



**knag**

Universiteit Utrecht

# Plaattektoniek

---

Prof. Dr. Douwe J.J. van Hinsbergen  
 Universiteit Utrecht  
<http://www.geologist.nl>  
 @vanHinsbergen



1

## Onderwerpen

- 1) Opbouw van de aarde, van kern tot oppervlak
- 2) Kinematica: plaattektoniek**
- 3) Dynamica: convectorie, slab pull, ridge push**
- 4) Vulkanisme**
- 5) Seismische tomografie: een CAT-scan van de aarde
- 6) Plaattektoniek en geologie: Gebergtes en bekkens**
- 7) Nieuw veld: 'mantelkinematica'
- 8) Webtools over plaattektoniek en geologie**

2

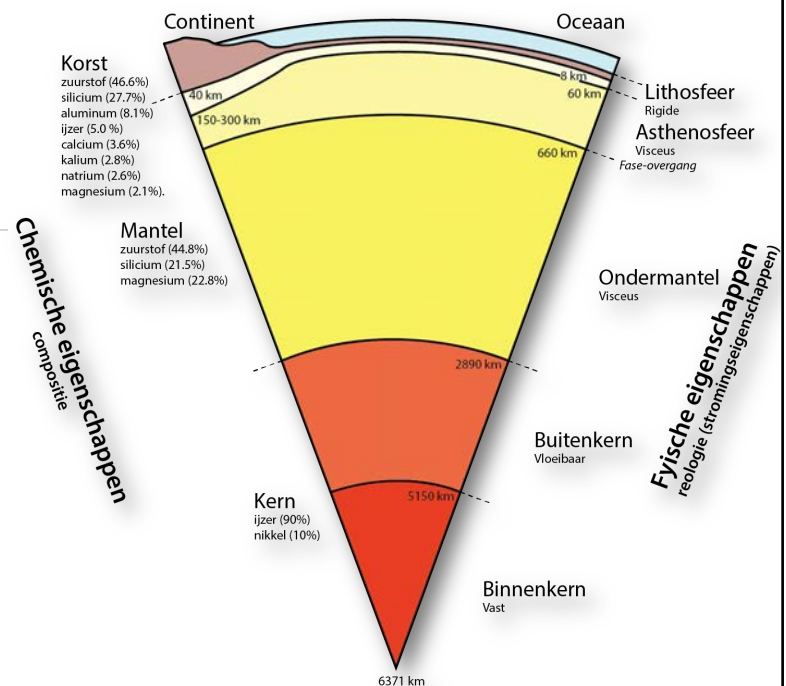
## Opbouw van de aarde

### Chemisch

Kort na vorming aarde (4.56 miljard jaar geleden): differentiatie in **kern** en **mantel**

**Oceanische korst** vormt door 'partieel smelten' (~10-15%) van aardmantel onder mid-oceanische ruggen.

**Continentale korst** vormt door subductievulkanisme en 'accretie' van sedimenten in subductiezones.



3

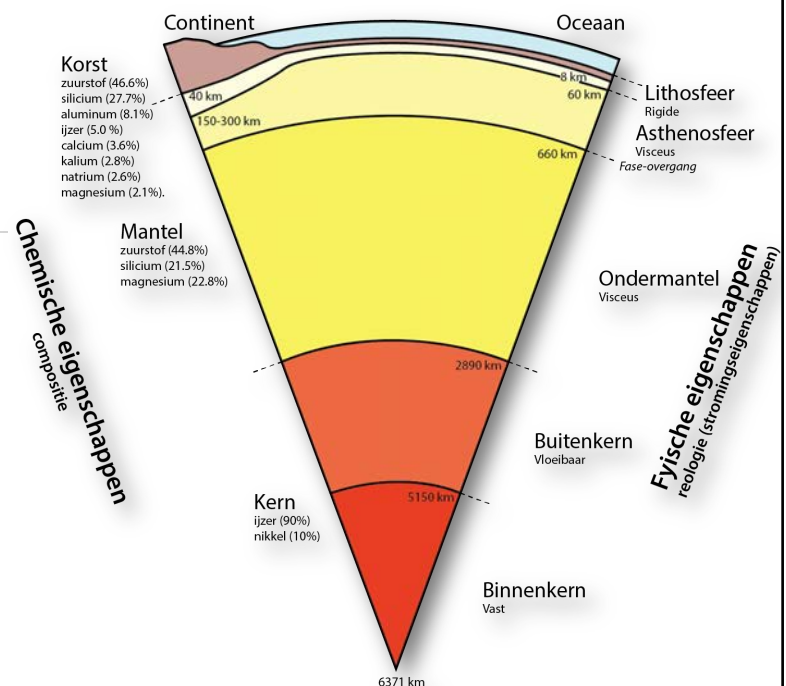
## Opbouw van de aarde

### Fysisch

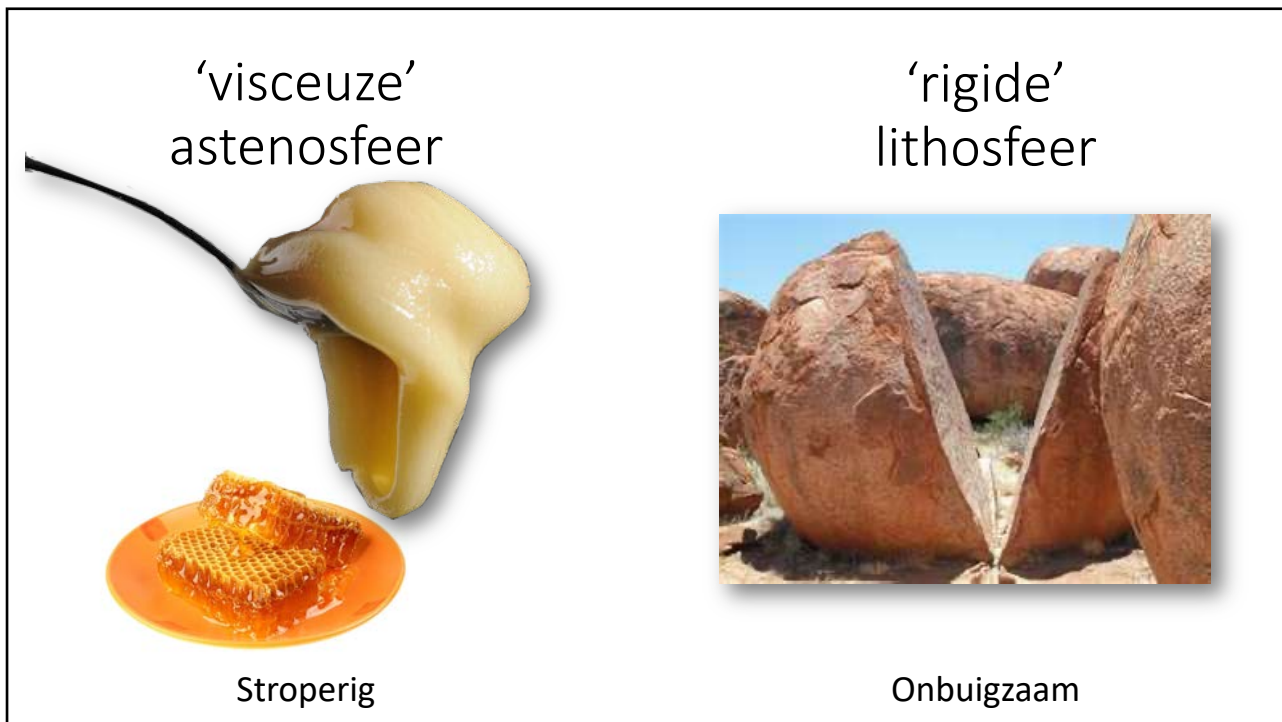
**Lithosfeer** is de rigide buitenste laag van de aarde die beweegt over en door een stropiger **asthenosfeer** en **ondermantel**

**Lithosfeer** bestaat uit korst en het door afkoeling rigide geworden buitenste deel van de mantel.

**Oceanische lithosfeer** wordt door afkoeling 'zwaarder' (hogere dichtheid) dan de asthenosfeer en ondermantel. **Continentale lithosfeer** niet: die blijft 'lichter' (lagere dichtheid).



