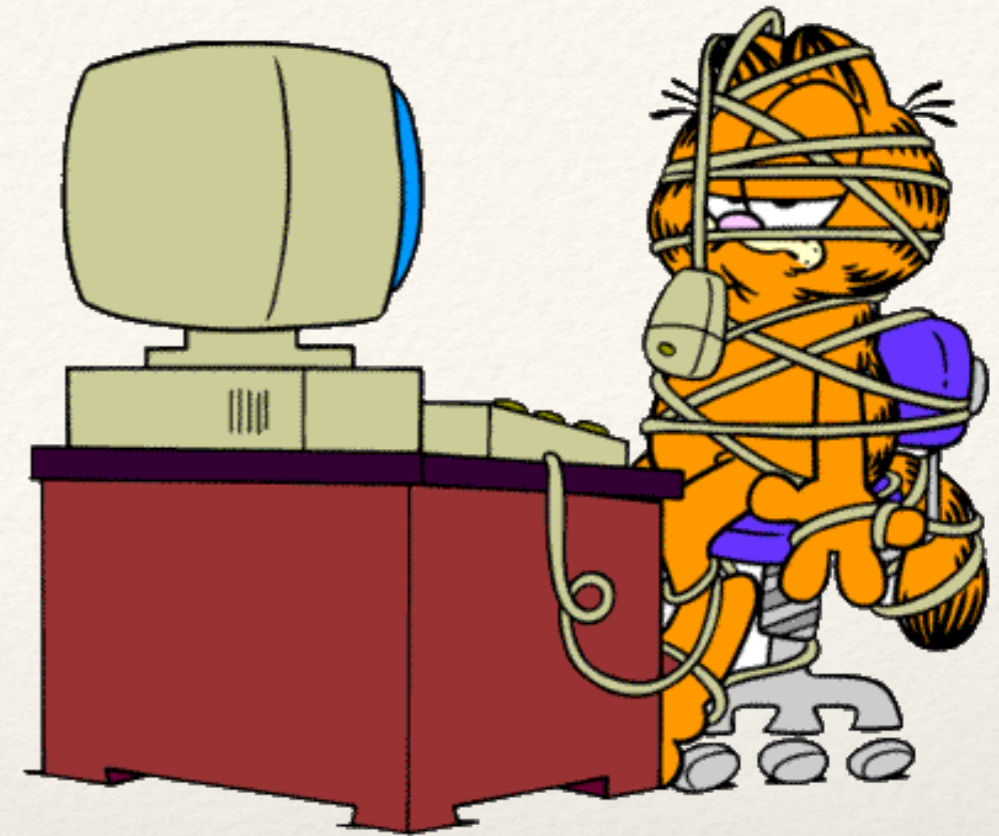


Oerol Festival, 16 juni 2014



Numerieke Geodynamica

(Hoe nerds de Aarde bestuderen)

Dr. Cedric Thieulot



Utrecht University

www.cedricthieulot.net



1997 B.Sc. Wiskunde
(Univ. Parijs XI)

2000 M.Sc. Natuurkunde
(TU/e)

2004 Ph.D. Natuurkunde
(RUG)

2005->2008 Onderzoeker
(Univ. Rennes)

