

BREKEN MET HET BREUKGEBERGTE

EN ANDERE GEOLOGISCHE ONGEMAKKEN BIJ AK

KNAG Onderwijsdag -- 09 nov 2018
Dr Bernd Andeweg – Aardwetenschappen



Faculteit der
Bètawetenschappen

bernd.andeweg@vu.nl

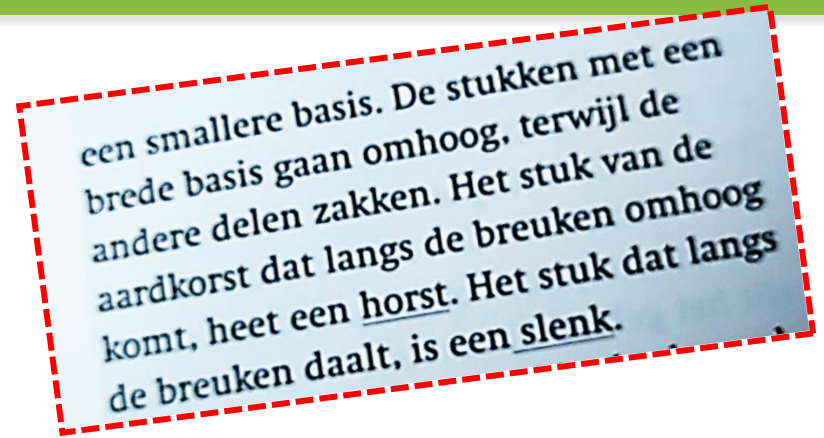


@berndandeweg

PROGRAMMA

- Breuk- of plooiingsgebergte?
- Mantel = vloeibaar?
- Convectie = drijvende kracht
plaattektoniek?

Disclaimer: ik wil niet zuur overkomen. Maar soms wordt een aardwetenschapper te ver onder spanning gezet. En dan breekt er wel eens wat.



Expres wat minder goede figuren met rode stippelrand: dat zijn foto's van schoolboeken. Niet helemaal correct. Of helemaal niet...

BREUK- OF PLOOIINGSGEBERGTE?

een smallere basis. De stukken met een brede basis gaan omhoog, terwijl de andere delen zakken. Het stuk van de aardkorst dat langs de breuken omhoog komt, heet een horst. Het stuk dat langs de breuken daalt, is een slenk.

voorkomen, wil dat zeggen dat de structuren na de vervorming zijn opgeheven. Gesteente dat aan de oppervlakte ligt en uitgerekt of ingedrukt wordt, zal breken. Langs een breuk in de aardkorst zullen delen van de aardkorst, afhankelijk van de druk, omhooggeduwd worden of wegzakken. De omhooggeduwde delen heten

breukgebergte

Een opheffing van de aardkorst langs breuken, boven een opstijgende convectiestroom.

slenk genoemd.

Op deze wijze ontstaan hele gebergten. Aan de randen van platen kunnen grote gebieden door de druk worden vervormd. Hierbij kunnen **plooiingsgebergten** en **breukgebergten** ontstaan. De Alpen zijn een voorbeeld van zo'n plooiingsgebergte.

BREUKGEBERGTE?



BREUKGEBERGTE?

Glarus thrust, Tsingelhörner, Alpen

Permo-Triassic

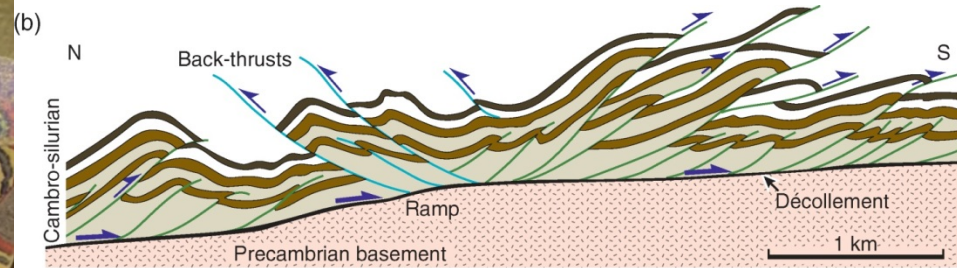
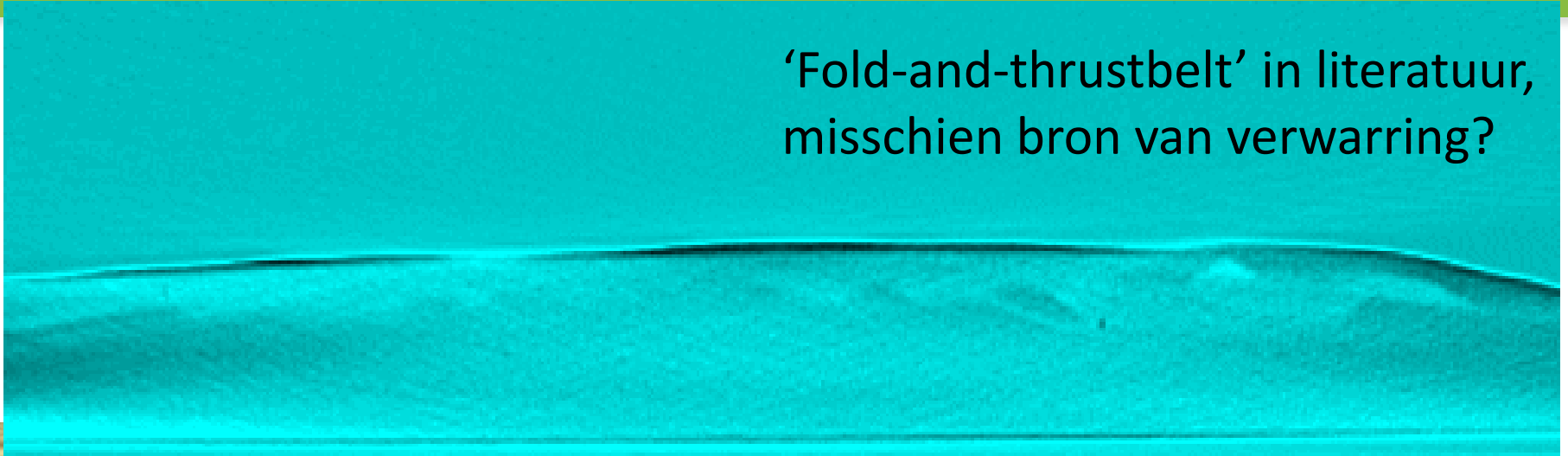
(~250 miljoen jaar oud)

Meer dan 10km verplaatsing!

óp Mesozoische kalkstenen
(< 160 miljoen jaar)

PLOOI- ÉN OPSCHUIVINGSGEBERGTE

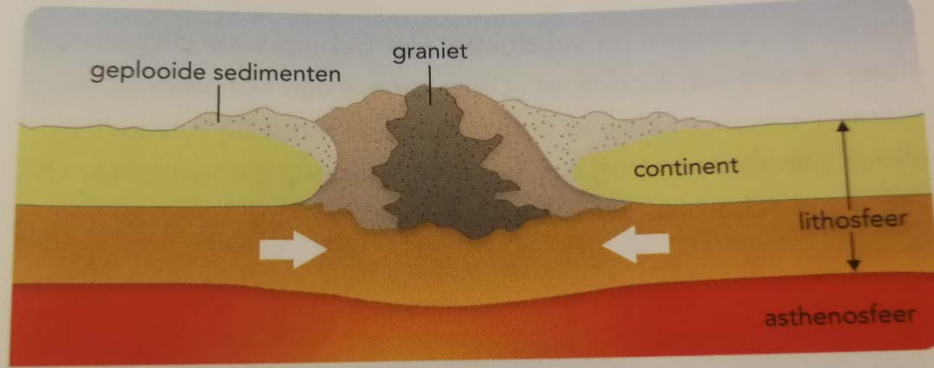
‘Fold-and-thrustbelt’ in literatuur,
misschien bron van verwarring?



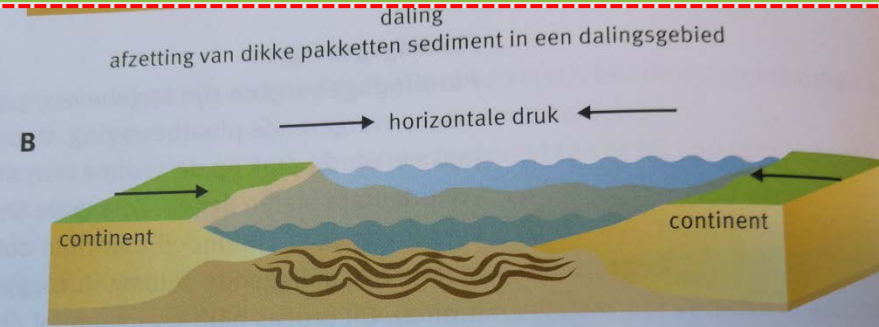
PLOOIINGSGEBERGTE? NIET ZO..

Helemaal breukloos...

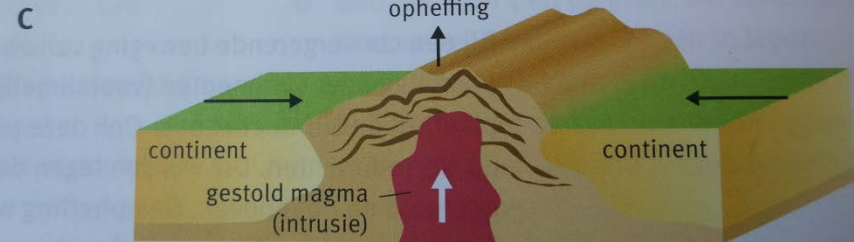
'artist impression'...



FIGUUR 1.19 Convergentie van continentale platen.



plooiing van de sedimentlagen door horizontale druk



opheffing en gebergtevorming;
bij de opheffing dringt magma in de kern van het gebergte

BRON 2 Schematische weergave van de vorming van een plooiingsgebergte.

PLOOIINGSGEBERGTE? NIET ZO..

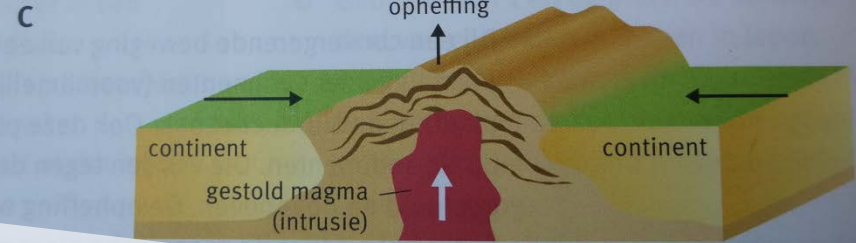
Helemaal breukloos...
'artist impression'...



Waar blijft de oranje laag van de lithosfeer? = mantel = zeker geen granietvormend deel.
Wat is bruine naast graniet?

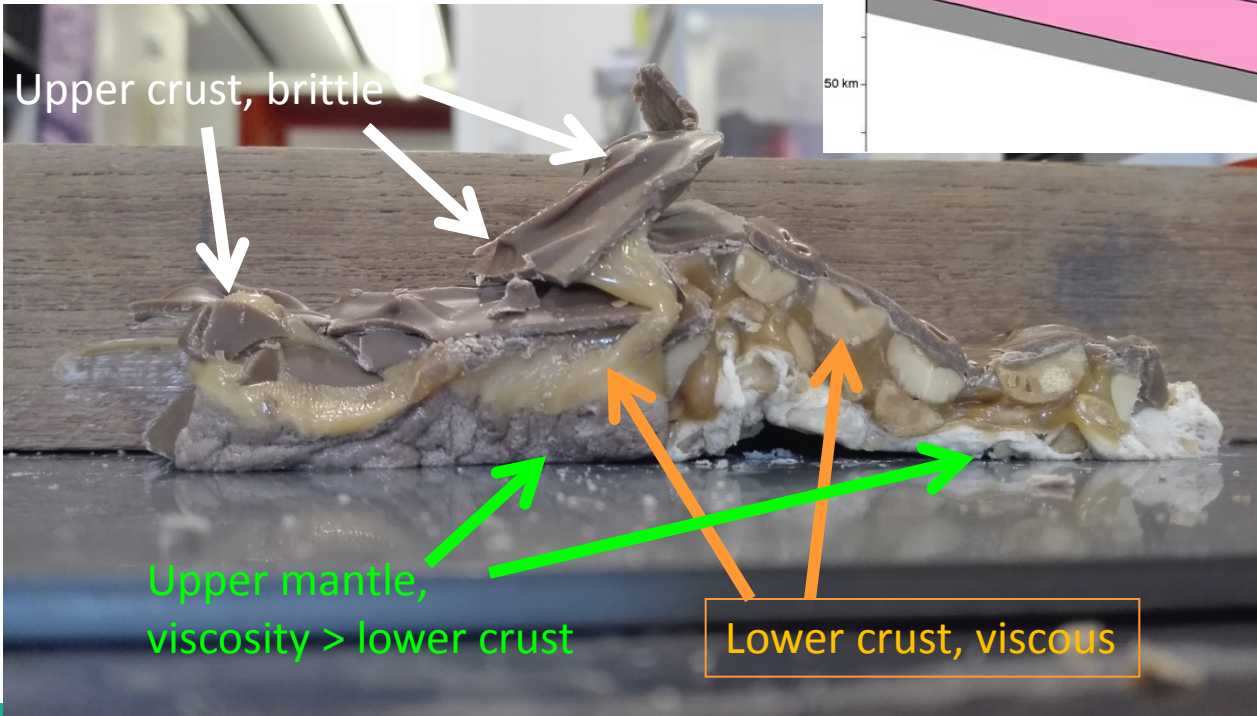
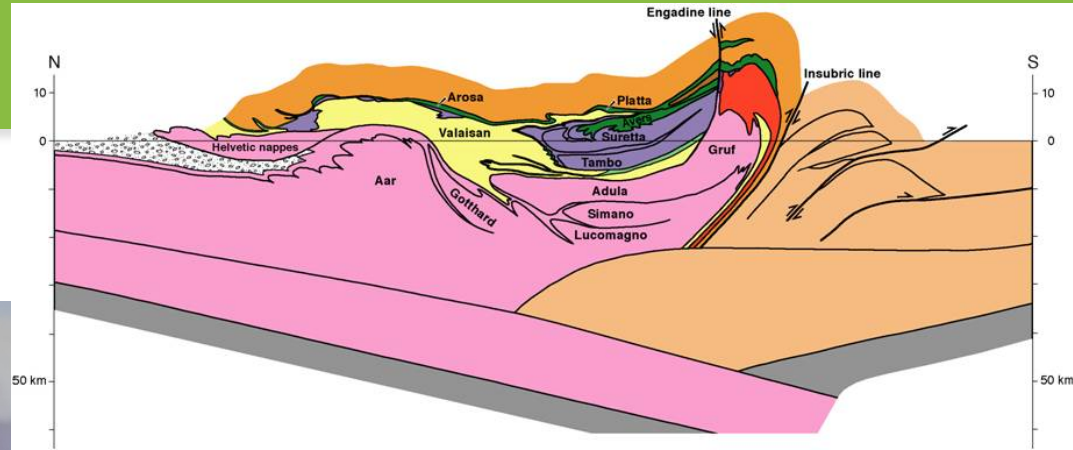
Lastig: je drukt het al in elkaar en gaat ook nog materiaal toevoegen?
Graniet: resultaat van subductie

Liggen sedimenten onder continent?
Hoe naderen continenten elkaar, wat gebeurt er in de diepte?