4



5

## Kinematiek versus dynamiek

Kinematiek is de **beschrijving** van beweging

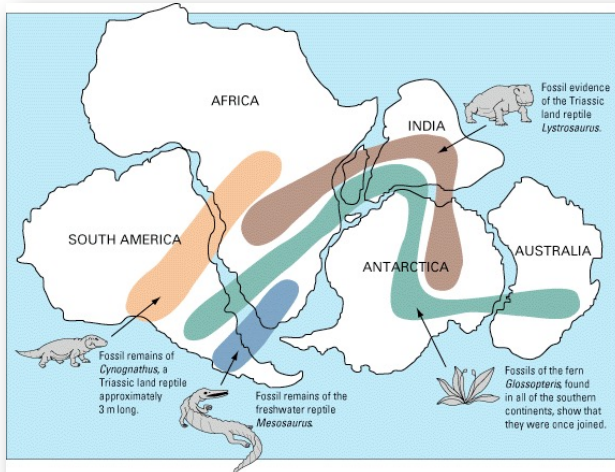
*Continental drift, Plaattektoniek*

Dynamiek is de **verklaring** van beweging

*Mantle convection, slab pull, ridge push*

6

## Kinematiek: continental drift (1912)



Alfred Wegener (1912):

*Fossiele planten en dieren uit de Trias zijn dezelfde op meerdere continenten*

*Hypothese: de oceanen tussen de continenten bestonden nog niet, en continenten drijven uiteen, en naar elkaar toe ('continental drift')*

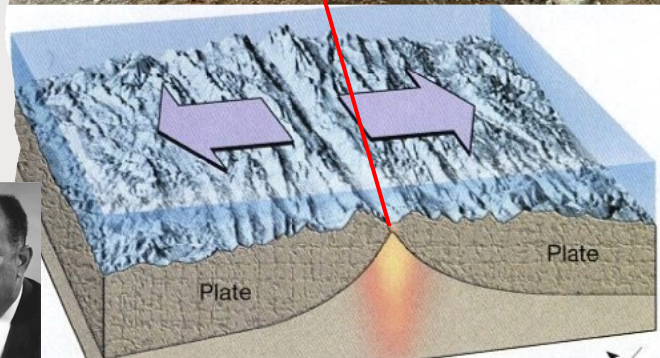
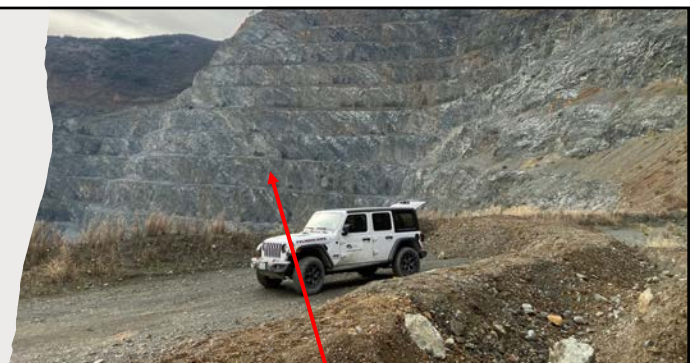
*Alleen **horizontale** bewegingen, zoals boten op water*

7

## Kinematiek: plaattektoniek (jaren '60)

Harry Hess (1940-65):

*Oceanische korst vormt langs spreidingsruggen waar platen uit elkaar bewegen*



8

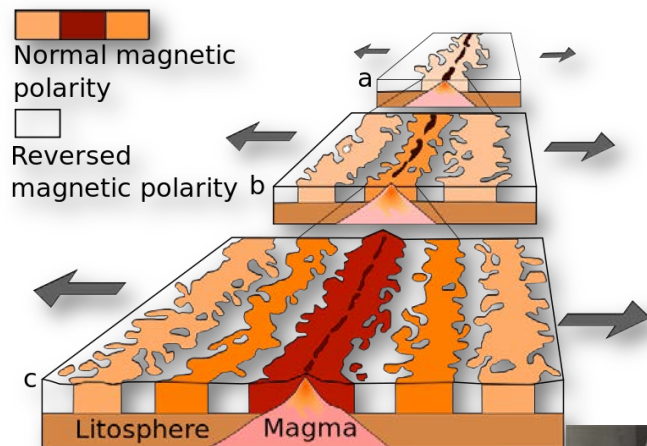


## Reconstructie van plaatbewegingen

Vine & Matthews (1963):

*Magnetische omkeringen zijn  
vastgelegd in oceaankorst en zijn  
gespiegeld in mid-oceanische  
ruggen*

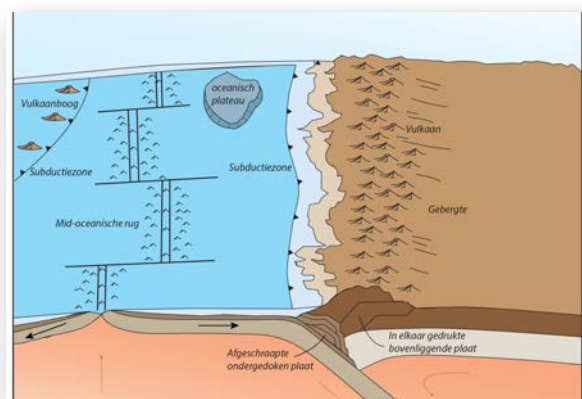
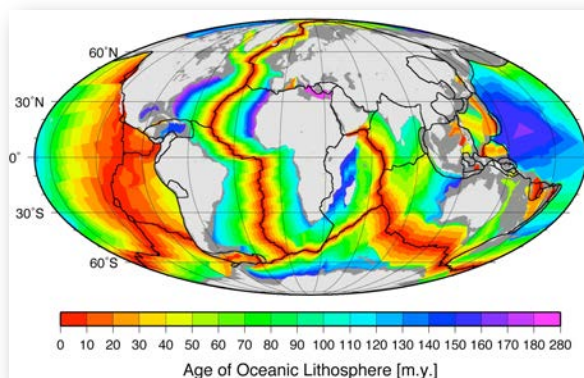
*Deze vondst maakt het mogelijk  
om gedetailleerde  
plaatreconstructies te maken*



9

## Plaattektoniek: rigide platen die bewegen langs plaatgrenzen

- Spreidingsruggen (vorming)
- Transforms (zijsschuiving)
- Subductiezones (consumptie)



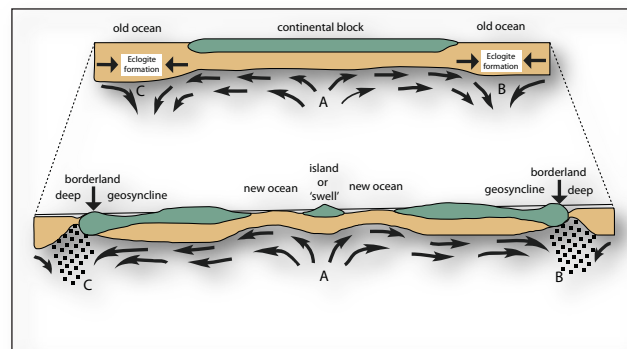
10

Dynamica:  
mantelconvectie ('lateral  
flowage')

Arthur Holmes (20-er jaren):  
radioactief verval en afkoeling  
van de aarde via convectie  
van de mantel

Kan deze convectie  
continenten heen en weer  
doen bewegen?

Het is waarschijnlijk dat de  
mantel convecteert, maar  
hoe snel weten we niet

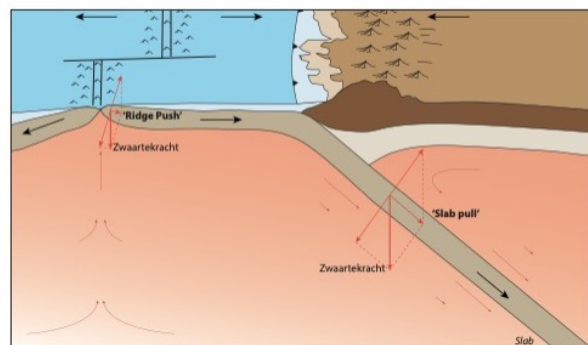


Torsvik & Cocks, *Geologica Belgica*, 2012

11

## Ridge push

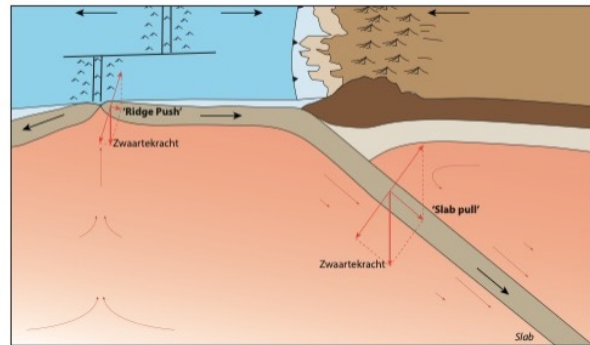
- Oceanische lithosfeer klinkt in tijdens afkoeling en komt dieper te liggen
- Daardoor ontstaat er een component van de zwaartekracht die van de rug afwijst en de plaat van de rug doet 'weggliden': Ridge push