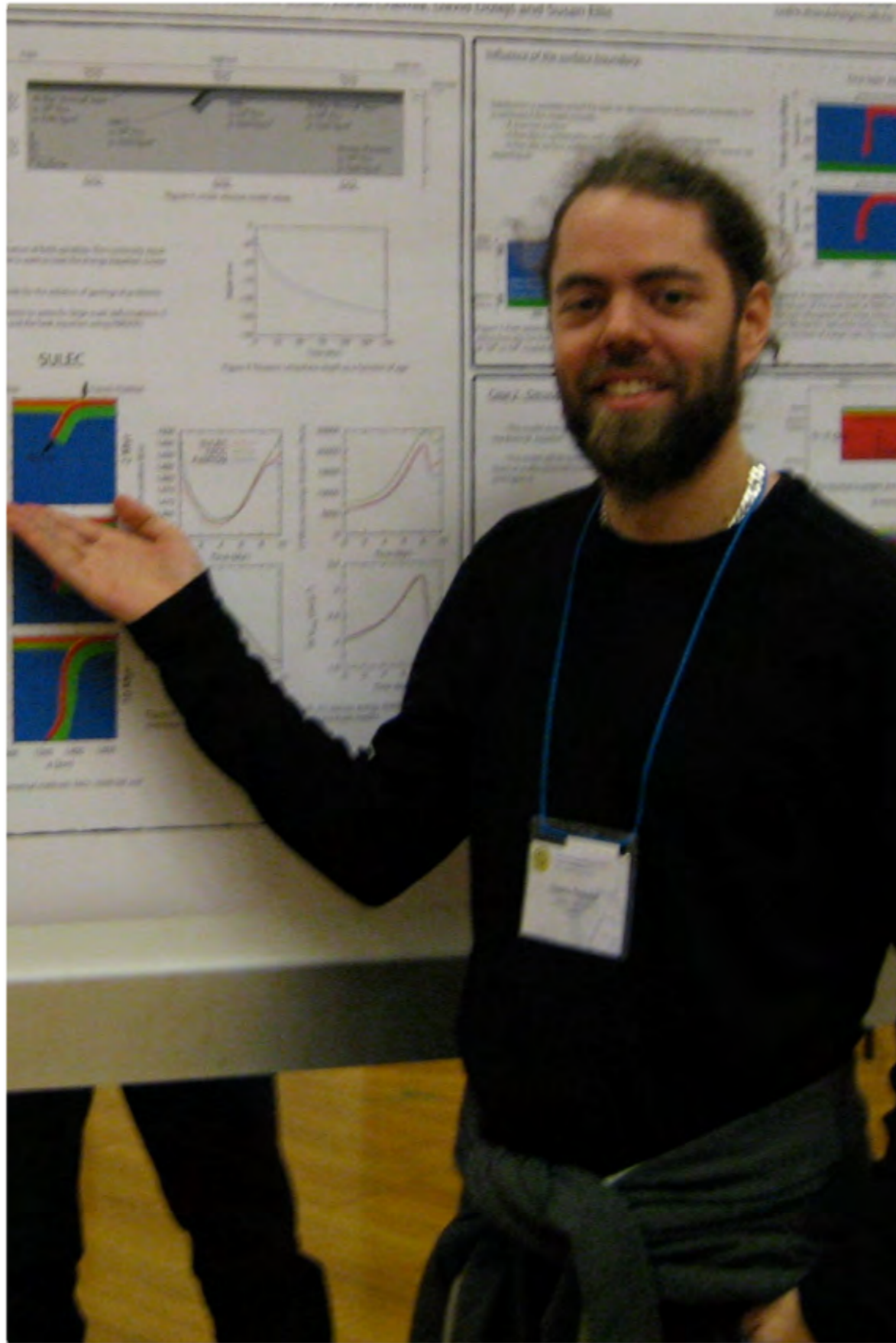
2008->2012 Onderzoeker
(Univ. Bergen)

2012-> ... Onderzoeker
(UU)

Onderzoeker

&

Muzikant



KINTSUKUROI

EEN GEDANSTE OPERA

VAN
SPINVIS



13 JUNI 2024

OEROL - TERSCHELLING

MEER DATA VOLGEN

Kintsukuroi is een gedanste opera over het leven van een seismoloog. Op een klein eiland voor de kust van Japan ontmoet hij een vrouw. De liefde van zijn leven. Als zij verdwijnt in de golven van de tsunami van 2011, weigert hij haar dood te aanvaarden en blijft haar zoeken. In de trillingen van de aarde die hij registreert met zijn seismograaf leest hij haar hartslag.