BRON 2: Schematische weergave van de vorming van een plooiingsgebergte.

BREKEN ÉN PLOOIEN



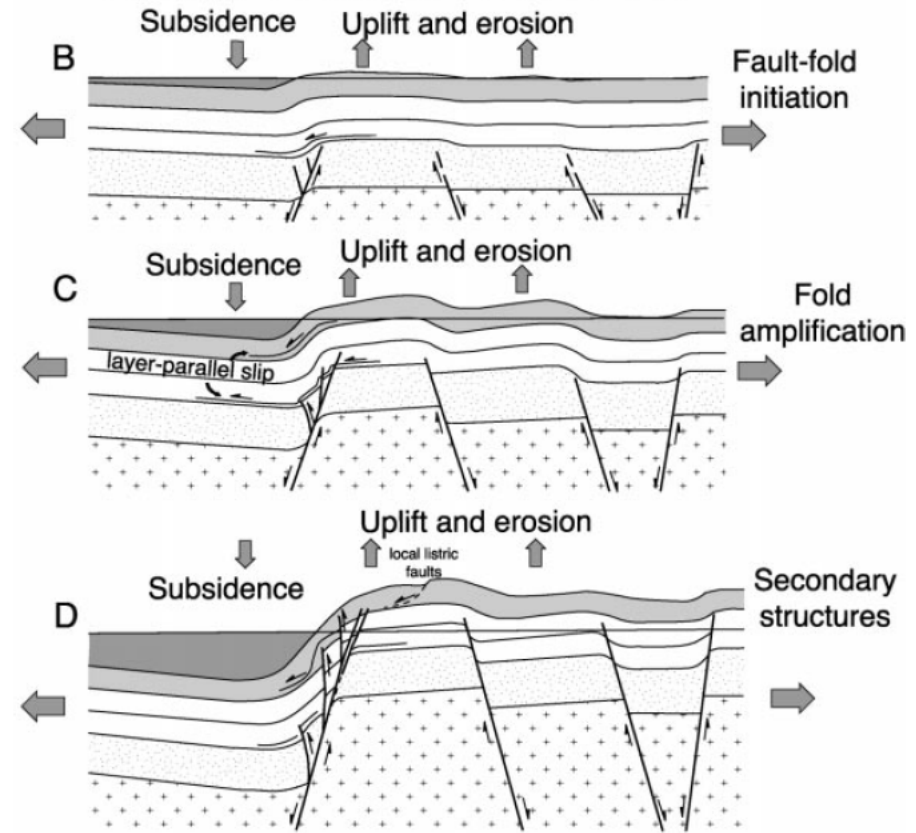
Gebergte zonder breuken? Vrijwel onmogelijk...
Er gaat materiaal de diepte in!

PLOOIINGSGEBERGTE?

Open synclines:



Rand van de Rode Zee..





Breuken duidelijk
zichtbaar
Breukgebergte!

Breukgebergte?!



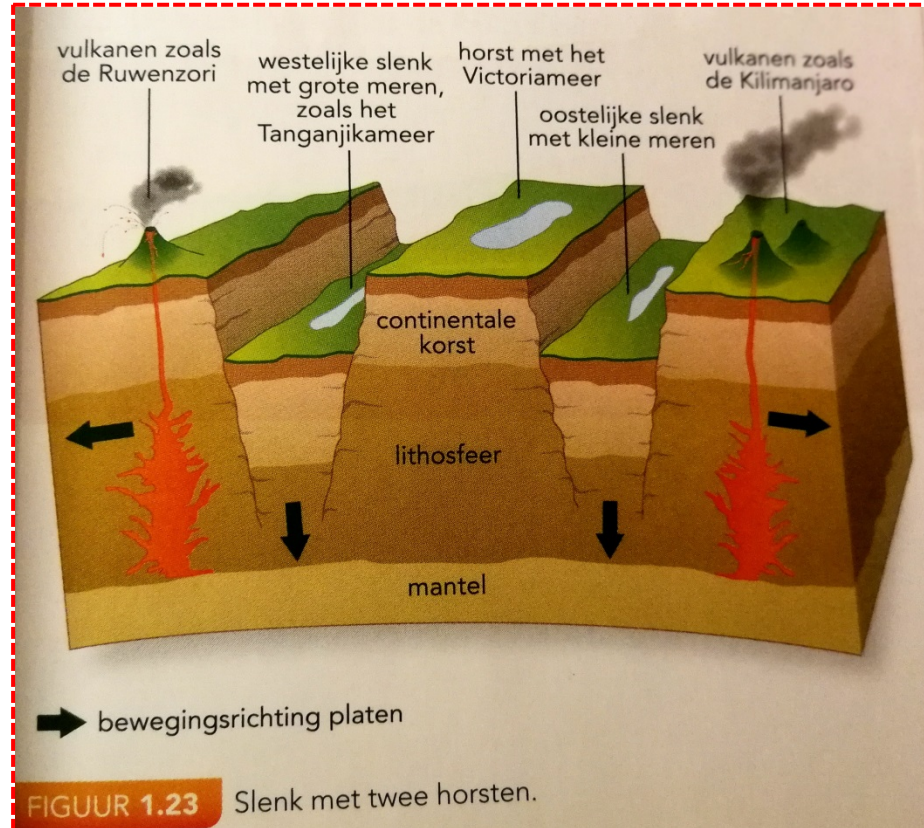
BREUKGEBERGTE DUS?!

Niet helemaal prettig:

-Onderverdeling korst- lithosfeer-
mantel

Gaat nog veel fout

Voor we verder kunnen...



INDELING GELAAGDE AARDE

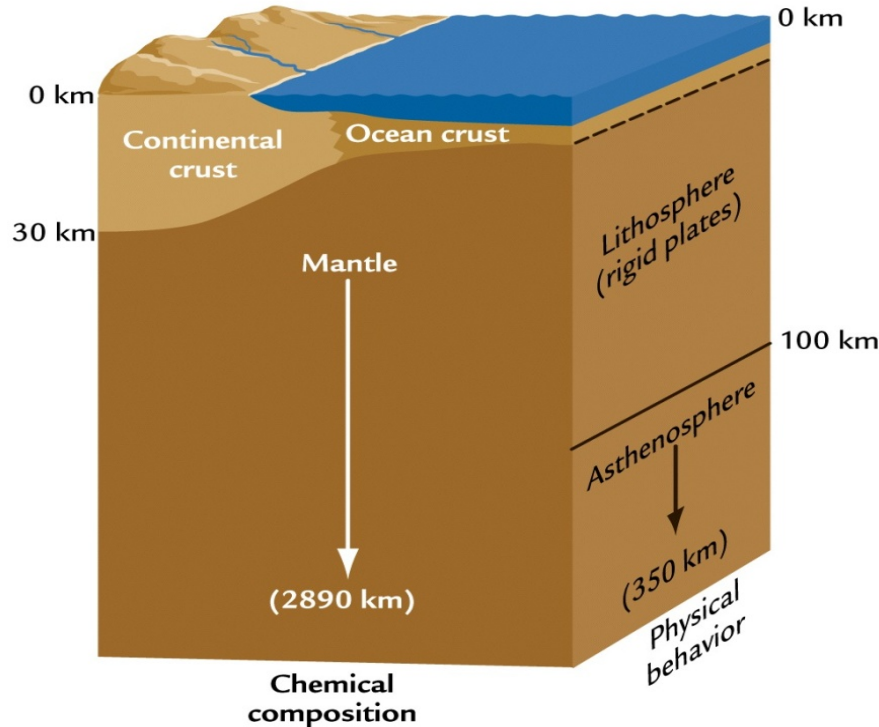
chemie

versus

fysische gedrag

SiO_2 rijk

SiO_2 'arm'



breekt

'vloeit'

Lithosfeer bestaat dus uit korst en bovenste deel van mantel dat zich dus nog bros gedraagt!

INDELING GELAAGDE AARDE

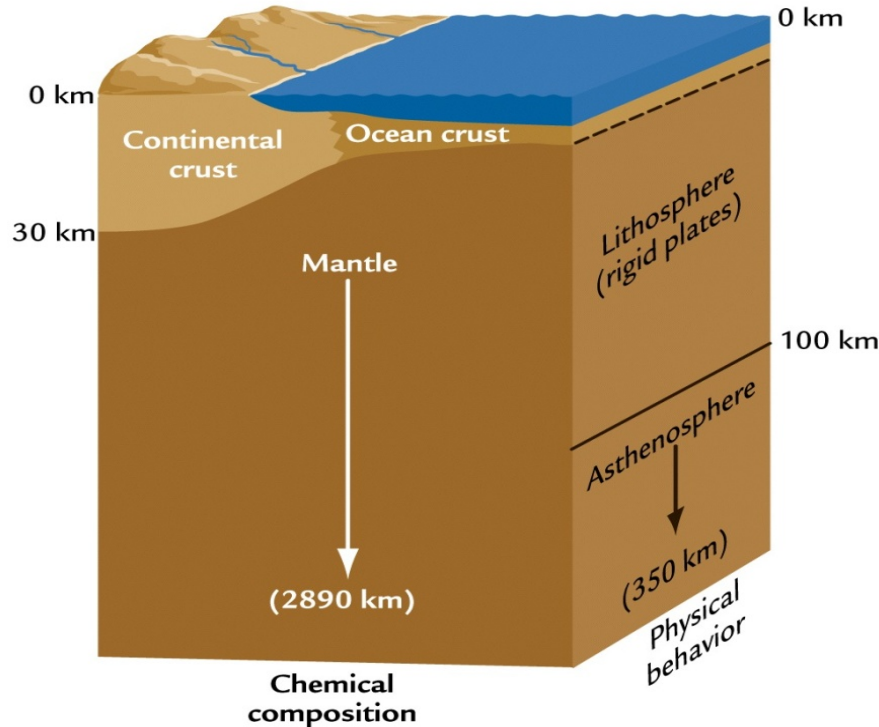
chemie

SiO_2 rijk

SiO_2 'arm'

versus

fysische gedrag



breekt

'vloeit'

Lithosfeer bestaat dus uit korst en bovenste deel van mantel dat zich dus nog bros gedraagt!

~100km
Grens lithosfeer-astenosfeer?

GRENS LITHOSFEER-ASTENOSFEER

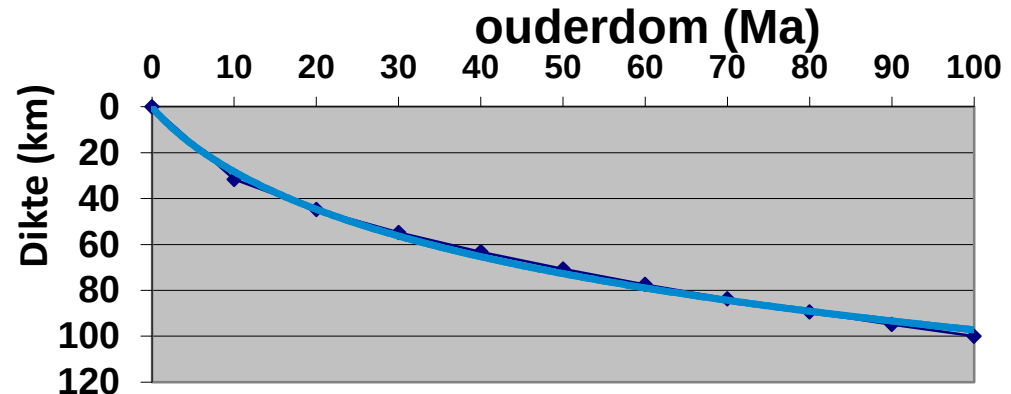
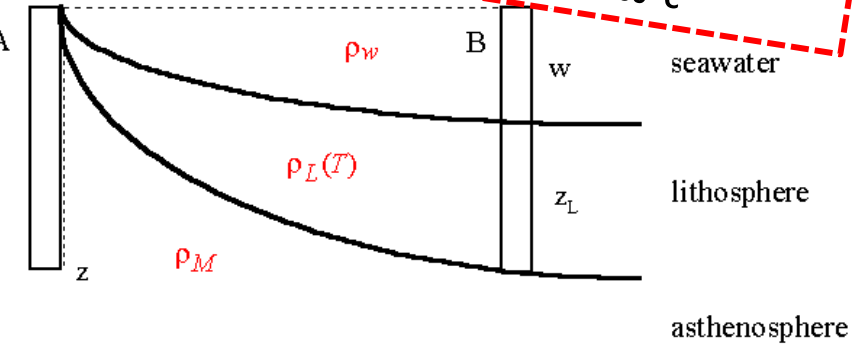
Grens = verandering in gedrag. Thermisch bepaald!

Bij 1200-1300°C smelt olivijn deels:
mantel verliest sterkte

Oceanische korst en mantel koelt af,
weg van de mid-oceanische rug. Dus
dikte lithosfeer = neemt toe met
ouderdom!

Temperatuur in continent afhankelijk
van laatste warmte-puls (vulkanische
activiteit of rift!) = **thermal age**

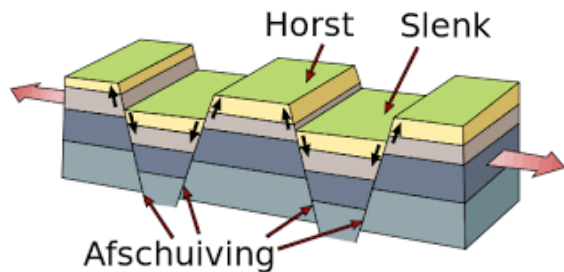
"Dan komt de aardmantel, een laag die bestaat uit veel magnesium en ijzer. Het is daar iets minder warm, maar toch nog altijd tussen de 2.800 (bij de kern) en 1.800 °C"



B79 Horsten en slenken

► Door **endogene krachten** ontstaan er barsten in de **aardkorst**. Langs zo'n breuklijn kunnen stukken van de aardkorst horizontaal langs elkaar gaan schuiven. Soms schuiven ze in verticale richting langs elkaar. De aardkorst komt dan omhoog of omlaag. De omhooggeduwde stukken heten **horsten**. Het weggezakte deel heet **slenk**. De gebergten die ontstaan door verticale verschuivingen, noem je **breukgebergten**.

● In Duitsland stroomt de Rijn tussen Basel en Mannheim door een slenk. De gebergten aan weerszijden van het Rijndal zijn horsten: de Vogezes en het Zwarte Woud.