12

# Slab pull

- Oceanische lithosfeer krijgt door afkoeling hogere dichtheid dan de mantel
- Als oceanische lithosfeer breekt en de mantel in duikt, zal het zinken
- Zwaartekracht die de plaat doet zinken = slab pull
- **Slab Pull = ~10 x Ridge Push**
- Mantelconvectie niet uitgesloten, maar convectie is niet vereist voor plaattektoniek



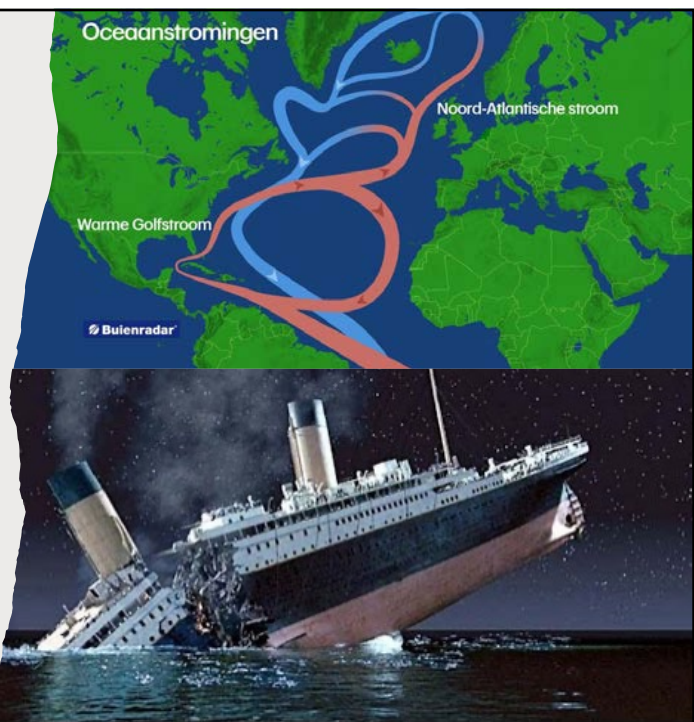
13

## Analogie naar de Titanic

De Atlantische oceaan convecteert  
Maar zonk de Titanic door die convectie? En zou de Titanic niet gezonken zijn als er geen convectie was?

*Nee. De Titanic zonk omdat ie van ijzer is, en lucht in het ruim vervangen werd door water.*

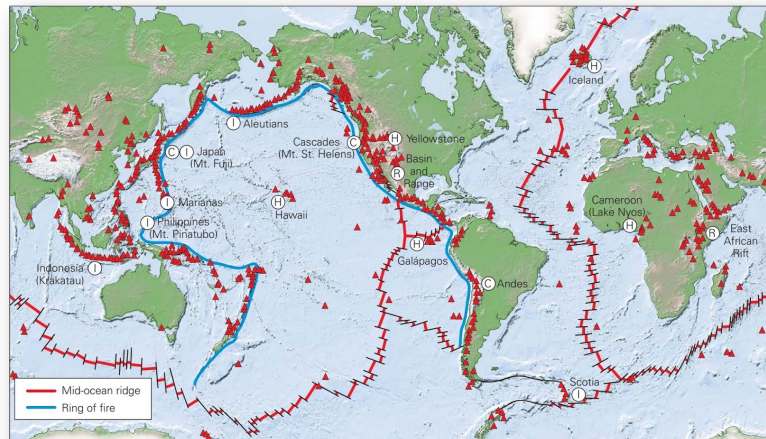
Ondervond de Titanic invloed van oceaanstroming? Jawel, maar niet zo veel.



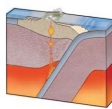
14



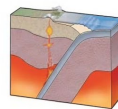
## Vulkanisme ten gevolge van, en onafhankelijk van plaattektoniek



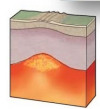
geologylearn.blogspot.com



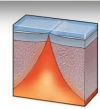
① = Island arc



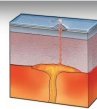
② = Continental arc



③ = Rift



④ = Mid-ocean ridge



⑤ = Hot spot

15

Mijn aanrechtblad

Magma  
ontstaat door  
*partieel*  
*smelten* van  
gesteente

'Migmatiet': een partieel gesmolten gesteente



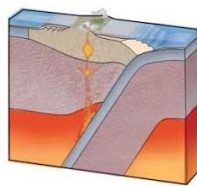
Restgesteente (gneiss)

Graniet-ader (magma)

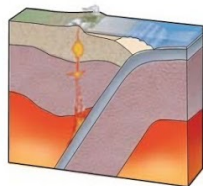
16



## De drie manieren waarop gesteente kan smelten

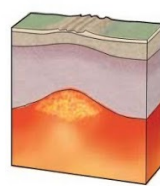


Ⓘ = Island arc

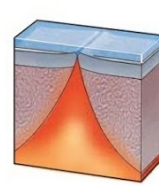


ⓒ = Continental arc

Water toevoegen

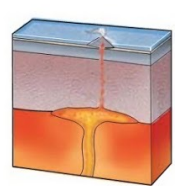


Ⓡ = Rift



Ⓜ = Mid-ocean ridge

Druk verlagen



ⓗ = Hot spot

Temperatuur  
verhogen

17

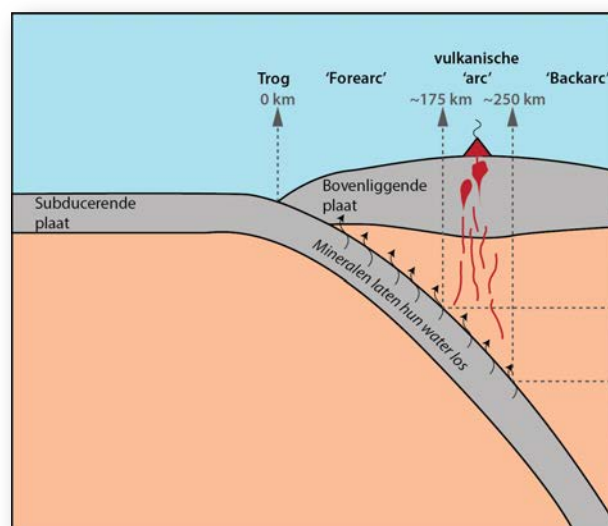
Subductievulkanisme:  
water toevoegen

Het smeltpunt van  
gesteente wordt verlaagd  
door water

Typische lavas: andesiet

Veel silica: visceuze magma;  
maakt stratovulkanen

Veel waterdamp (~7 wt%):  
explosief vulkanisme



Water reageert met  
mantelgesteente  
(serpentiniet-vorming)

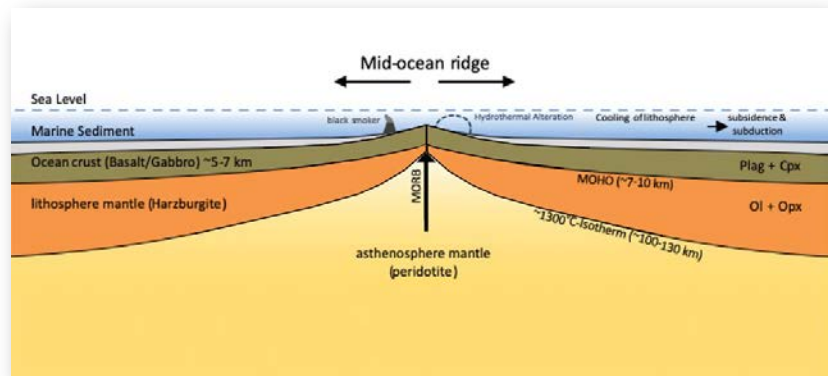
~100 km  
Water laat de mantel  
partieel smelten; magma stijgt op

~150 km  
Slab bevat geen waterhoudende  
mineralen meer

18

## Rifts & mid-oceanische ruggen: druk verlaging

- Mantelgesteente komt omhoog omdat platen uit elkaar bewegen. 10-15% van het gesteente smelt op
- Typische lavas: basalt
- Weinig silica: magma vloeit. Komt omhoog in dykes, vloeit uit op zeebodem
- Weinig waterdamp, rustig vulkanisme