De Japanse aardbeving van 2011

- 11 maart 2011: aardbeving aan de oostkust
- magnitude 9.0
- de krachtigste aardbeving ooit in Japan
- #5 in de hele wereld sinds 1900
- enorme tsunami's (golven van 40m)
- 15,000 doden

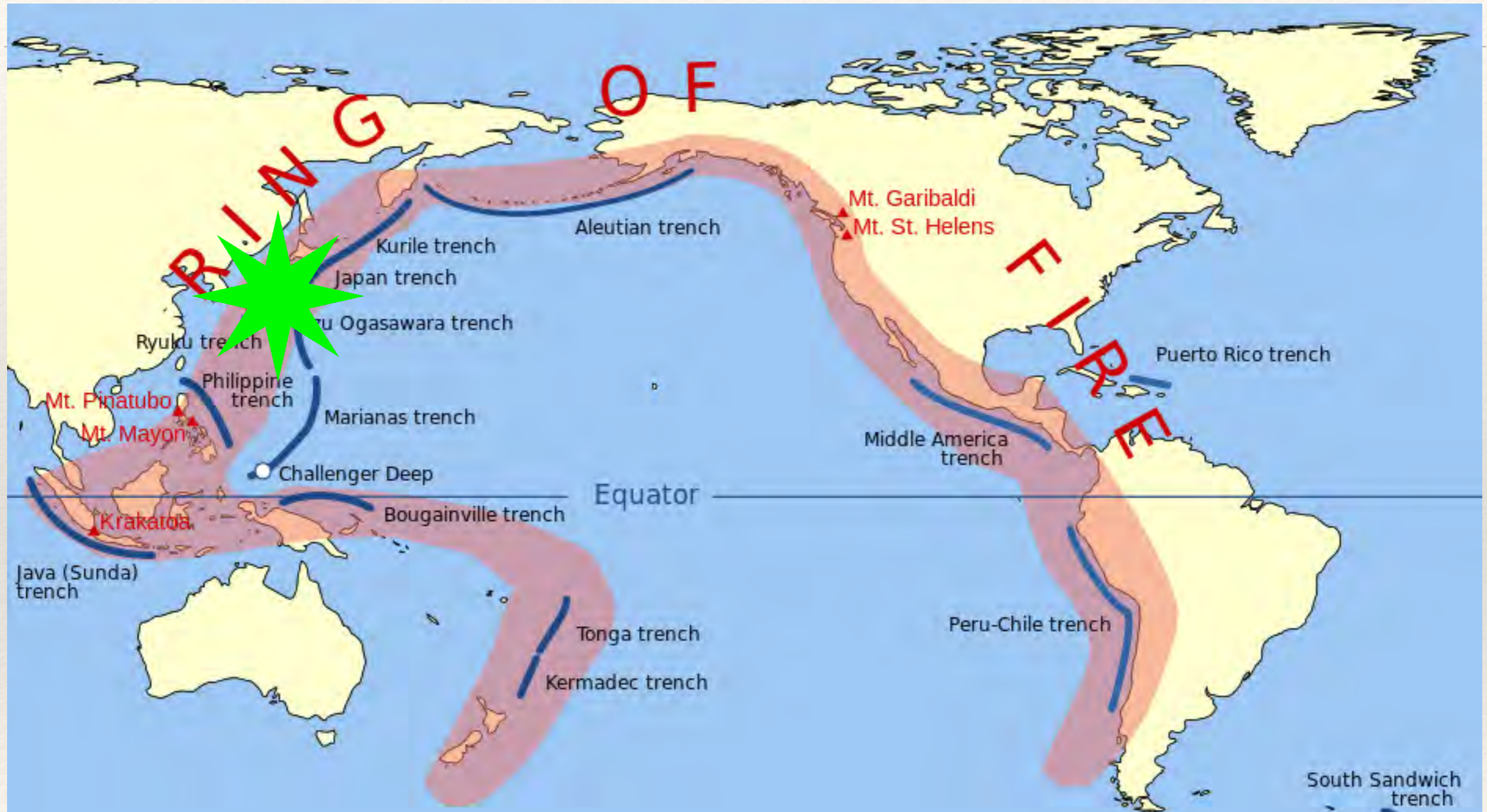
De Japanse aardbeving van 2011



De Japanse aardbeving van 2011

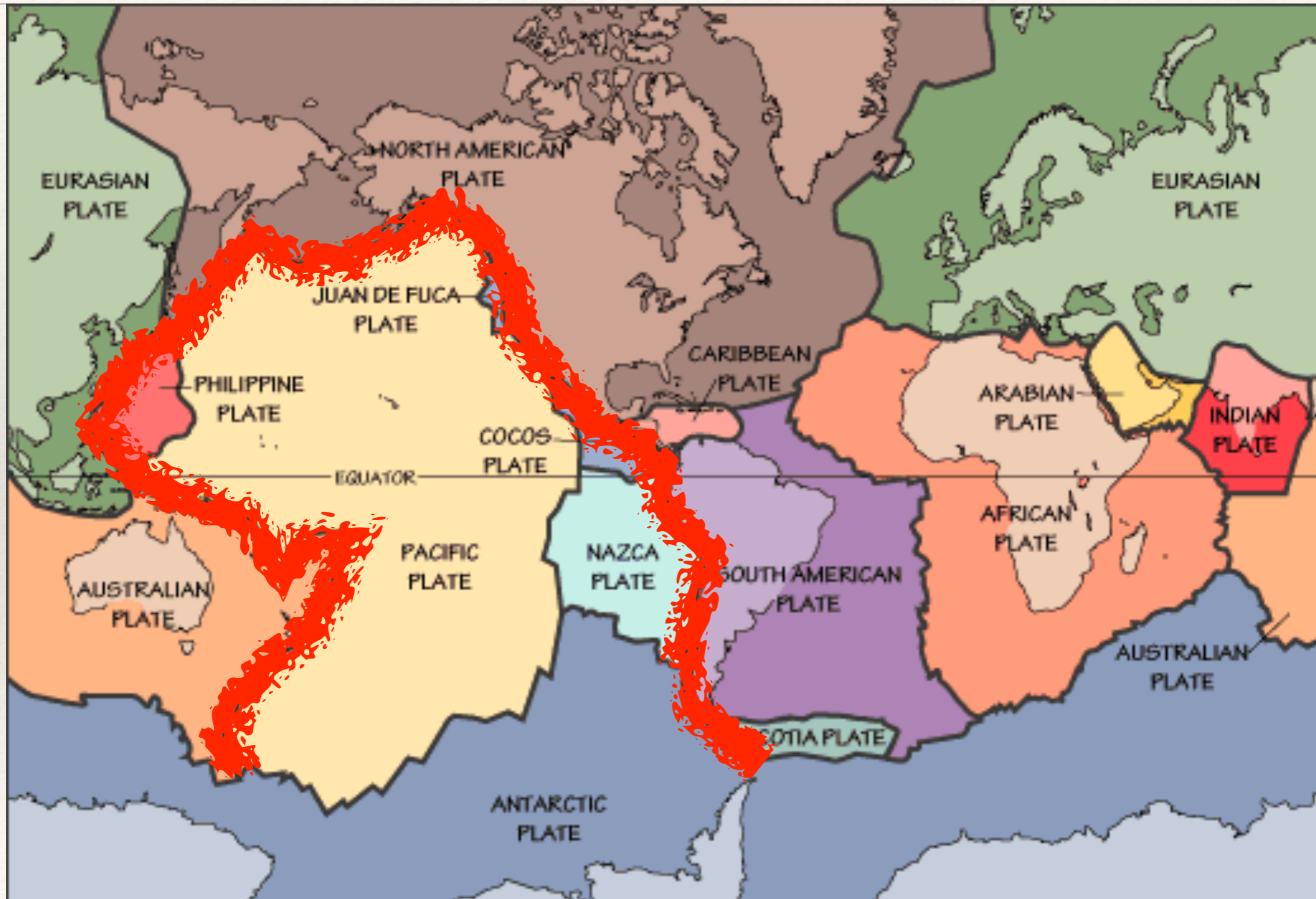