Breukgebergten

Een **breukgebergte** is een opheffing van de breuken, boven een opstijgende convectiestroom. Opstijgende convectiestroom duwt de aardkorst omhoog. Deze aardkorst wordt steeds verder omhoog gedrukt totdat de aardkorst uiteindelijk breekt uiteindelijk in stukken. Deze stukken worden op het magma. De (vaak langgerekte) stukken die langs breuken naar beneden zakken, worden genoemd. Deze zakkende beweging zorgt voor een tegengestelde beweging van stukken aardkorst die langs de breuken omhoogkomen: **horsten** (zie bron 3). Dit stijgen en dalen van de stukken aardkorst wordt isostatische beweging genoemd. Isostatische bewegingen ontstaan door het zoeken naar een evenwicht. De Dode Zee is een duidelijk

Daar waar twee continentale platen uit elkaar drijven, ontstaan in Oost-Afrika, kunnen langs de breukzones **breukgebergten** ontstaan. Een deel van het gebied langs de breuk komt omhoog of zakt juist weg. Dit worden **horsten en slenken** genoemd.

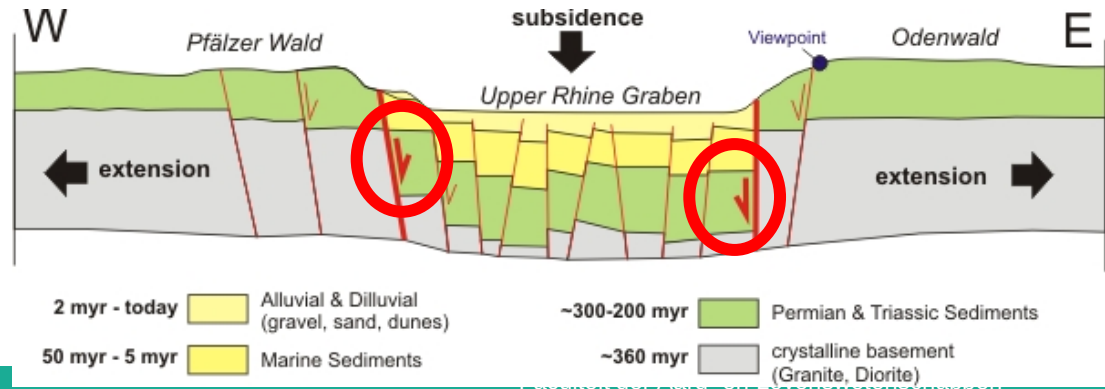
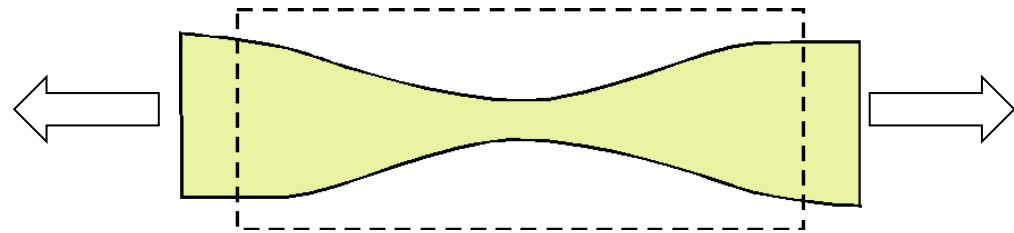


REK? DUNNER!!



Als je iets uitrekt, wordt het dunner. Zakt de bovenkant in en komt de basis wat omhoog.

Maar géén beweging langs breuken omhoog!



B79 Horsten en slenken

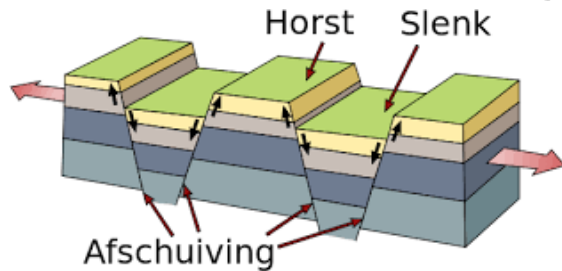
► Door **endogene krachten** ontstaan er barsten in de **aardkorst**. Langs zo'n breuklijn kunnen stukken van de aardkorst horizontaal langs elkaar gaan schuiven. Soms schuiven ze in verticale richting langs elkaar. De aardkorst komt dan omhoog of omlaag. De omhooggeduwde stukken heten **horsten**. Het weggezakte deel heet **slenk**. De gebergten die ontstaan door verticale verschuivingen, noem je **breukgebergten**.

● In Duitsland stroomt de Rijn tussen Basel en Mannheim door een slenk. De gebergten aan weerszijden van het Rijndal zijn **horsten**: de Vogezen en het Zwarte Woud.

Daar waar twee continentale platen uit elkaar drijven, zoals in Oost-Afrika, kunnen langs de breukzones **breukgebergten** ontstaan. Een deel van het gebied langs de breuk komt omhoog of zakt juist weg. Dit worden **horsten en slenken** genoemd.

Relatieve beweging langs breukvlakken

Horst: relatief hoog

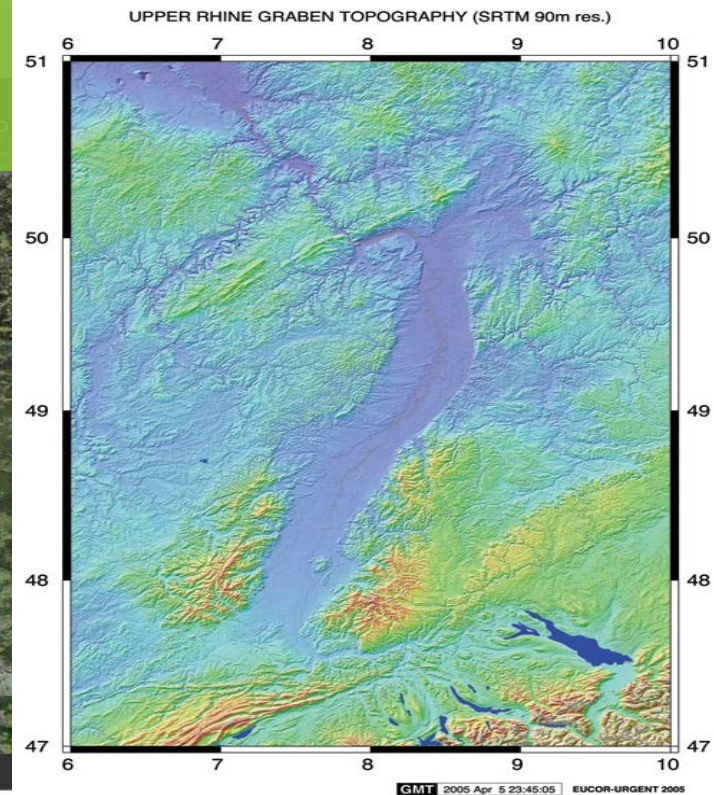


Breukgebergten

Een **breukgebergte** is een opheffing van de breuken, boven een opstijgende convectiestroom. Opstijgende convectiestroom duwt de aardkorst omhoog. Deze aardkorst wordt steeds verder gebroken. Deze stukken worden uiteindelijk in stukken gebroken. Deze stukken zakken op het magma. De (vaak langgerekte) breuken die langs breuken naar beneden zakken, worden genoemd. Deze zakkende beweging zorgt voor een tegengestelde beweging van stukken aardkorst die langs de breuken omhoog komen: **horsten** (zie bron 3). Dit stijgen en dalen van de stukken aardkorst wordt isostatische beweging genoemd. Isostatische bewegingen ontstaan door het zoeken naar een evenwicht. De Dode Zee is een duidelijk



JA MAAR.. HO EENS...



**En dit dan, meneer de kritische geoloog?!
Hoe zit dat dan?**



LOKALE ISOSTASIE

Evenwicht: op bepaalde diepte (depth of compensation) hebben twee kolommen naast elkaar hetzelfde gewicht



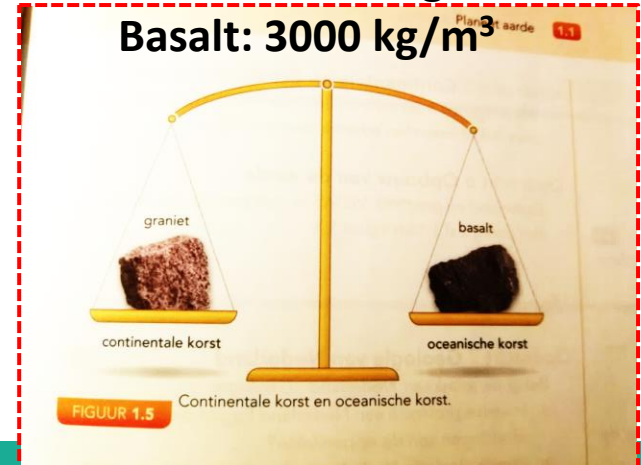
...en, boven een opstijgende convectiestroom. De opstijgende convectiestroom duwt de aardkorst die erop ligt omhoog. Deze aardkorst wordt steeds verder opgerekt en breekt uiteindelijk in stukken. Deze stukken drijven als het ware op het magma. De (vaak langgerekte) stukken aardkorst die langs breuken naar beneden zakken, worden **slenken** genoemd. Deze zakkende beweging zorgt voor een tegengestelde beweging van stukken aardkorst die langs de breuken omhoogkomen: **horsten** (zie bron 3). Dit stijgen en dalen van de stukken aardkorst wordt isostatische beweging genoemd. Isostatische bewegingen ontstaan door het zoeken naar een evenwicht. De Dode Zee is een duidelijk

Maar niet dit evenwicht...

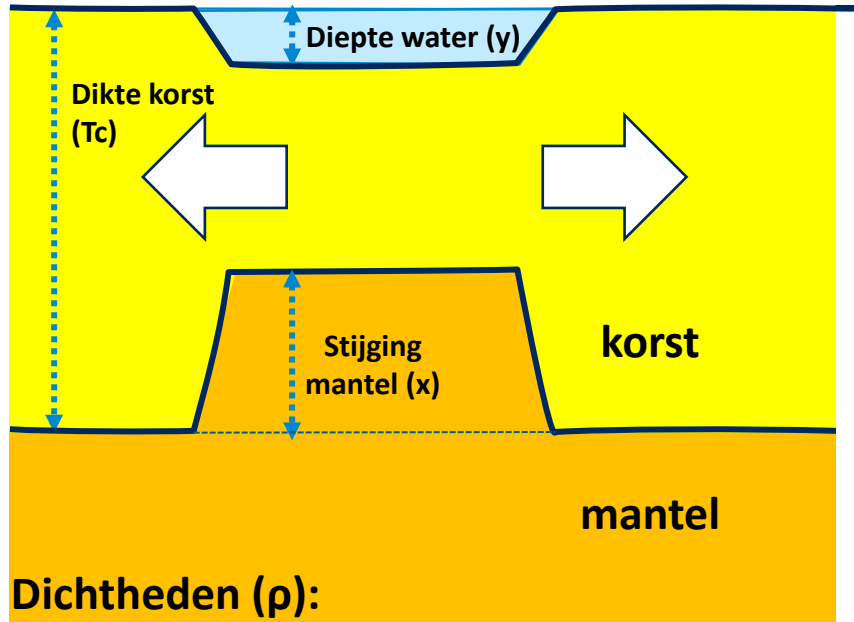
Dichtheden (ρ):

Graniet: 2750 kg/m^3

Basalt: 3000 kg/m^3



LOKALE ISOSTASIE RIFT



Dichtheden (ρ):

Water: 1000 kg/m^3 (ρ_w)

Continentale korst: 2750 kg/m^3 (ρ_c)

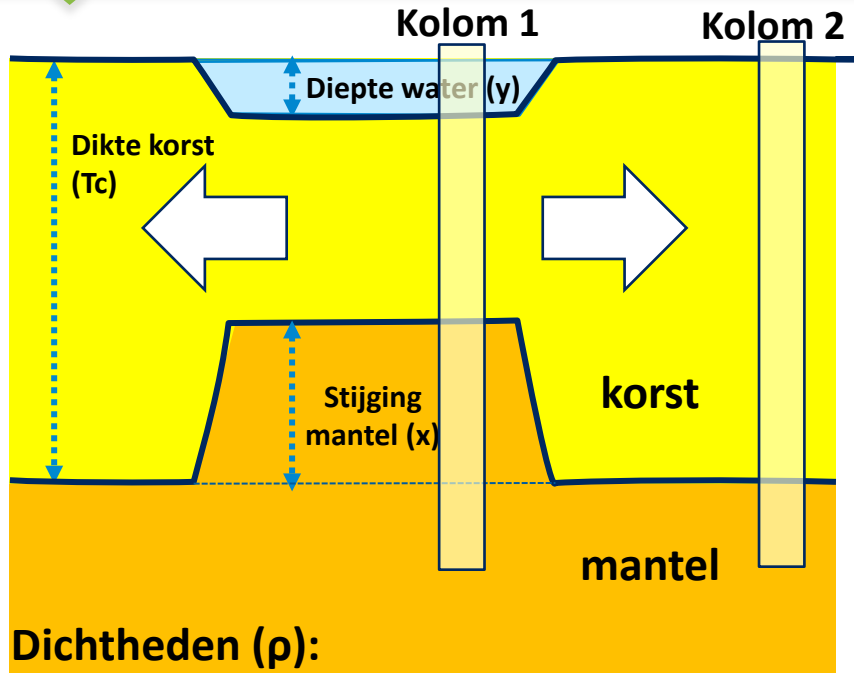
Mantel: 3300 kg/m^3 (ρ_m)

Aan oppervlak: water (lichter)
neemt plaats korst in.

Dus om te compenseren in diepte in
plaats van korst, mantel
(zwaarder)

**Opdracht: rift van 2 kilometer diep,
gevuld met water. Hoeveel komt
mantel omhoog?**

LOKALE ISOSTASIE RIFT



Dichtheden (ρ):

Water: 1000 kg/m^3 (ρ_w)

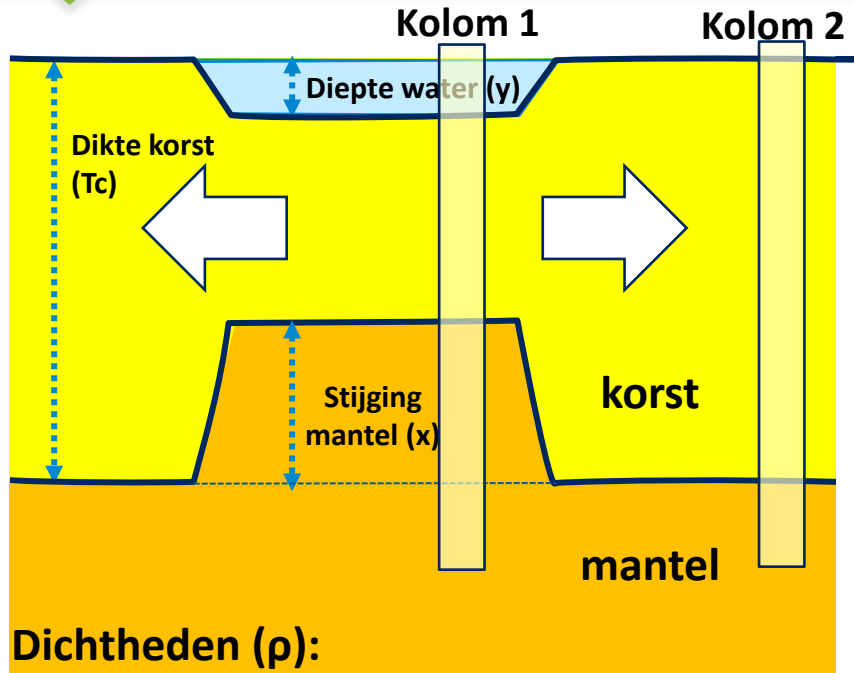
Continental korst: 2750 kg/m^3 (ρ_c)

Mantel: 3300 kg/m^3 (ρ_m)

Gewicht kolom 1 moet gelijk zijn aan gewicht kolom 2!