19

## 'Sheeted' dykes en 'Pillow' lavas



Geologist.nl

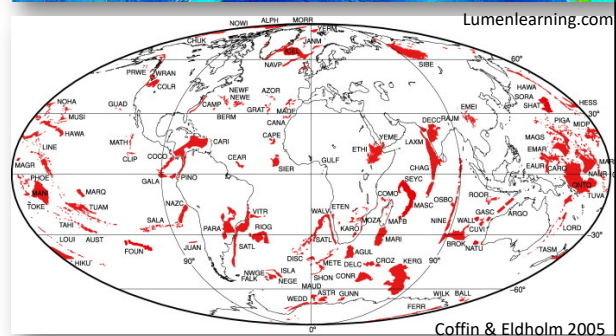
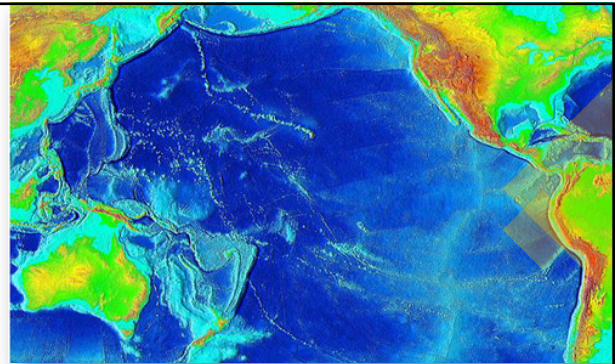


William &amp; Mary blog

20

## 'Large Igneous Provinces' en hotspot tracks

- Intraplaatvulkanisme (kan soms per ongeluk langs een plaatgrens plaatsvinden; IJsland)
- Geochemie: smelt door grote hitte (1400°C)
- Geochemie: gesteente afkomstig uit *onderste mantel* (bevat bv vaak  $^3\text{He}$ ). Maar bevat ook sporen van *gesubduceerde korst*
- Typische lavas: basalt
- Weinig silica: magma vloeit. Maakt
- schildvulkanen
- Weinig waterdamp, rustig vulkanisme



21

## Oorzaak achter LIPS en hotspots: mantelpluimen

Mantelpluimen kunnen kortstondig plaatbewegingen wijzigen en nieuwe ruggen en subductiezones genereren

(van Hinsbergen et al., 2021)

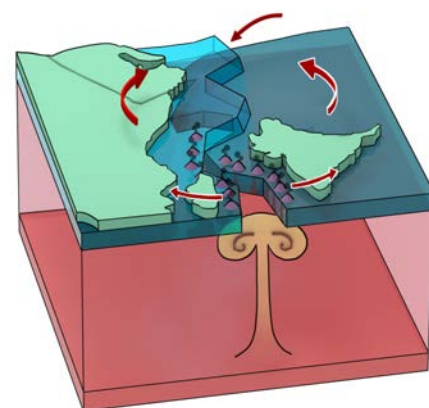
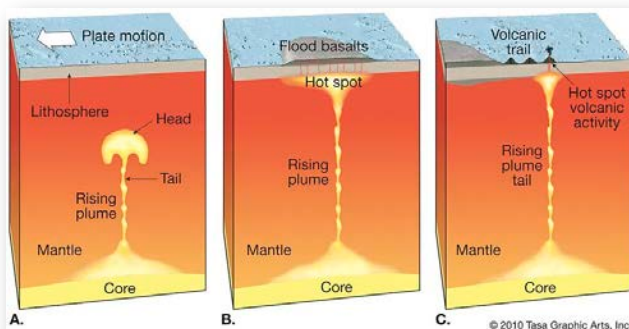


Image: Alisha Steinberger

22



## Overigens: magmatisme ook belangrijke bron van ertsen

- Bij partieel smelten gaan sommige elementen (bv goud, koper) bij voorkeur in de smelt zitten.
- Het kristalliseren van een smelt gaat ook stap voor stap (fractioneel)
- Grondwater zorgt voor nog verdere concentratie van elementen
- Uiteindelijk leidt dit tot aders en gesteenten aangerijkt in economische elementen: **ertsen**

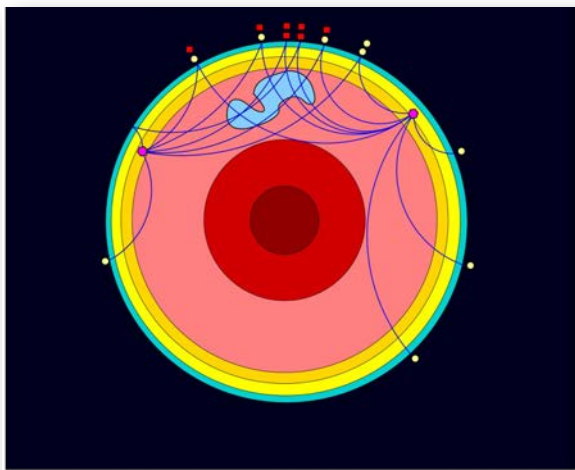


Goud-aders

jxscmachine.com

23

## Kunnen we zien waar slabs naartoe gaan en pluimen vandaan komen?



- De snelheid waarmee een aardbevingsgolf door de aarde beweegt hangt onder meer af van de temperatuur van het gesteente
- Hogere temperatuur = lagere snelheid van golfvoortplanting
- Door miljoenen golven te meten van aardbevingen over de hele wereld is een 'cat-scan' van de aarde gemaakt: seismische tomografie
- Modellen zijn vrij beschikbaar op het web

24

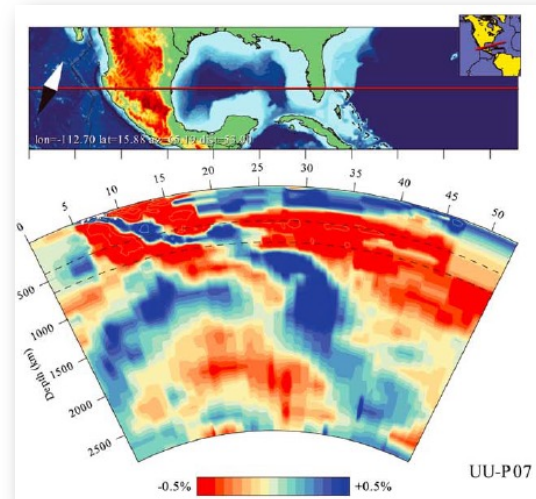


## Seismische tomografie laat ondergedoken platen in de mantel zien

Blauwe zones hebben een hogere golfvoortplantingssnelheid dan rode zones

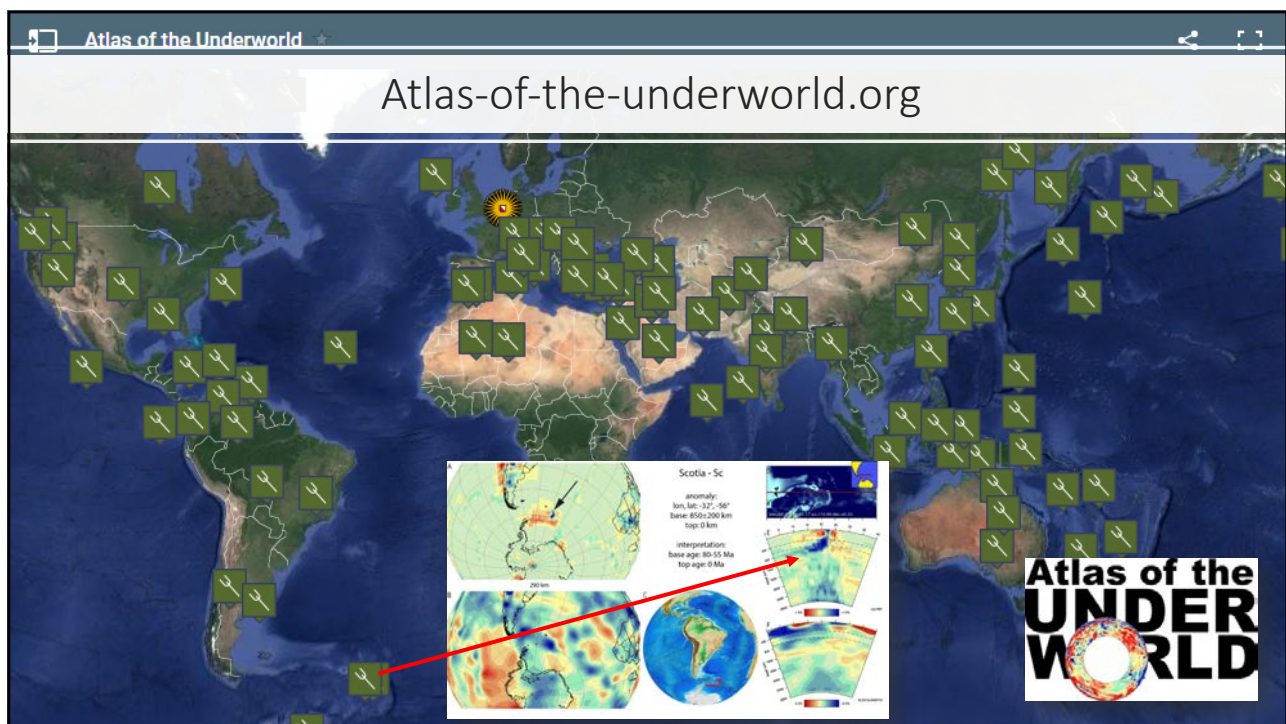
Blauwe zones kunnen worden verklaard met een paarhonderd graden lagere temperatuur

