Jordplater fra overflaten som synker i mantelen (under subduksjonssoner). Den synkende mantelstrømmen vil i D''-sonen avvies horisontalt og kjerne-grensen i retning mot de to antipodiske lavfartsprovinserne. På veien vil materialet varmes opp i kontakt med kjerneoverflaten. Ved provinsmarginene, som stedvis relativt bratte (150-300 km tykke), vil den horisontale strømmen delvis stagnere og bli fokusert mot rotsonene til dype vertikale oppstrømmer (se figuren).

## Ekvatorsnittet gjennom Jorda viser

- Nedsynking av kalde og tunge havbunnsplater under det Indiske hav og Sumatra-Papua samt under Sør-Amerika (lys og mørk blå farge viser hhv. oseaanske og kontinentale Jordplater)
- To store antipodiske lavfartsprovinser (LFP) under Afrika og Stillehavet. Den overliggende mantelen er varm og lett og stiger mot overflaten. Dette gir en utbuling av overflaten (geoid høyder) over lavfartsprovinserne som 200-300 km tykke.
- tynne ultra-lavfartszoner, ULFS (5-40 km tykke)
- mineralet post-bridgmanitt (pbm) har lav termisk stabilitet og forekommer derfor kun i det kjølige sirkumpolar-beltet, i overensstemmelse med seismiske observasjoner.



## Skjematisert modell for strømningsmønsteret like over Jordas kjerne