Wat is het verschil tussen beide?

LOKALE ISOSTASIE RIFT



Dichtheden (ρ):

Water: 1000 kg/m^3 (ρ_w)

Continental crust: 2750 kg/m^3 (ρ_c)

Mantel: 3300 kg/m^3 (ρ_m)

Gewicht kolom 1 moet gelijk zijn aan gewicht kolom 2!

Wat is het verschil tussen beide?

Diepte water * verschil in gewicht korst-water =
Stijging mantel * verschil gewicht mantel-korst
 $y * (\rho_c - \rho_w) = x * (\rho_m - \rho_c)$

$$\rightarrow x = y * (\rho_c - \rho_w) / (\rho_m - \rho_c)$$

$$x = 2\text{km} * (2750 - 1000) / (3300 - 2750) = 6,36\text{km}$$

Mantel komt dus meer dan 3x meer omhoog

ISOSTASIE

Verschillen in dichtheid

Verhoudingen en diktes zijn dus ook niet zomaar zo als ze zijn...

Continentale korst, top ~zeeniveau:
dan circa 30km dik en in evenwicht
met kolom er naast

Oceaan: niet 12-15km diep

Oceanische korst: niet 12-14km dik

Diepte oceaan neemt toe met
ouderdom, van ~2,5km bij MOR tot
volledig afgekoeld ~5.5km diep.

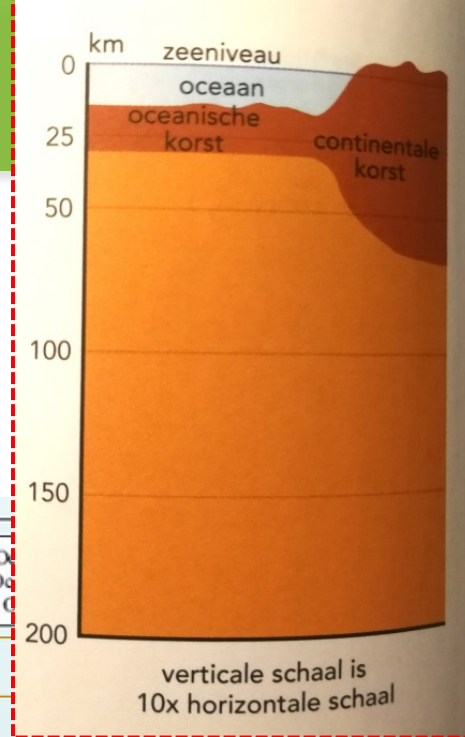
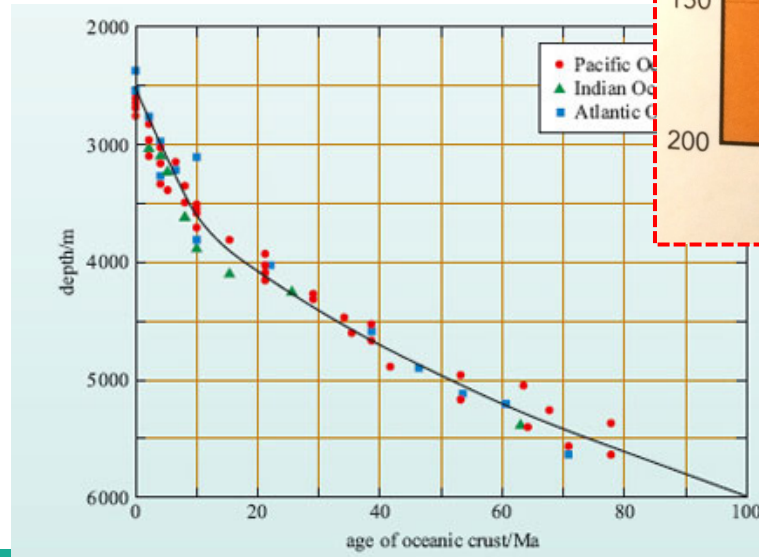
Dichtheden (ρ):

Water: 1000 kg/m^3

Graniet: 2750 kg/m^3

Basalt: 3000 kg/m^3

Mantel: 3300 kg/m^3

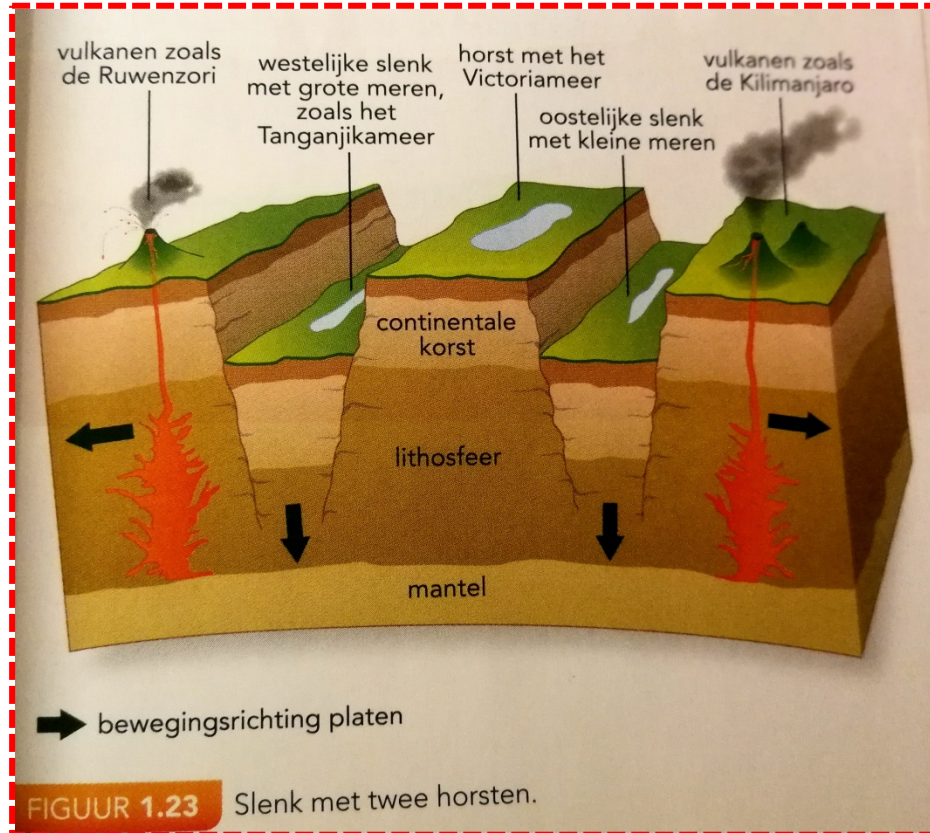


ISOSTASIE

Niet helemaal prettig:

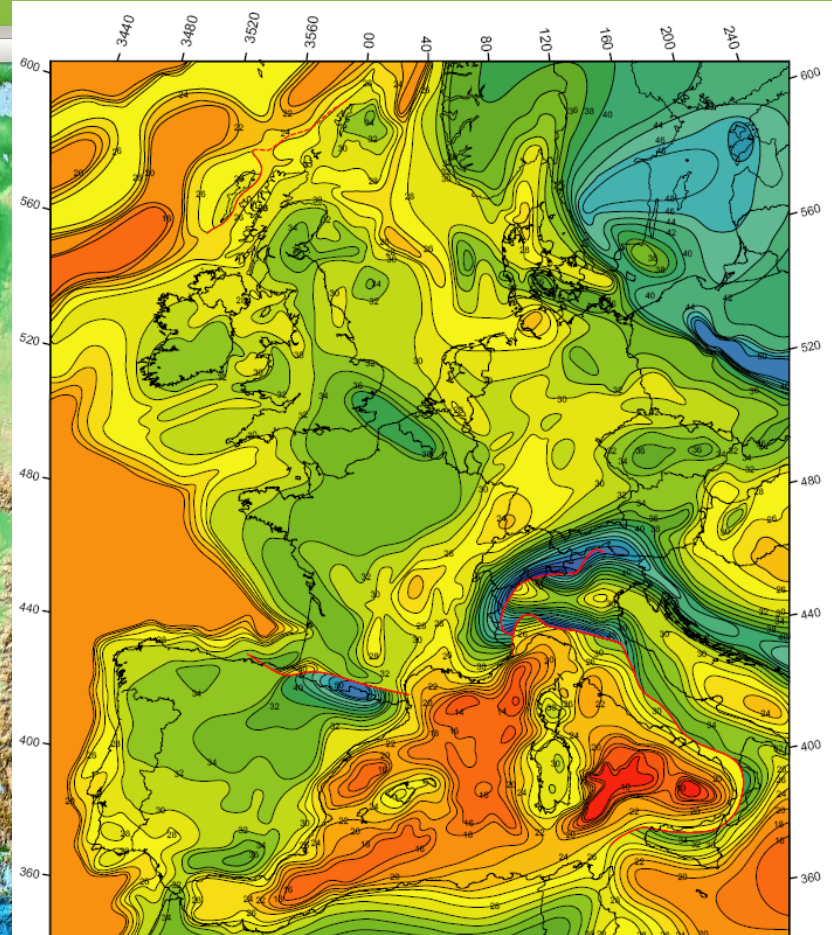
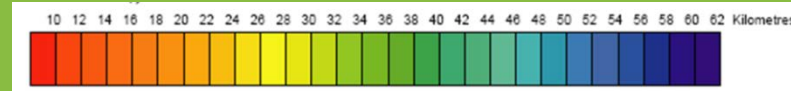
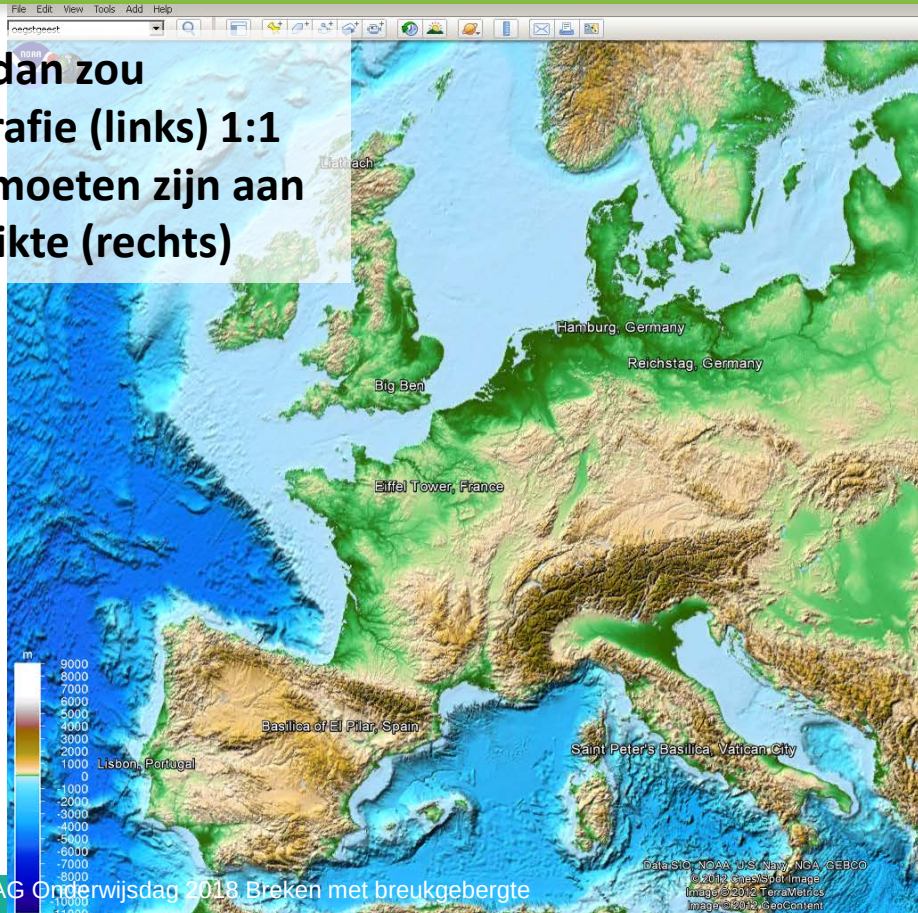
✓ -Onderverdeling korst- lithosfeer-
mantel

✓ -Waar slenk daalt, stijgt mantel



MAAR.. GEEN LOKALE ISOSTASIE

Want dan zou
topografie (links) 1:1
gelijk moeten zijn aan
korstdikte (rechts)

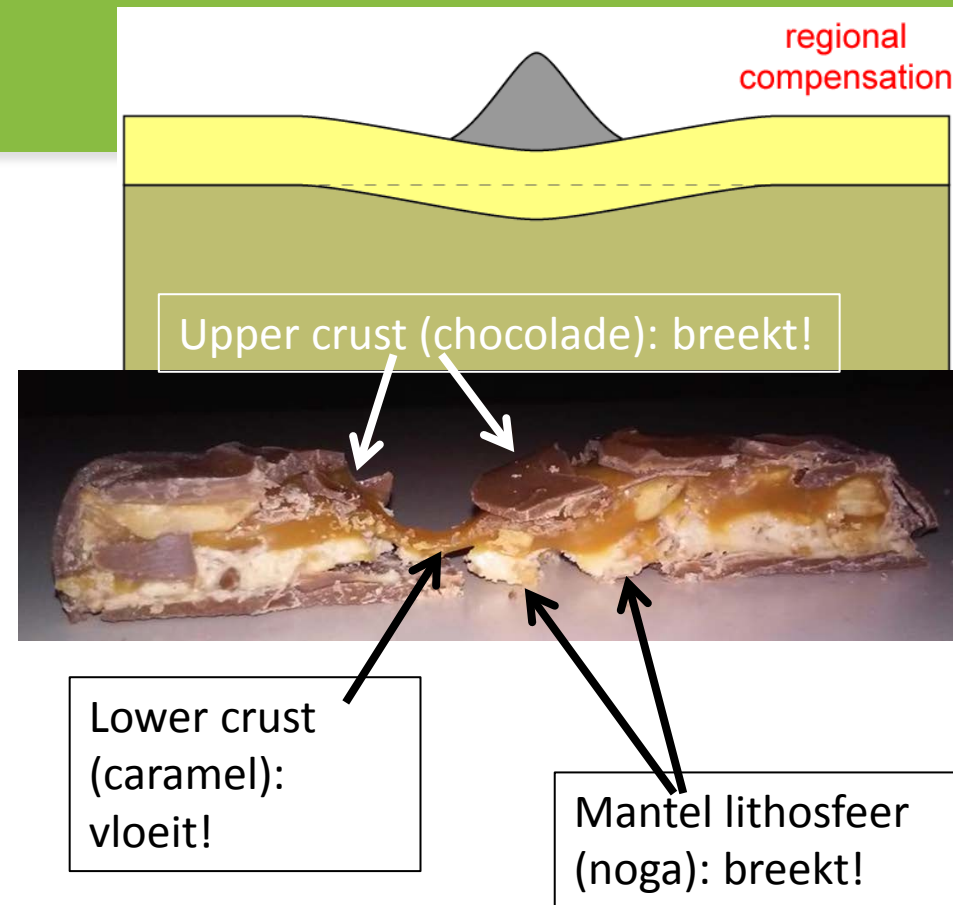


REGIONALE ISOSTASIE

Want: lithosfeer heeft sterkte en
dus geen 1:1 lokale
compensatie:

Regionale isostasie!