Blauwe zones komen overeen met regio's waar platen verdwenen zijn en grijpen aan in subductiezones: *slabs*



Boschman et al., 2018

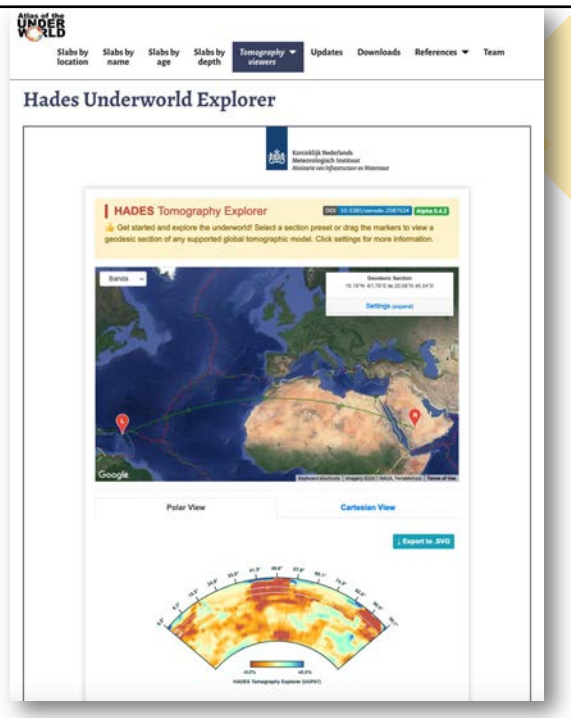
25



26

## Doe het zelf-tomografie: de Hades Underworld Explorer

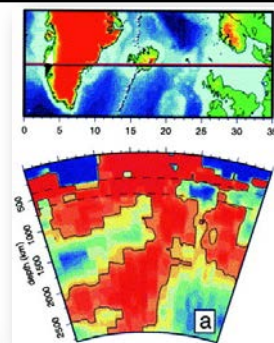
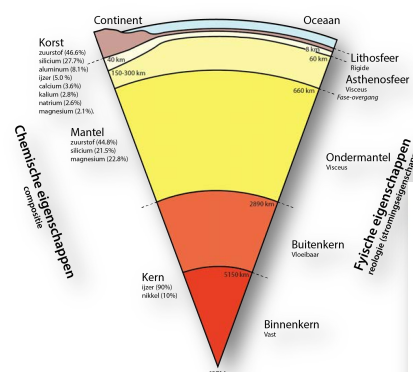
- Trek je eigen profielen
- Spoor mantelpluimen op
- Kijk hoe diep subductiezones komen
- Vind verloren platen



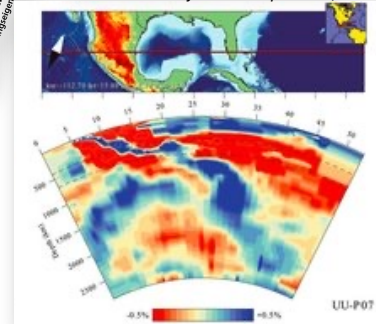
27

## Tomografie geeft inzicht in mantelconvectie

- Tomografie laat zien dat slabs *door faseovergangen heen* de ondermantel induiken
- Onder hotspots zijn kolommen heet materiaal zichtbaar die overeen komen met diepe mantelpluimen
- Dus er is uitwisseling tussen boven- en ondermantel
- Maar: mantelstructuur is maar een 3D snapshot van de huidige aarde
- Kunnen we ook bepalen hoe snel bewegingen in de ondermantel gaan?



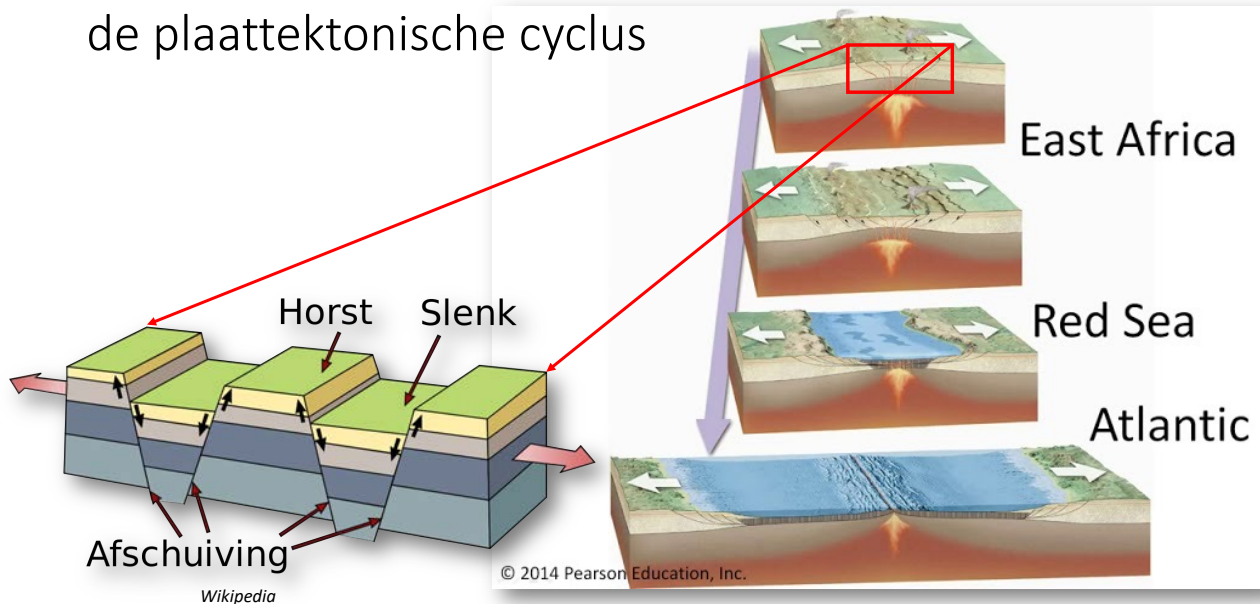
Bijwaard &amp; Spakman, 1999



Boschman et al., 2018

28

## Continent-deformatie en de plaattektonische cyclus



29

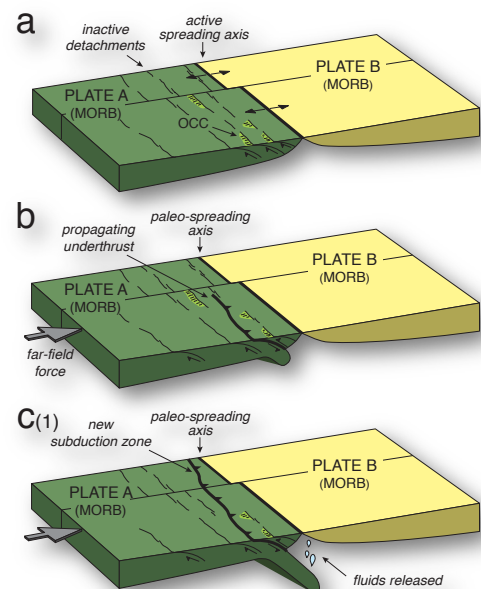
## Subductie initiatie

Als plaatbewegingen veranderen, kunnen deze de vorming van nieuwe subductiezones forceren.