Pacifische Ring van Vuur

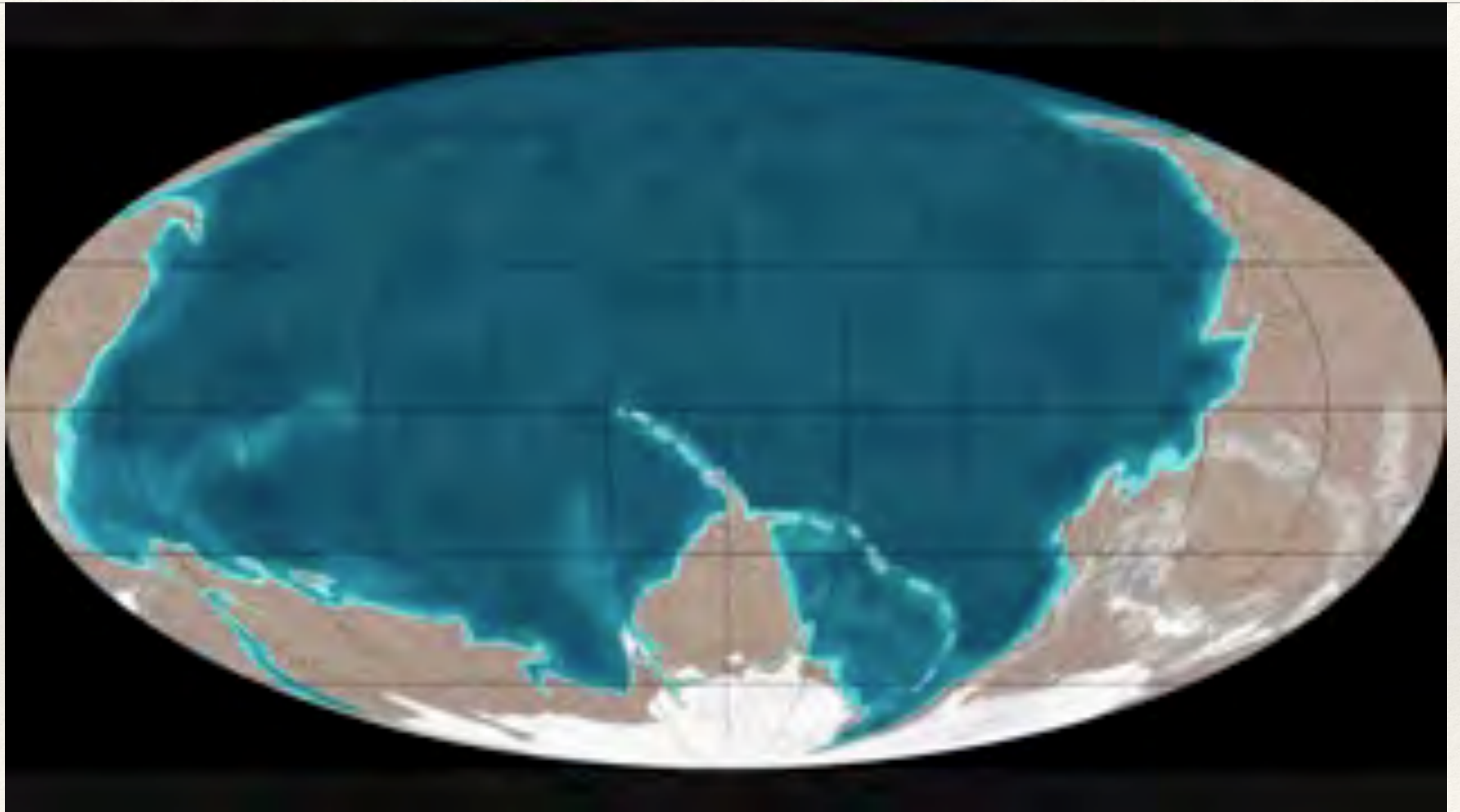


- 452 vulkanen (128 actief, 65 gevaarlijk)
- ~90% van alle aardevingen, 81% van de grootste