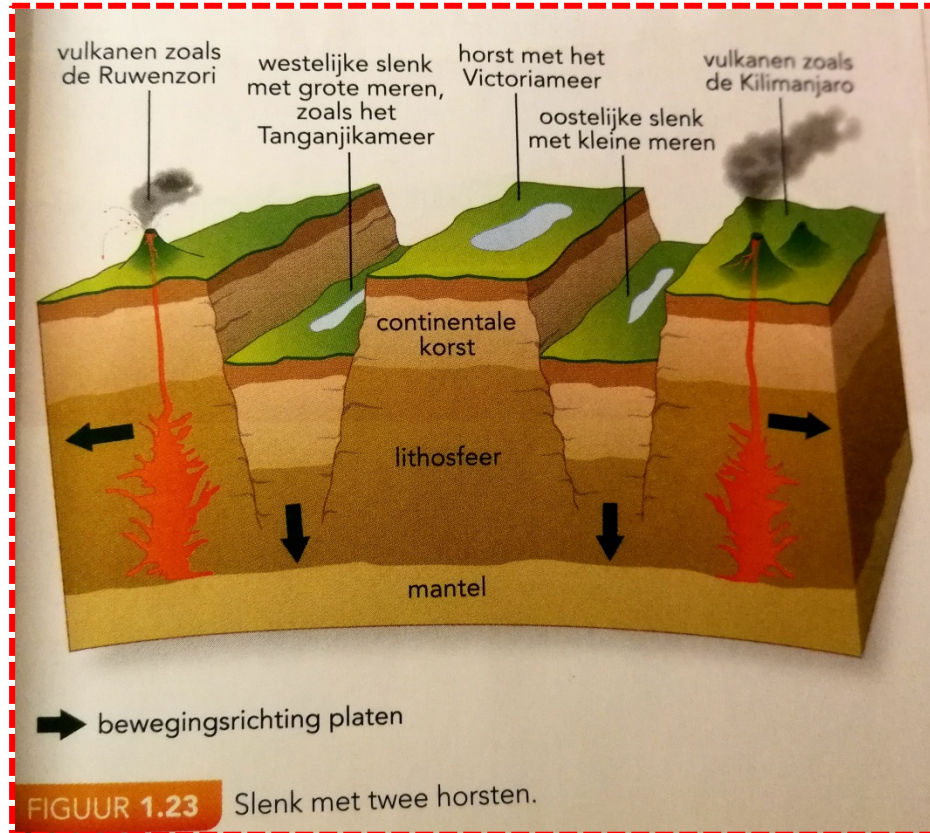
Alles rekt op zijn eigen manier
aan oppervlak: breken, in diepte:
vloeien, verdunning over een
groter deel van de rift



BREUKEN MET DIEPTE?

Niet helemaal prettig:

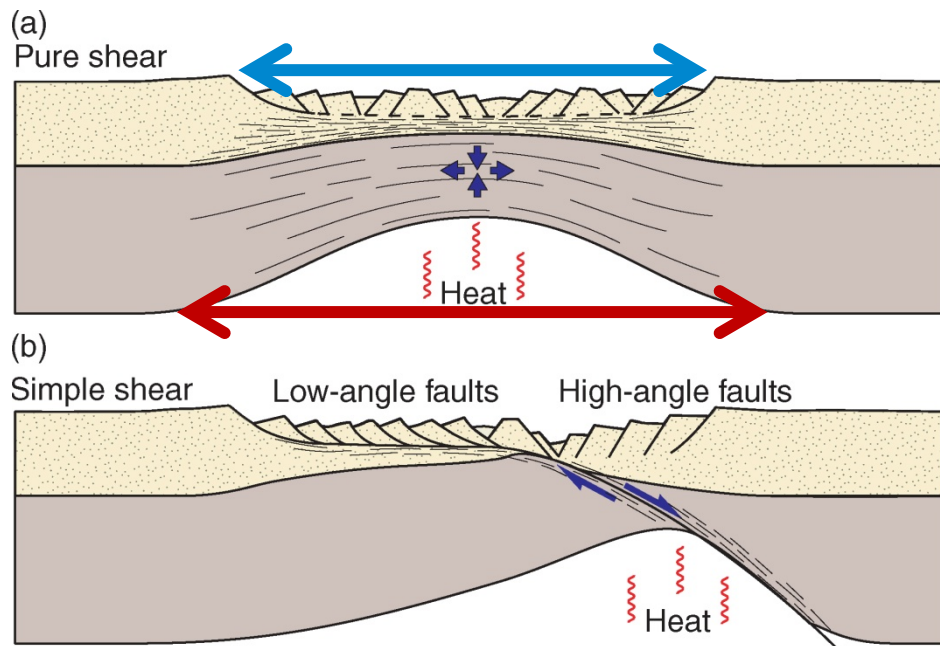
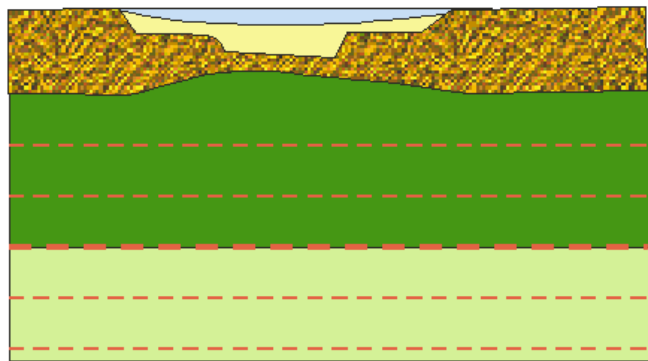
- ✓ -Onderverdeling korst- lithosfeer- mantel
- ✓ -Waar slenk daalt, stijgt mantel
- ✓ -Breuken met diepte: houden dus niet ineens op, gaan over van breuk naar 'shear zone' naar 'vloeien'



WAAROM TOCH TOPOGRAFIE?!

Verlies aan gewicht **in rift aan oppervlak** (*lucht ipv korst!*)
gecompenseerd in diepte over **breder zone** (*mantel ipv korst*)

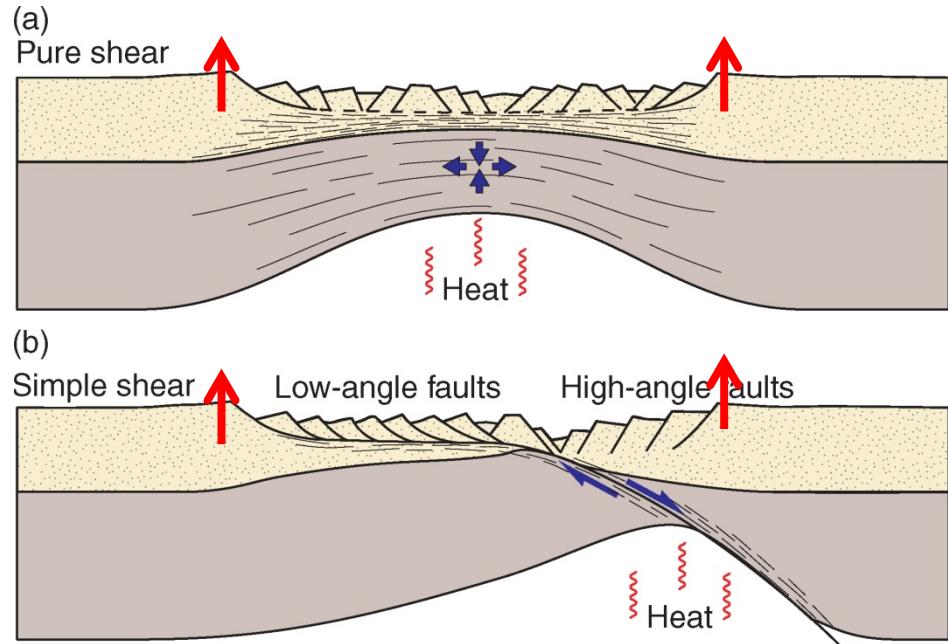
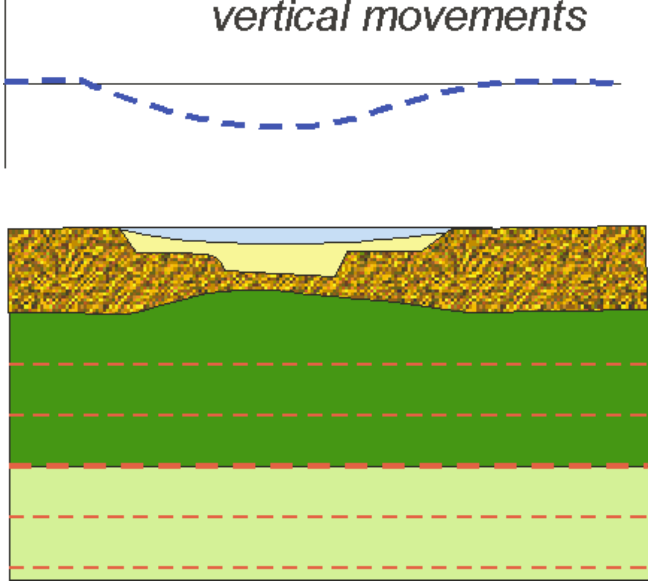
vertical movements



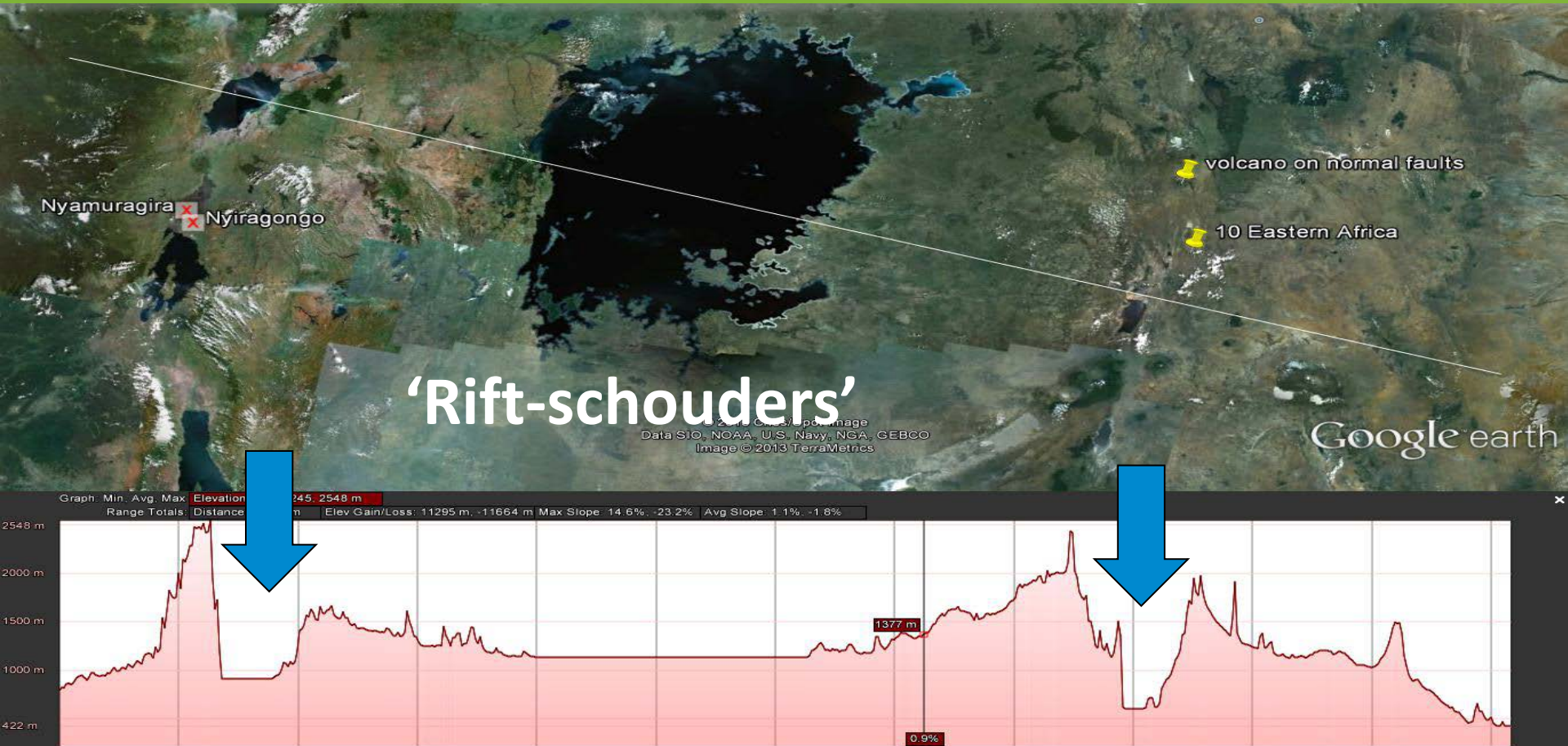
DAAROM TOCH TOPOGRAFIE!!

Gevolg: randen komen omhoog, hoger dan oorspronkelijke hoogte en staan wat schuin weg van centrum rift.