-Langs voormalige mid-oceanische ruggen, transforms, of vulkaanbogen (intra-oceanisch)

of

-Langs continentranden



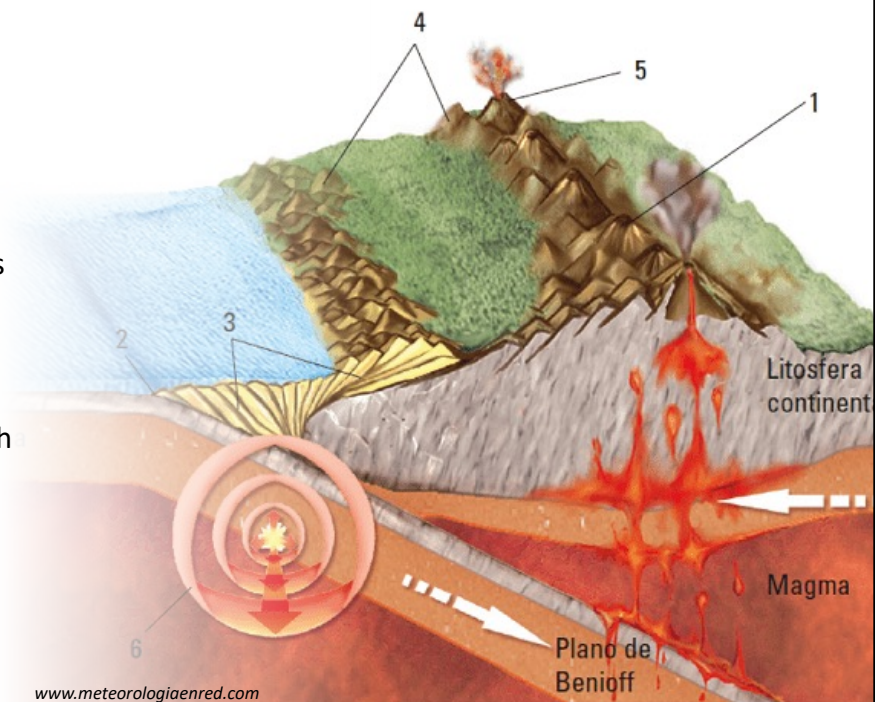
Maffione et al., 2015

30



## Subductie en orogenese

Orogenese is het proces van deformatie, metamorfose, magmatisme, gebergtevorming en sedimentatie dat typisch plaatsvindt op convergente plaatgrenzen (Şengör, 1990)



www.meteorologiaenred.com

31

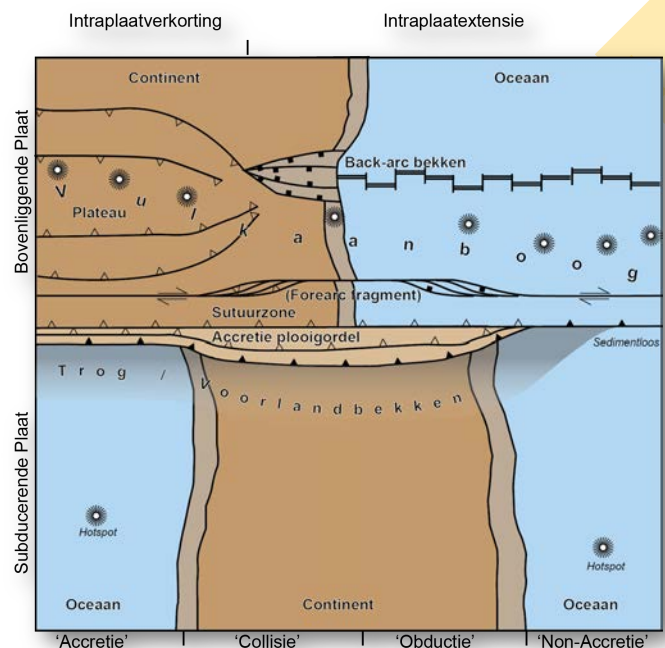
## Orogenese en subductie

**Accretie-orogeen** (plooigordel): afschraapsels van gesubduceerde plaat.

**Gedeformeerde bovenliggende plaat:**

Verkorting maakt plateaus

Extensie maakt back-arc basins



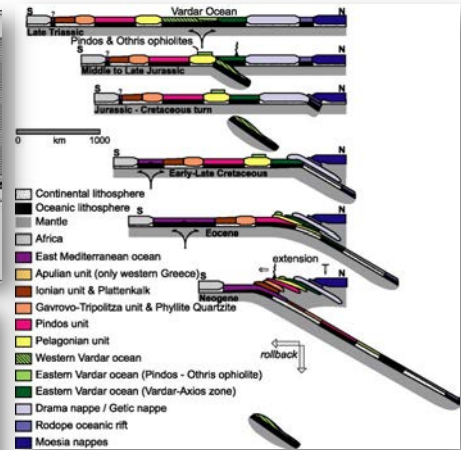
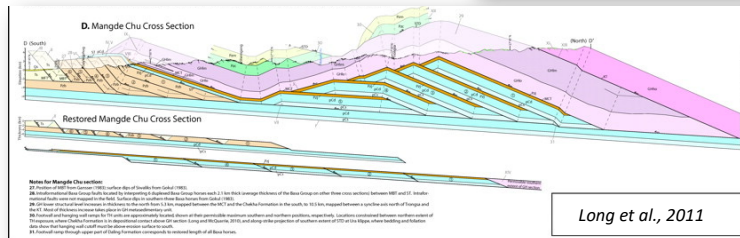
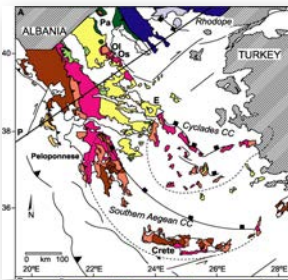
32



## Accretie-orogeneses: het afschrapen van een subducerende plaat

Opgeschoven 'plakken' gesteente, meestal sedimenten'.

De oorspronkelijke korst en lithosfeer onder deze plakken is gesubduceerd.



33

## OCEAAN ONDER OCEAAN

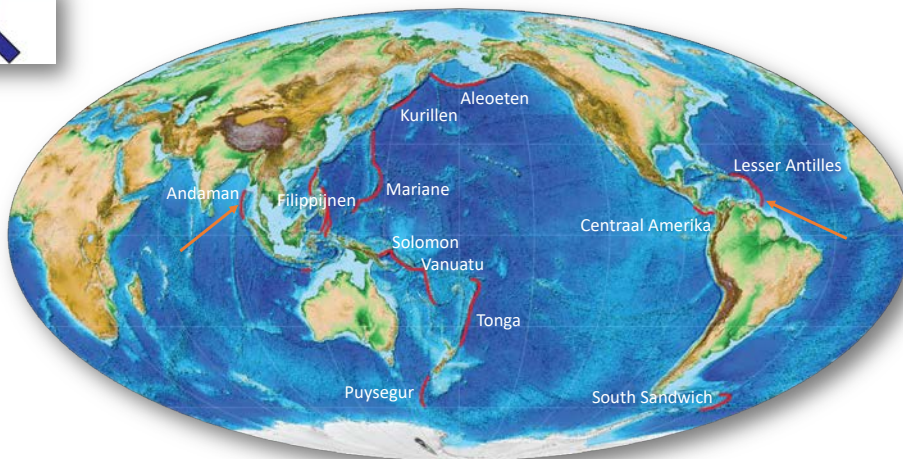


Image Source: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

Meestal volledige subductie, accretie vooral als er een dik pakket sedimenten op de subducerende plaat ligt.

34

## OCEAAN ONDER CONTINENT

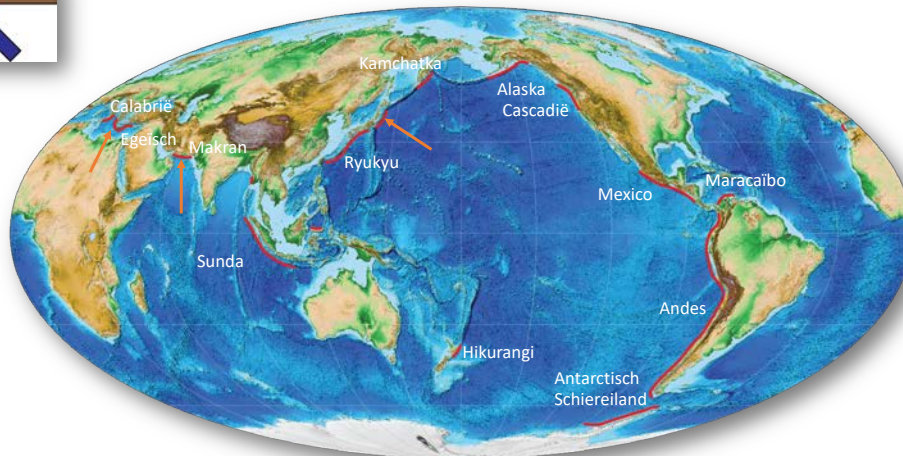
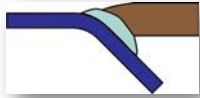


Image Source: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

Vaak volledige subductie, accretie als er een dikket pak sedimenten op de subducerende plaat ligt.