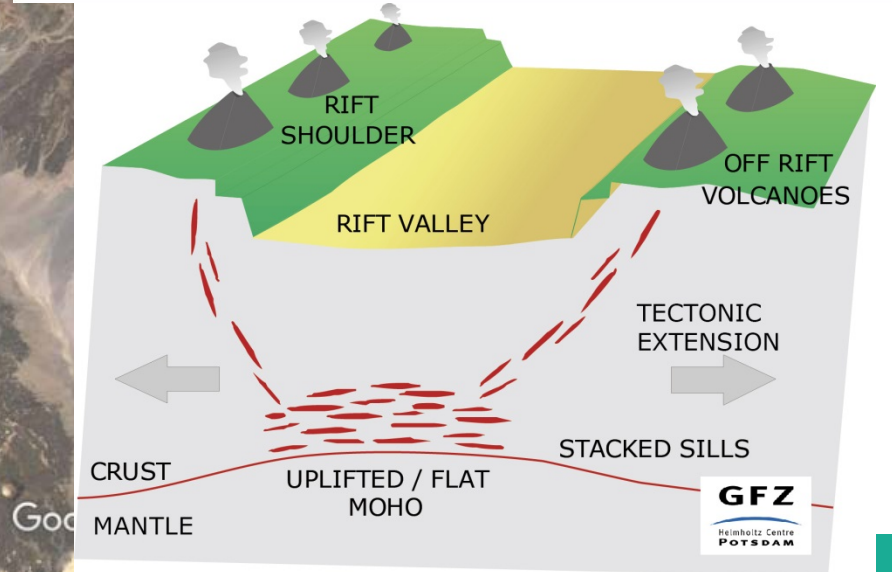
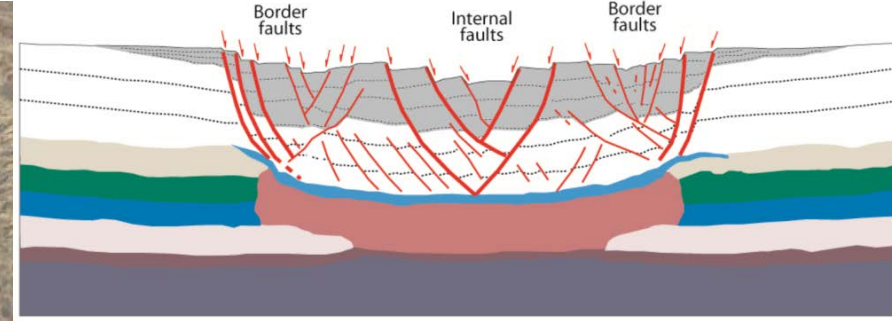
vertical movements



COMBI REK EN ISOSTASIE GEEFT TOPOGRAFIE!



VULKANISME, LANGS BREUKEN ÉN OP DE RAND



VULKANEN?

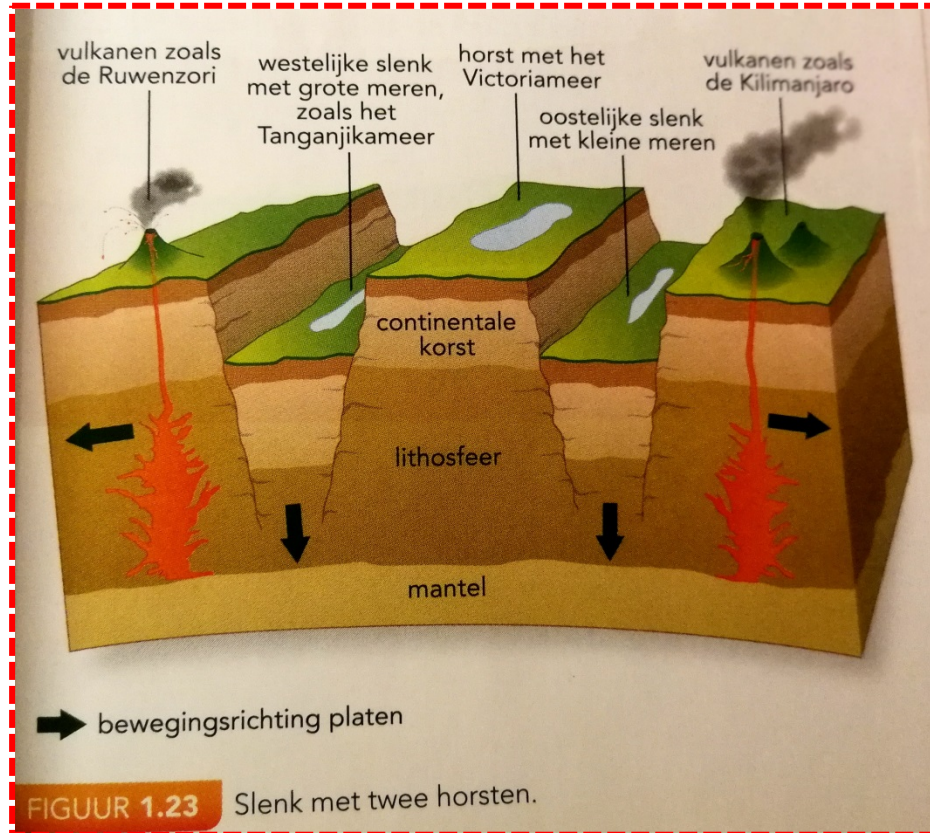
Niet helemaal prettig:

✓ -Onderverdeling korst- lithosfeer- mantel

✓ -Waar slenk daalt, stijgt mantel

✓ -Breuken met diepte: houden dus niet ineens op, gaan over van breuk naar 'shear zone' naar 'vloeien'

✓ -Magma: anders omhoog



**Geen breuk- of plooingsgebergte.. Wat dan wel?
Relatie met plaattektoniek ter plekke!**

Gebergte (met plooien en breuken): door continentbotsing



Topografie riftzone: door uiteen bewegen continentale delen!



MANTEL IS NIET 'VLOEIBAAR'

Staat in aantal boeken niet goed, in andere wel oké..
Maar waarom is het eigenlijk niet zo?

die reikt van 60 tot ongeveer 400 km. Maar het grootste gedeelte van deze laag is plastisch gesteente. Dit moet je voorstellen als vast gesteente dat onder invloed van druk en tijd iets stroperiger wordt en makkelijker beweegt dan de harde lithosfeer.

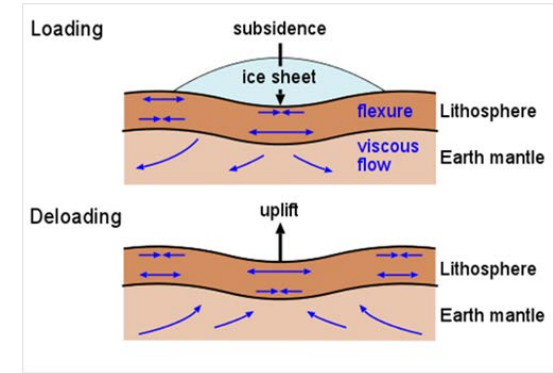
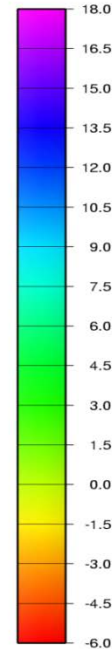
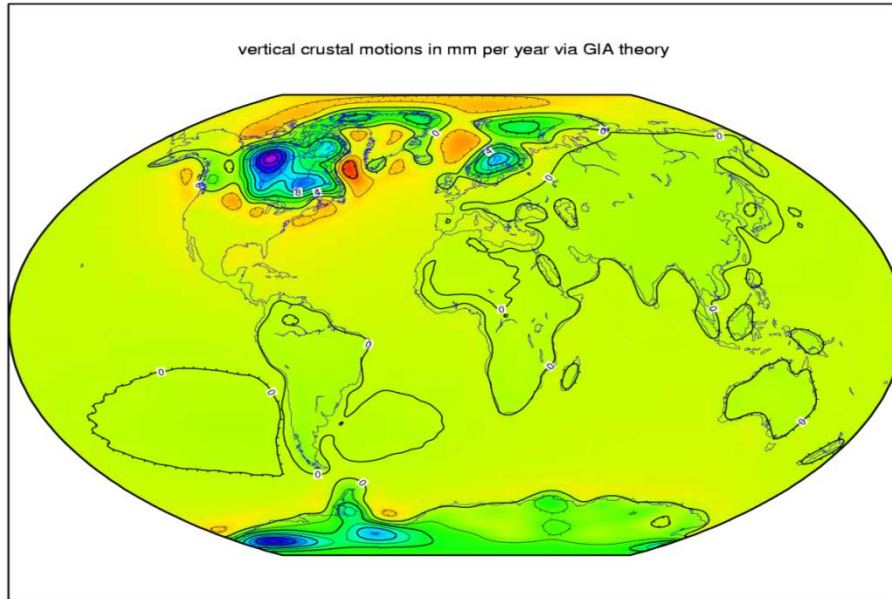
De asthenosfeer rust op een harder deel van de mantel: de binnenmantel, die zich uitstrekt van 400 tot ongeveer 2.900 km diepte. Door de hogere druk is het gesteente daar vaster dan in de asthenosfeer. Vervolgens komt je bij de vloeibare buitenkern. De binnenste laag van de aarde ten slotte, de binnenkern, bestaat weer uit hard gesteente.

Van binnenuit werkt de hitte. De aarde bestaat uit een **aardkern**, een aardkorst en een **aardmantel** (figuur 3.2). Hoe dieper je komt, hoe warmer het wordt. Door de grote hitte is het gesteente vloeibaar: **magma**. Vlak onder de aardkorst is het nog een beetje stroperig. Het bijna-gesmolten gesteente stroomt er traag rond. Door de kracht van deze **convectiestromen**



MANTEL VLOEIBAAR?

Terugvloeien mantel nog steeds aan de gang,
terwijl Weichselien ijskap smolt 20.000 jaar
terug..



Met mm's/jaar!

Dus 'vloeibaar'? Ja, op
geologische tijdschaal!

MANTEL IS NIET 'VLOEIBAAR'!

‘Hoe weet jij dat dan,
ben je er geweest of zo?’

vragensteller: Merijn Andeweg, 3V



<https://youtu.be/6BGmQ21EekY>



<https://youtu.be/ZkynnGqL7QM>

We zijn er dus nooit geweest...
maar de mantel wel bij ons!

**Ofioliet in Oman = stuk oceanische korst
en mantel dat is ge-obduceerd**

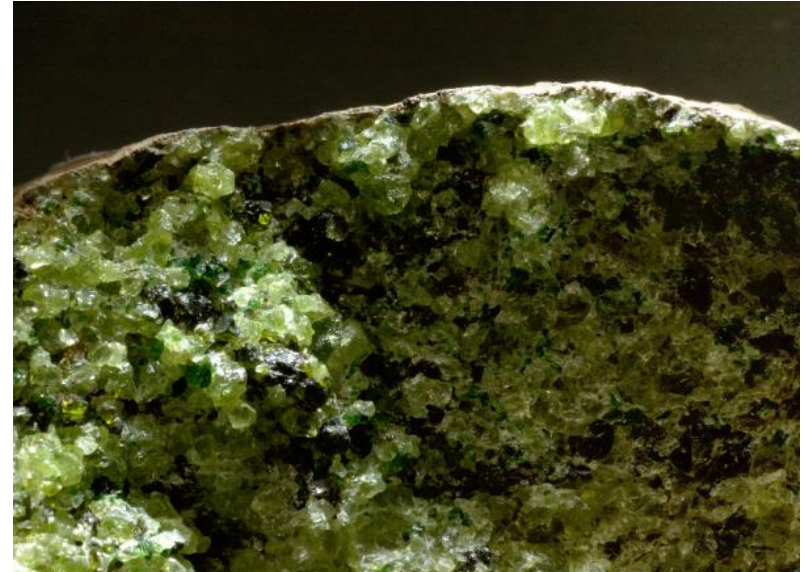


MANTEL!

Hawaii, afgelopen zomer, bevat
mantelgesteente!

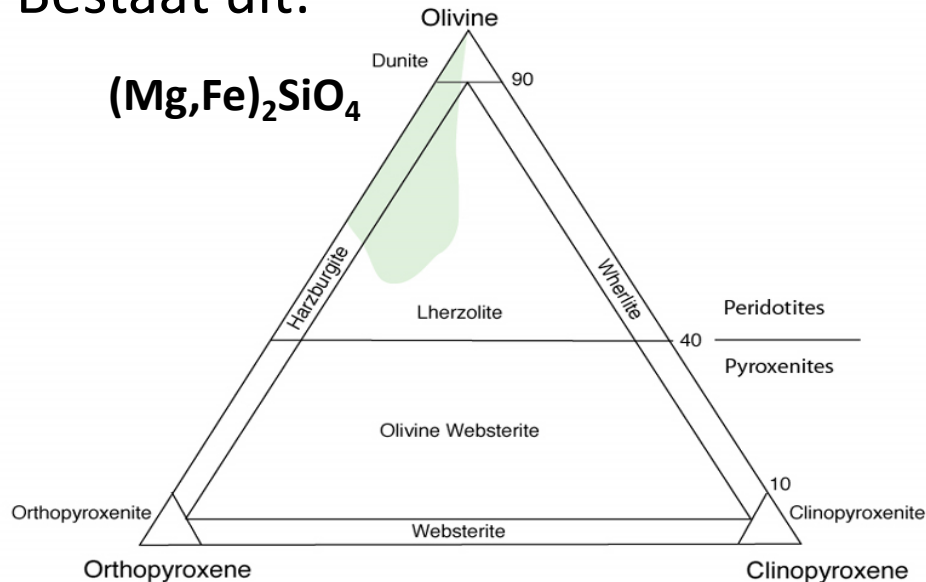
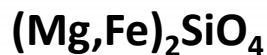


Dus we weten waar het bovenste
deel van de mantel uit bestaat:
vooral olivijn en pyroxeen



SYNTHETISCHE MANTEL

Bestaat uit:



... en dat is synthetisch na te maken

MANTEL MAKEN!



ONDER HOGE DRUK EN TEMPERATUUR

Experimentele Petrologie

Veel kracht op piepklein
oppervlak =
gigantische druk!

Alsóf je in de mantel zit..



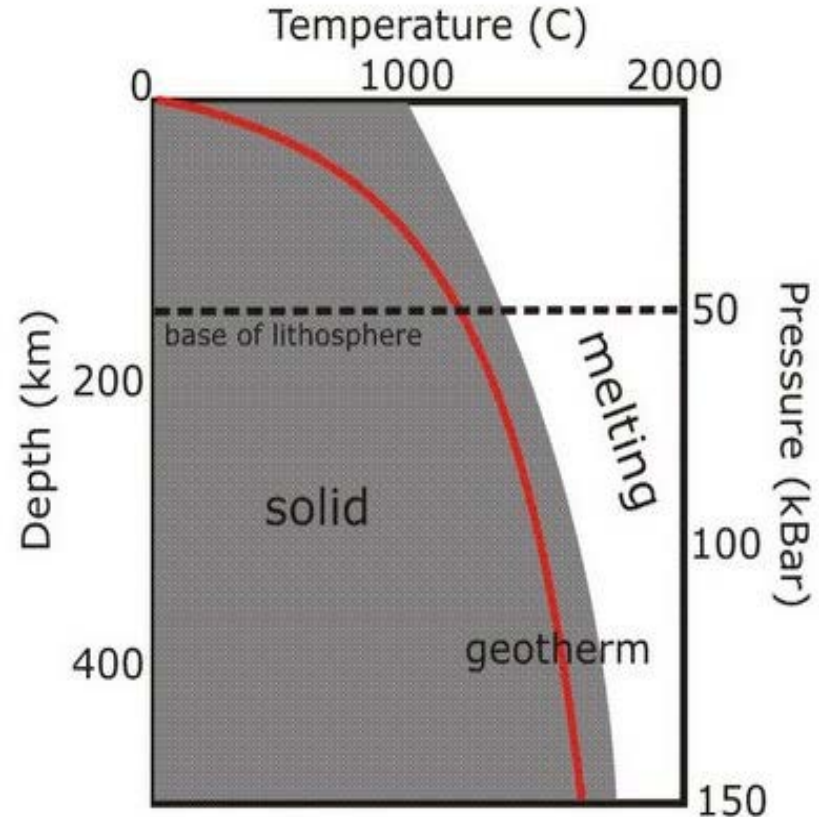
SOLIDUS

Uit dit soort experimenten is bekend:

- 1) op welke diepte welke temperatuur nodig is voor smelt.

Solidus = temperatuur nodig bij druk om gesteente te smelten

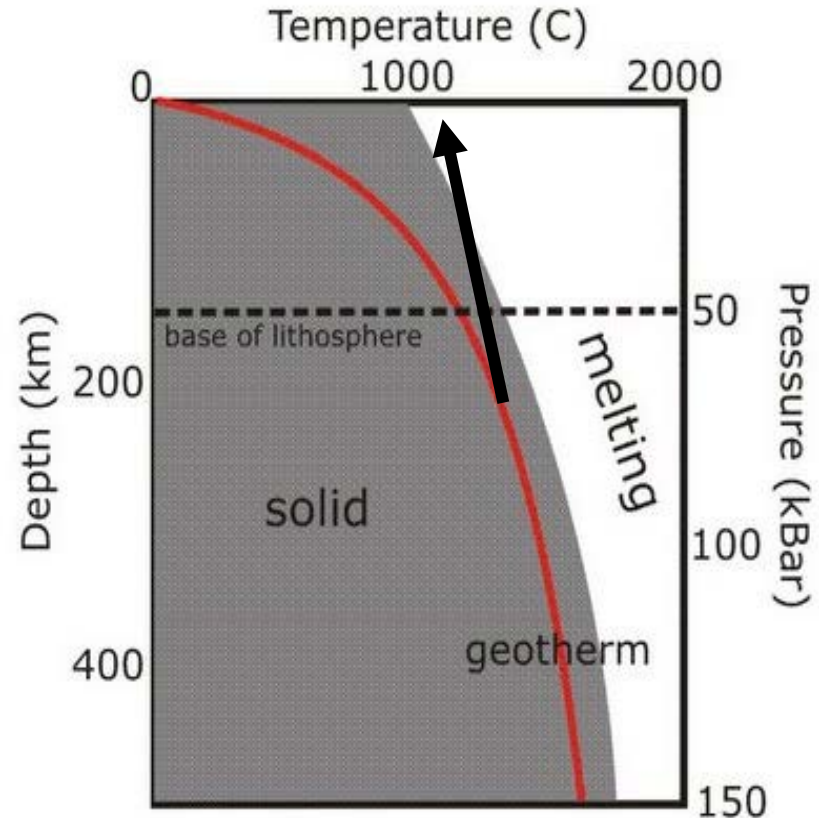
Niet zomaar gesmolten gesteente met diepte!



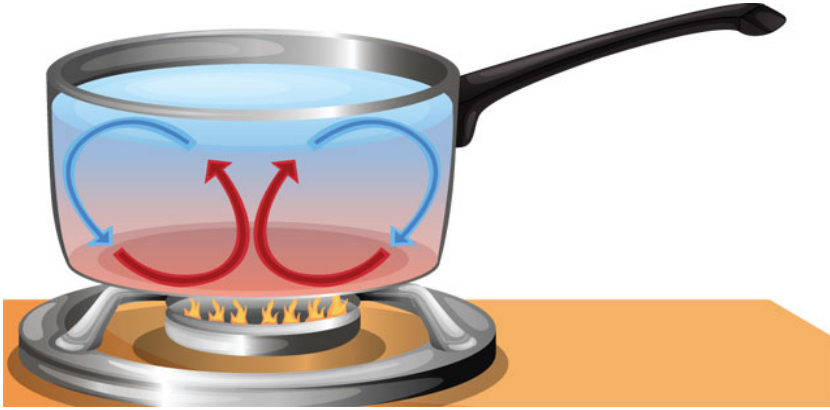
GEO THERM RAAKT SOLIDUS NIET ZOMAAR!

Dus: lithosfeer drijft niet
op vloeibare astenosfeer!

Alleen door snel omhoog brengen
warm materiaal (adiabatische
decompressie) ontstaat op
geringe diepte pas deels
gesmolten gesteente!



CONVECTIE MOTOR PLAATTEKTONIEK?!



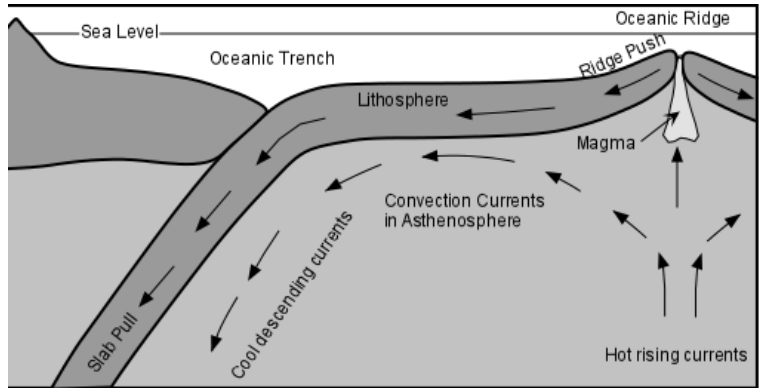
Welke krachten houden platen in beweging?

Belangrijkste 3:

Slab pull (verschil in dichtheid!)

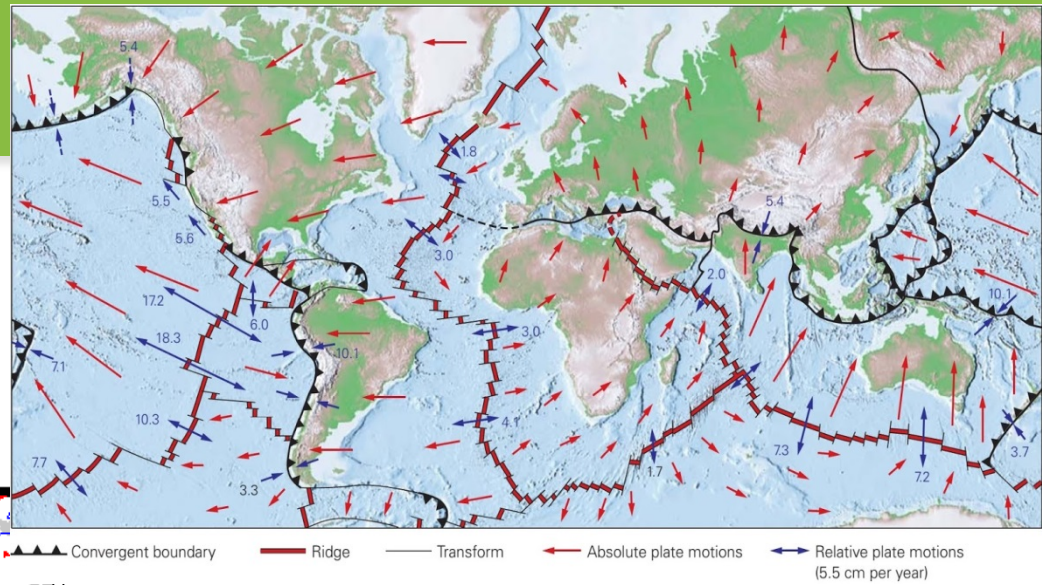
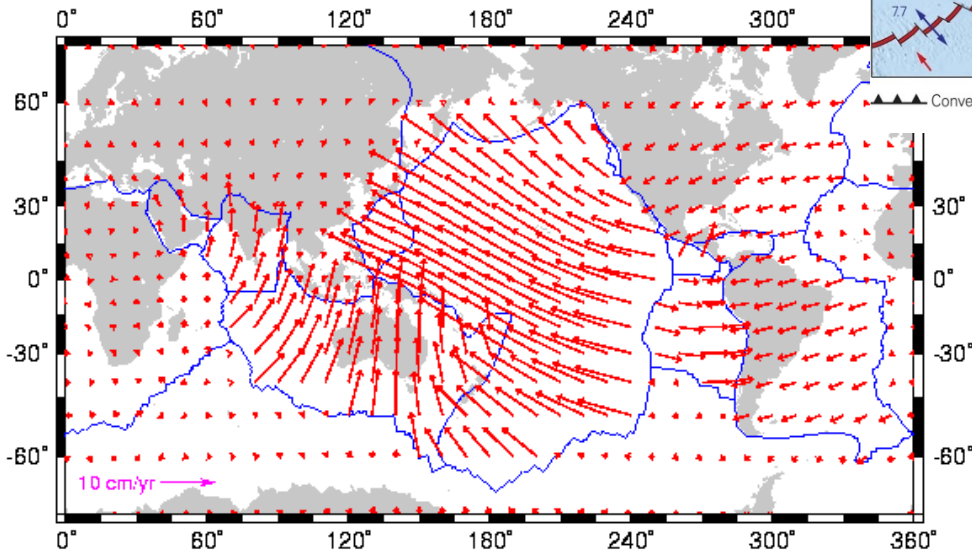
Ridge Push (dichtheid!)

Basal drag (meesleuren), dus groot oppervlak meer kracht?



SNELHEDEN?

Hoe snel bewegen de platen
(absolute beweging tov
hotspot reference frame)?



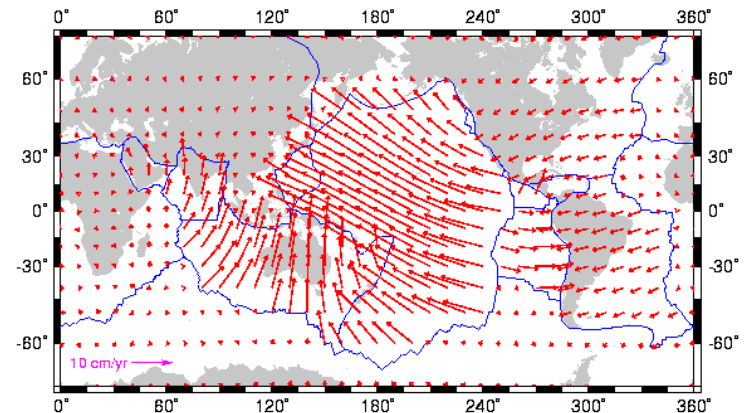
CONVECTIE ALS MOTOR?

Welke effect hebben
plaatkrachten (basal drag,
slab-pull, ridge push) op
snelheid?

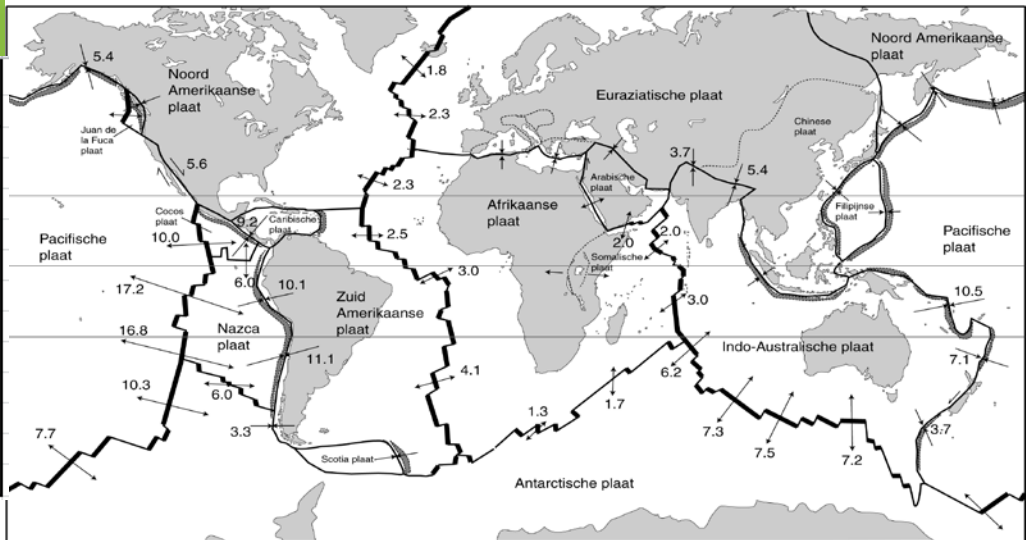
Opdracht:

Gebruik tabel om grafieken te
vullen!

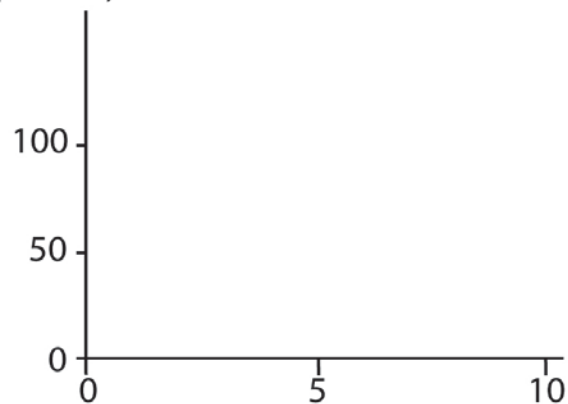
Plate	Area (10^6 km^2)		% cont.	gem. snelheid (cm/jaar)	procent	
	total	continent			subductie-trog	mid-oceanic ridge
N. American	60	36	60,0	1,1	3,5	38
S. American	41	20	48,8	1,3	2	30
Pacific	108	0	0,0	8,0	26	31
Antarctic	59	15	25,4	1,7	1,5	58
Indian	60	15	25,0	6,1	23	31
African	79	31	39,2	2,1	2,5	55
Eurasian	69	51	73,9	0,7	1	22
Nazca	15	0	0,0	7,6	27	42
Cocos	2,9	0	0,0	8,6	29	45
Caribbean	3,8	0	0,0	2,4	0	2
Philippine	5,4	0	0,0	6,4	36	2
Arabian	4,9	4,4	89,8	4,2	2	32



	Area (10^6 km^2)					
Plate	total	continent	% cont.	gem. snelheid (cm/jaar)	procent subductie-trog	procent mid-oceanic ridge
N. American	60	36	60,0	1,1	3,5	38
S. American	41	20	48,8	1,3	2	30
Pacific	108	0	0,0	8,0	26	31
Antarctic	59	15	25,4	1,7	1,5	58
Indian	60	15	25,0	6,1	23	31
African	79	31	39,2	2,1	2,5	55
Eurasian	69	51	73,9	0,7	1	22
Nazca	15	0	0,0	7,6	27	42
Cocos	2,9	0	0,0	8,6	29	45
Caribbean	3,8	0	0,0	2,4	0	2
Philippine	5,4	0	0,0	6,4	36	2
Arabian	4,9	4,4	89,8	4,2	2	32