35

## CONTINENT ONDER OCEAAN

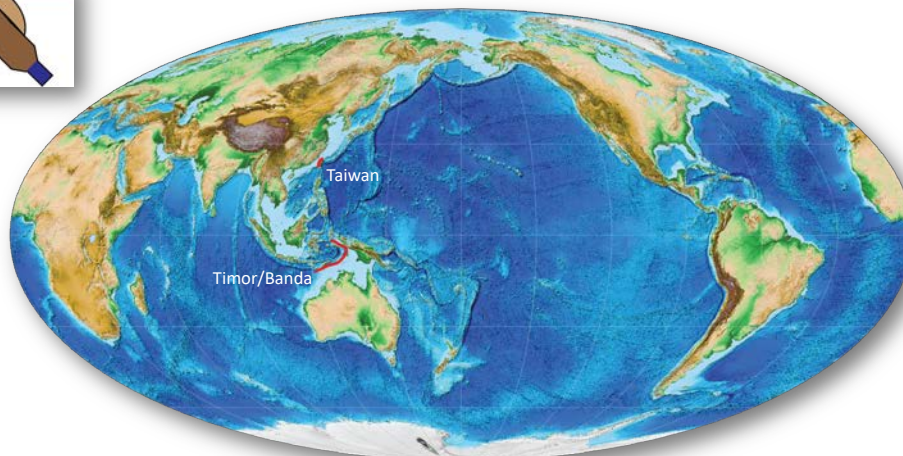
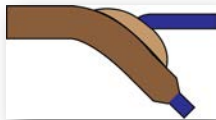
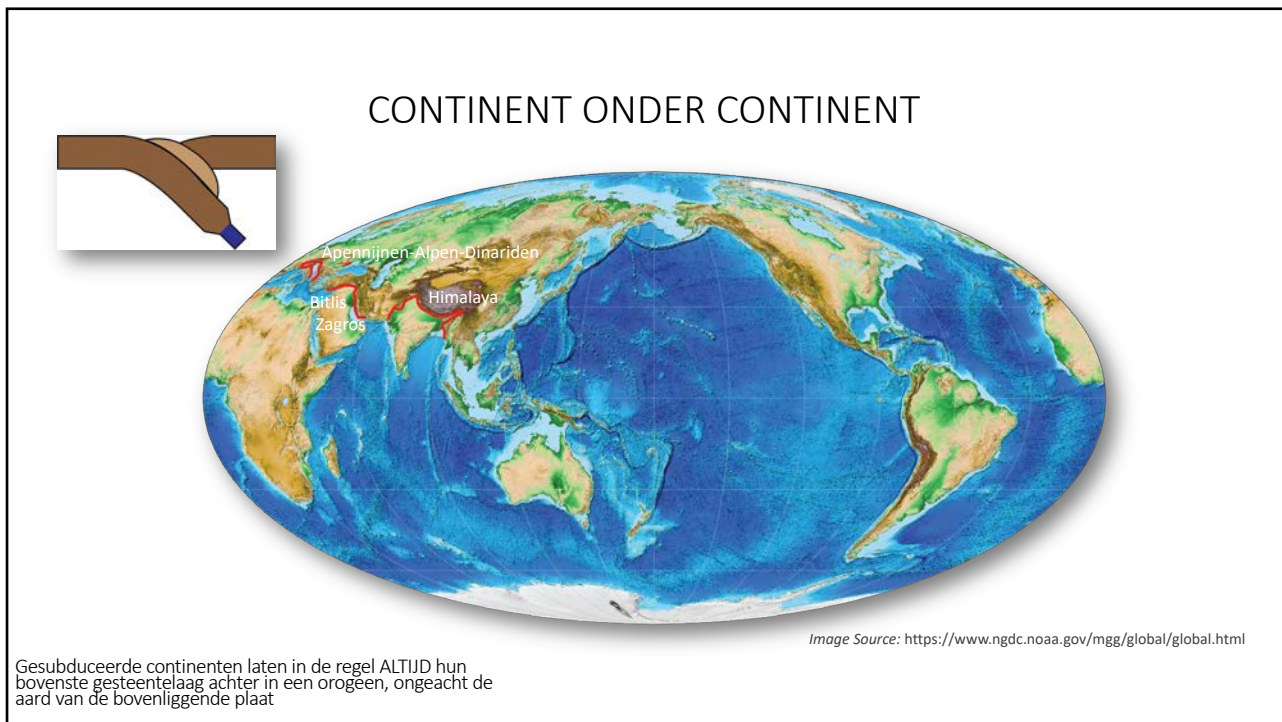


Image Source: <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>

Gesubduceerde continenten laten in de regel ALTIJD hun bovenste gesteentelaag achter in een orogeen, ongeacht de aard van de bovenliggende plaat

36



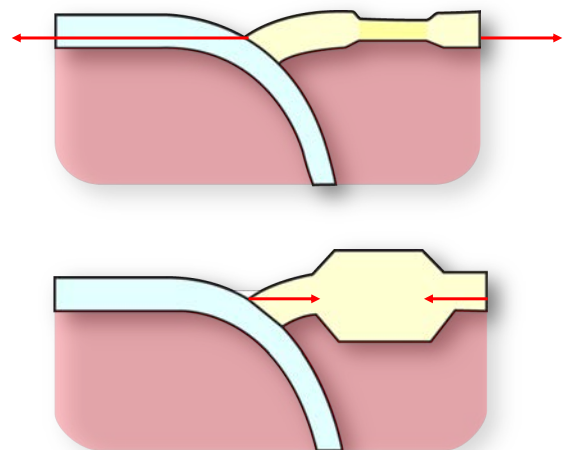
37

## Intraplaatdeformatie: combinatie van factoren

Intraplaat deformatie, dichtbij of ver van een plaatcontact, is een competitie tussen

- plaatbeweging
- en slab beweging

Ten opzichte van de mantel



38

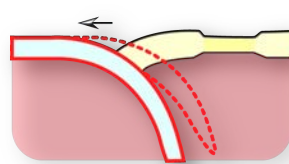
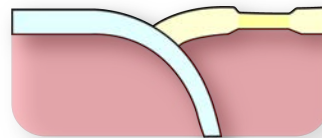


## Intraplaatextensie en 'roll-back'

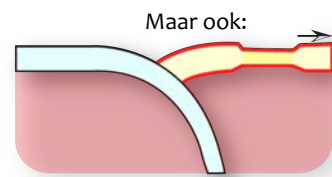
Slabs 'willen' zinken met een snelheid van  $\sim 20$  cm/jaar

Maar platen bewegen meestal 1-10 cm/jaar

Dus slabs hebben de neiging om 'terug te rollen'



Slab zinkt sneller dan dat de plaat subduceert: **roll-back**



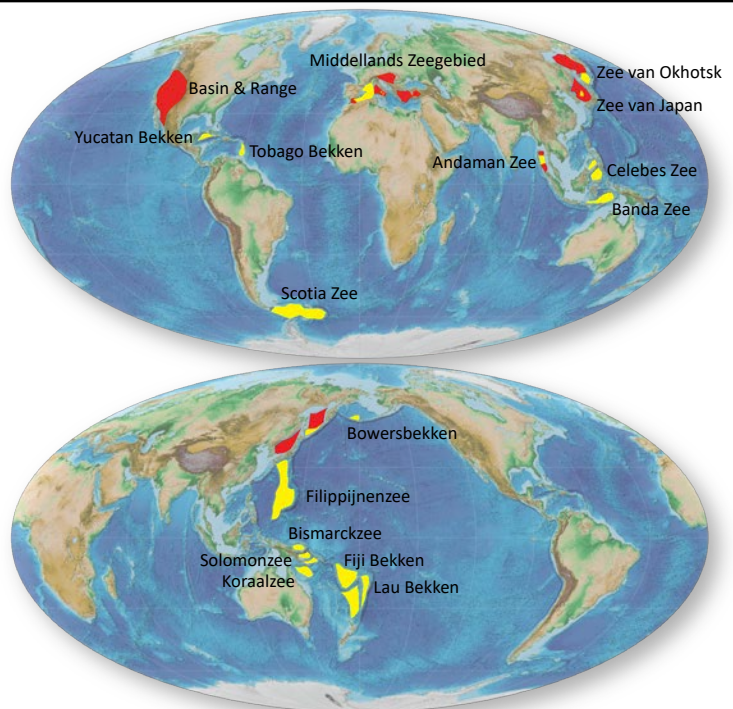
Bovenliggende plaat beweegt weg van de slab

39

## Back-arc bekkens van de laatste 65 miljoen jaar

Rood: continentaal

Geel: oceanisch



40

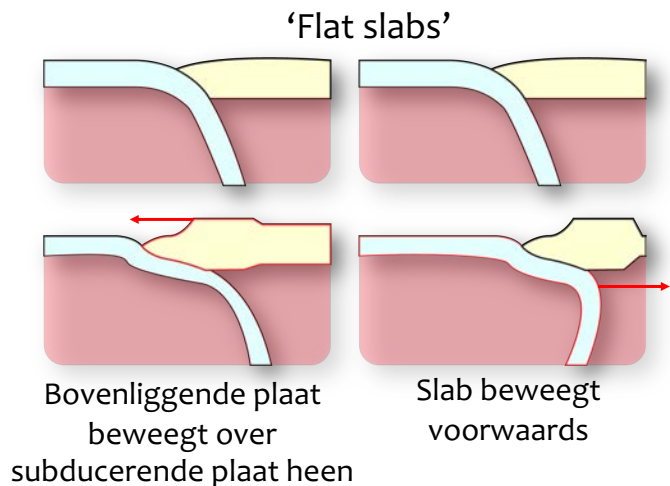


## Intraplaatverkorting, plateauvorming

Intraplaatverkorting komt door toename van frictie op plaatcontact, vaak omdat het oppervlak van het plaatcontact groter wordt (flat slab subductie)

Deze frictie verkort de bovenliggende plaat. Als die continentaal is ontstaat er een plateau.

Als die oceanisch is verkort de arc (en kan de subductiezone omklappen)



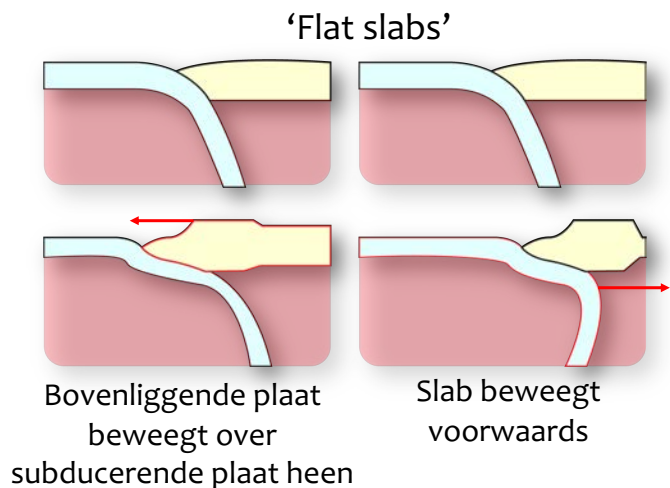
41

## Intraplaatverkorting, plateauvorming

Intraplaatverkorting komt door toename van frictie op plaatcontact, vaak omdat het oppervlak van het plaatcontact groter wordt (flat slab subductie)

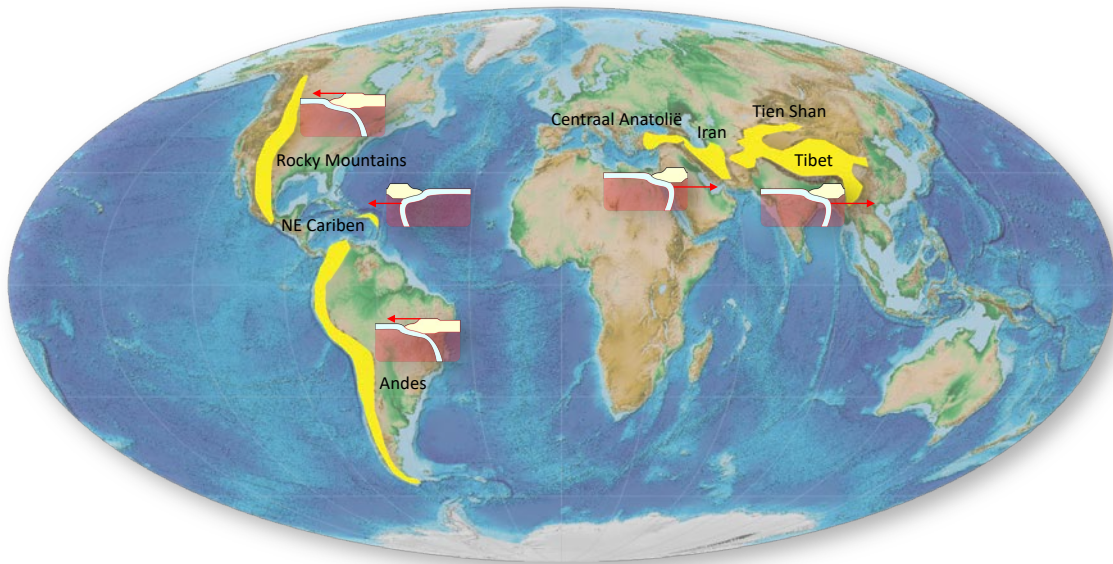
Deze frictie verkort de bovenliggende plaat. Als die continentaal is ontstaat er een plateau.

Als die oceanisch is verkort de arc (en kan de subductiezone omklappen)



42

## Plateaus uit het Cenozoicum

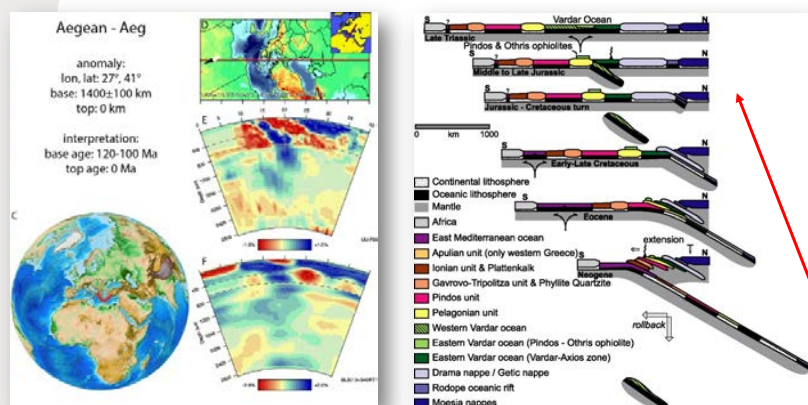


43

Tot slot: via geologie  
kunnen we slabs  
dateren

Begin van accretie,  
vulkanisme = Begin van  
subductie.

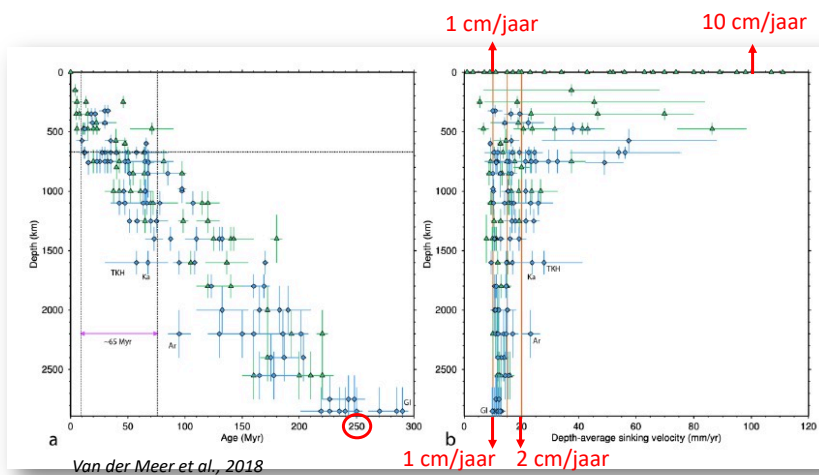
Einde van orogenese =  
einde van subductie



Van Hinsbergen et al., 2005

44

## Nieuw veld: Mantel'kinematica'



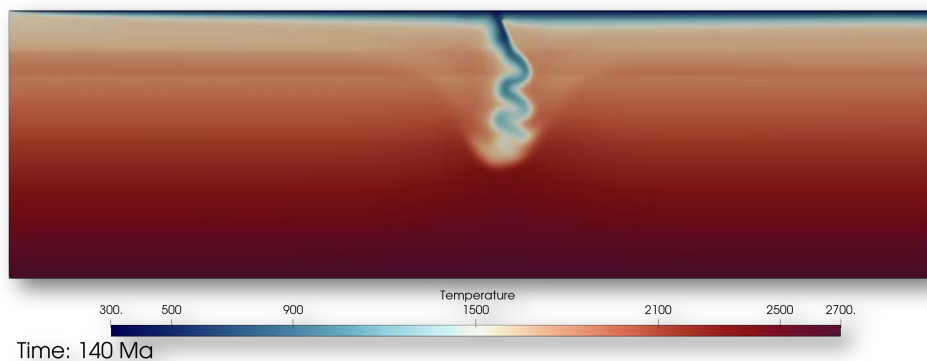
Vanaf 300-500 km diepte remmen slabs af

Bewegingen in de ondermantel: 10% van plaatbewegingen (maximumsnelheid van mantelconvectie)

45

## Implicatie:

Slab pull is geconcentreerd in de bovenste paarhonderd km van de mantel. Dieper in de mantel worden slabs verkort en verdikt.



Courtesy: Erik van der Wiel, UU, 2021

46

Greater Adria formation and destruction: Mediterranean Plate Tectonics

Mountains of the Future: applying experimental plate tectonics to understand our geological past

### Hades Underworld Explorer