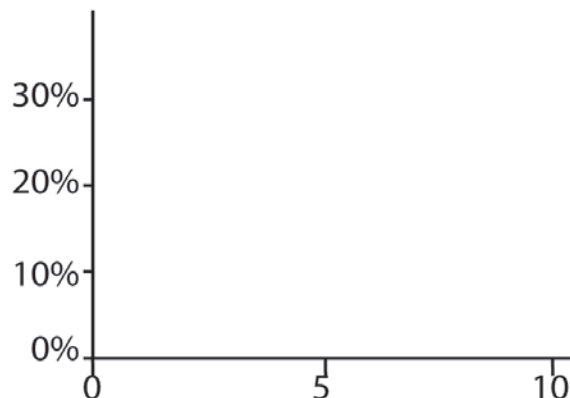


oppervlakte
(10^6 km^2)



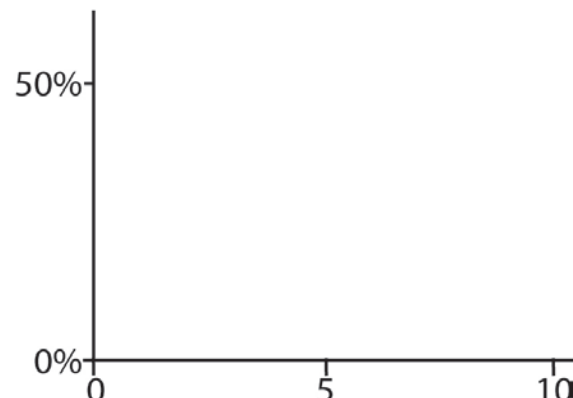
snelheid (cm/jaar)

percentage subductie-trog



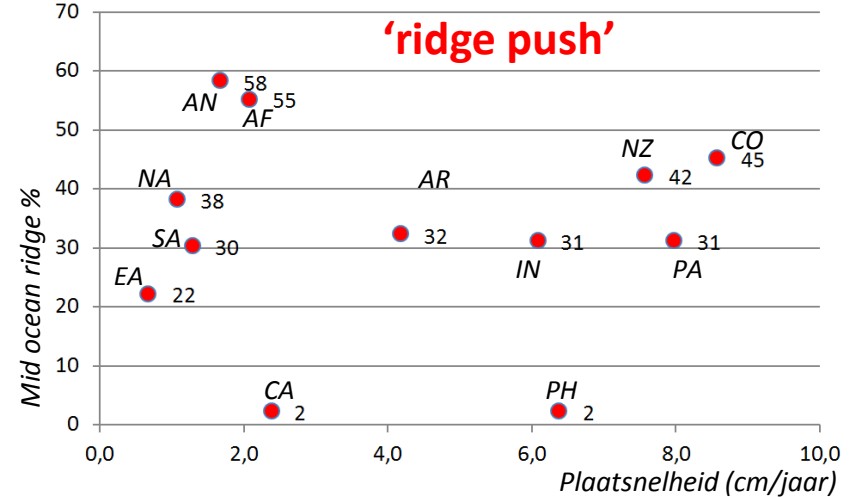
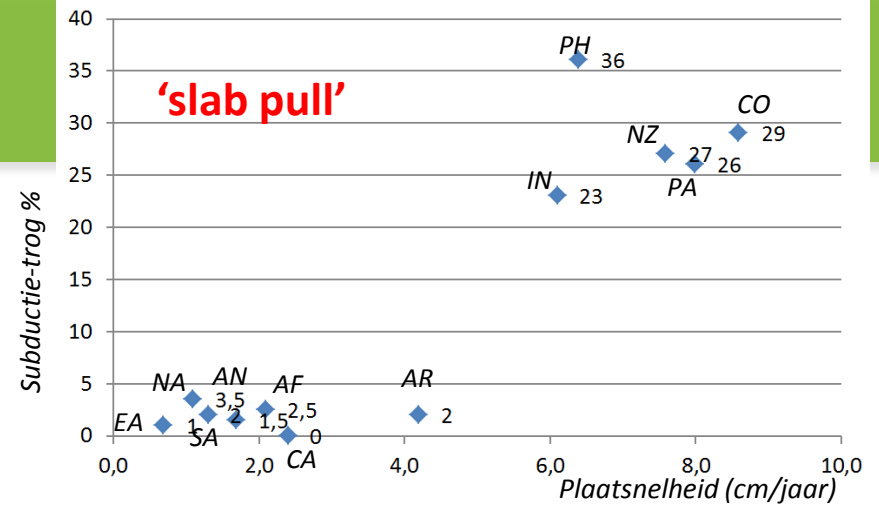
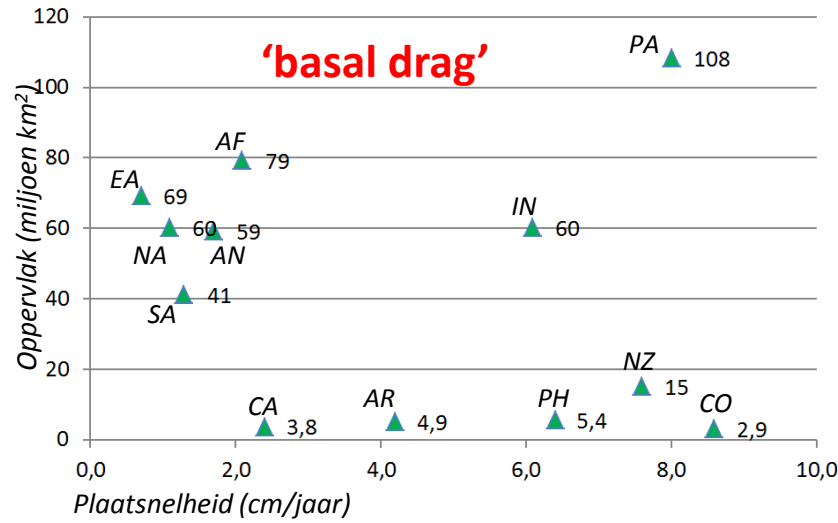
snelheid (cm/jaar)

percentage mid-ocean ridge



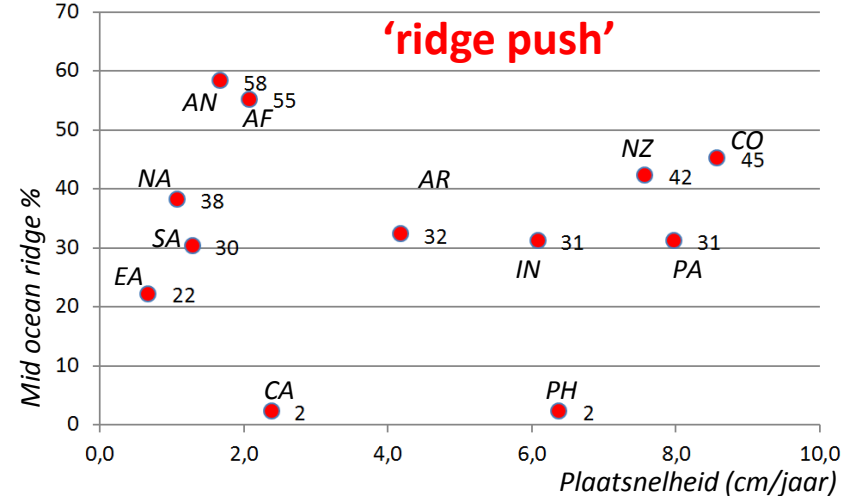
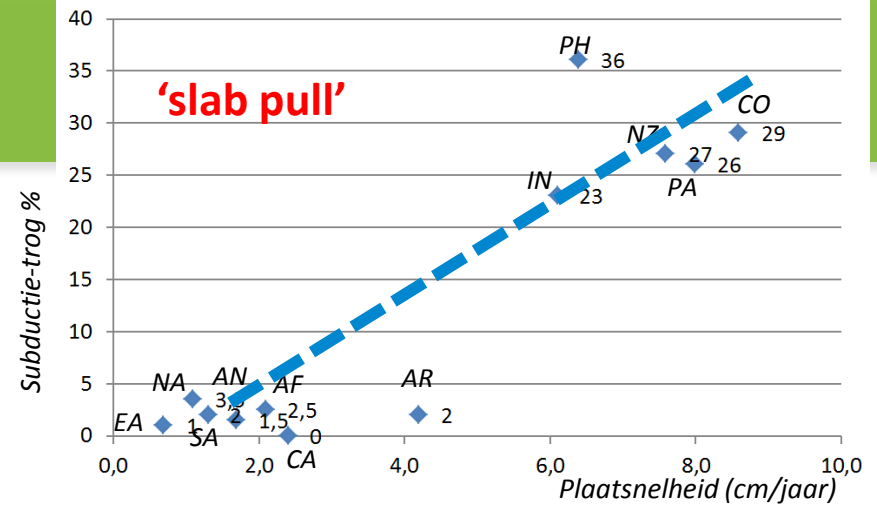
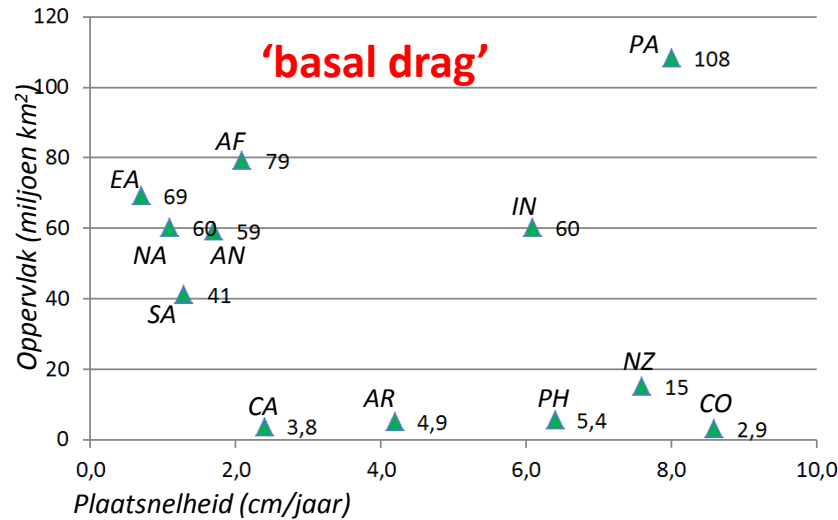
snelheid (cm/jaar)

RESULTATEN!!



Conclusie?

RESULTATEN!!

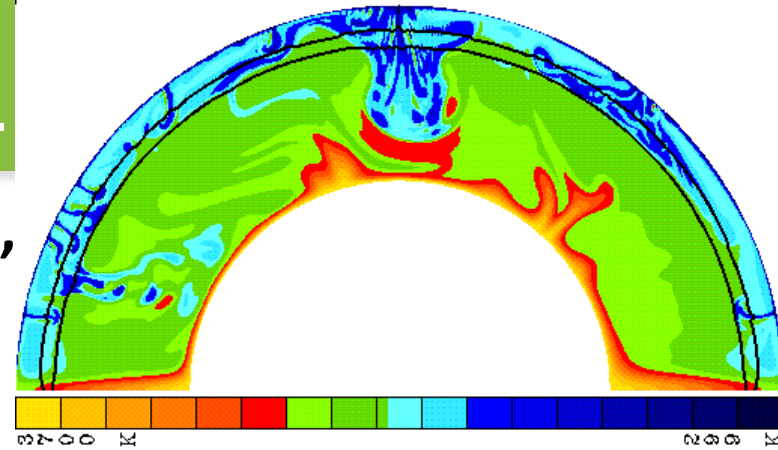
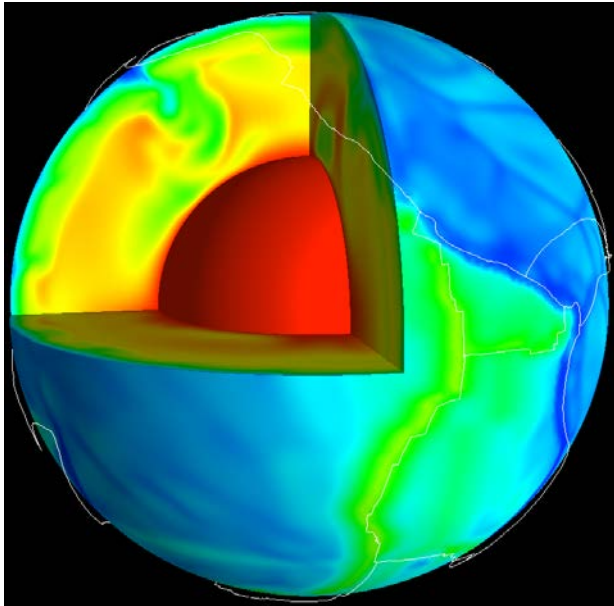


Conclusie?

Slab-pull meest belangrijk, enige met relatieve
Basal drag versnelt of vertraagt beweging

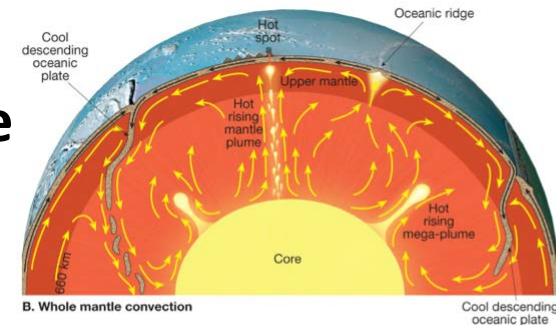
JA, MATERIAAL STROOMT ROND..

**Circulatie stuk complexer dan 'convectie'
door veranderingen in de mantel**



*Op 660 km barriere voor subducerende
platen om verder te dalen, soort
tijdelijke 'parkeerplaats'*

**..en is dus niet direct de
drijvende kracht achter
plaattektoniek!**



1. Presentatie staat (bijna) op
www.geo.vu.nl/~andb/KNAGdag

AARDBEVINGEN: WAAR DE AARDE DE MENS TREFT

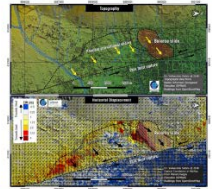
KUNNEN WE OOIIT AARDBEVINGEN & HUN GEVOLGEN VOORSPELLEN?

VU VRIJE UNIVERSITEIT AMSTERDAM Faculteit der Wetenschappen

Met moderne technieken, satellieten, waarnemingen in het veld en (computer) modellen proberen we daar grip op te krijgen. Help jij mee een stap verder te zetten?!



Van Groningen door gaswinning tot Indonesië door plaattektoniek, de aarde beeft stevig. Tsunami's, landslides, vernielde infrastructuur, slachtoffers. Waarom kunnen we dat nog niet zien aankomen? Valt er wat aan te doen? Wat kunnen we leren van het verleden?



Satellietgegevens van vóór & na de aardbeving, daarmee valt nauwkeurig vast te stellen hoeveel beweging er is geweest. Op & neer, of echt langs elkaar.

2. Poster bij de stand!

3. Met school naar de VU, of de VU op school?

Plaattektoniek, vulkanisme, aardbevingen

Big History (drempel 4)

Gesteente-practicum en 'tijd'

NLT-module Bewegende Aarde of Klimaatverandering

Inhoudelijk verhaal bij schoolreis naar IJsland, Eifel, whatever...

Meer info bij de stand of via bernd.andeweg@vu.nl

4. Nascholing

Meer nieuwe inzichten "Update Fysische Geografie" 040219 ism Utrecht. Onderwerpen?