Platentektoniek

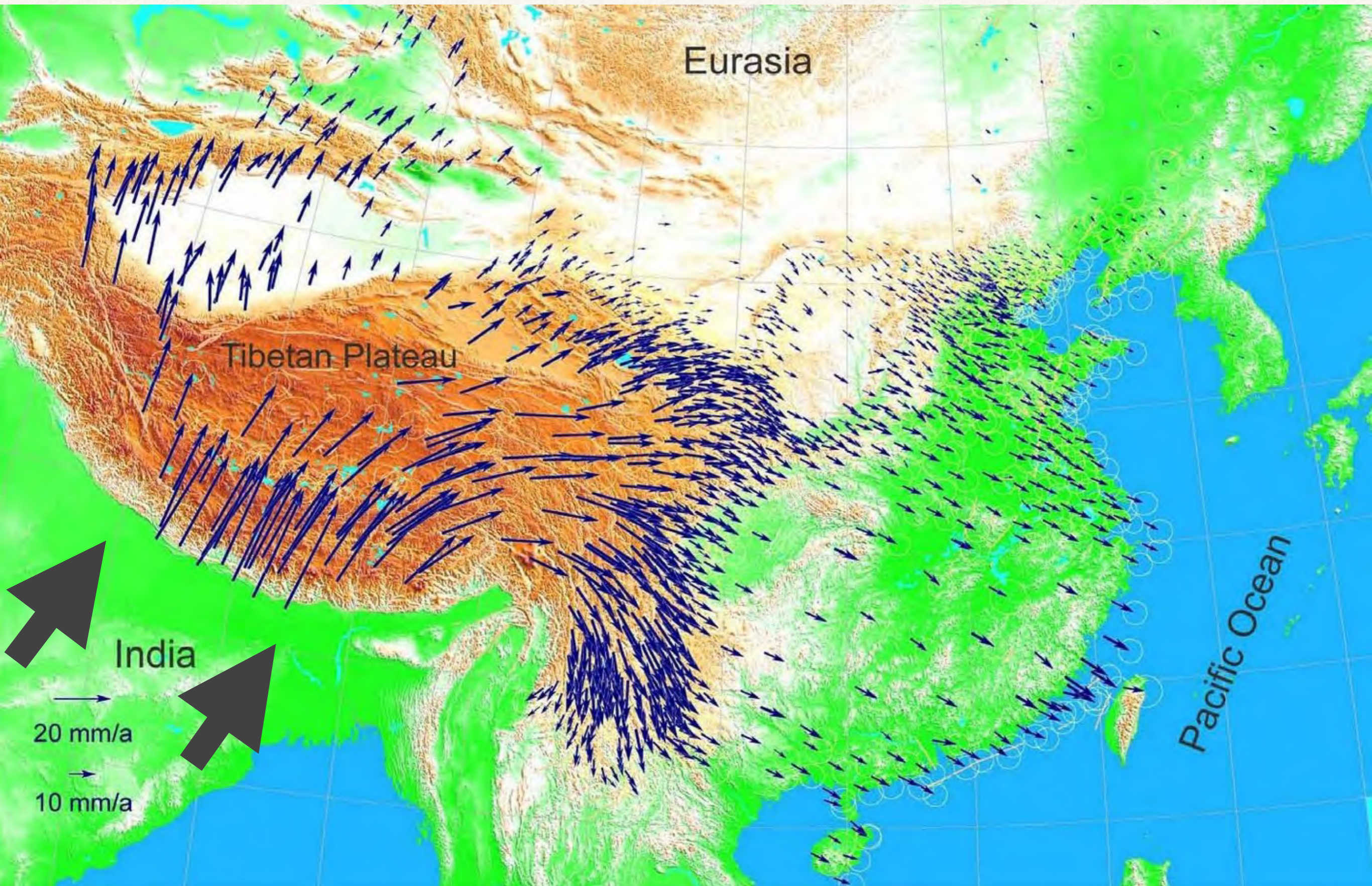


Platentektoniek

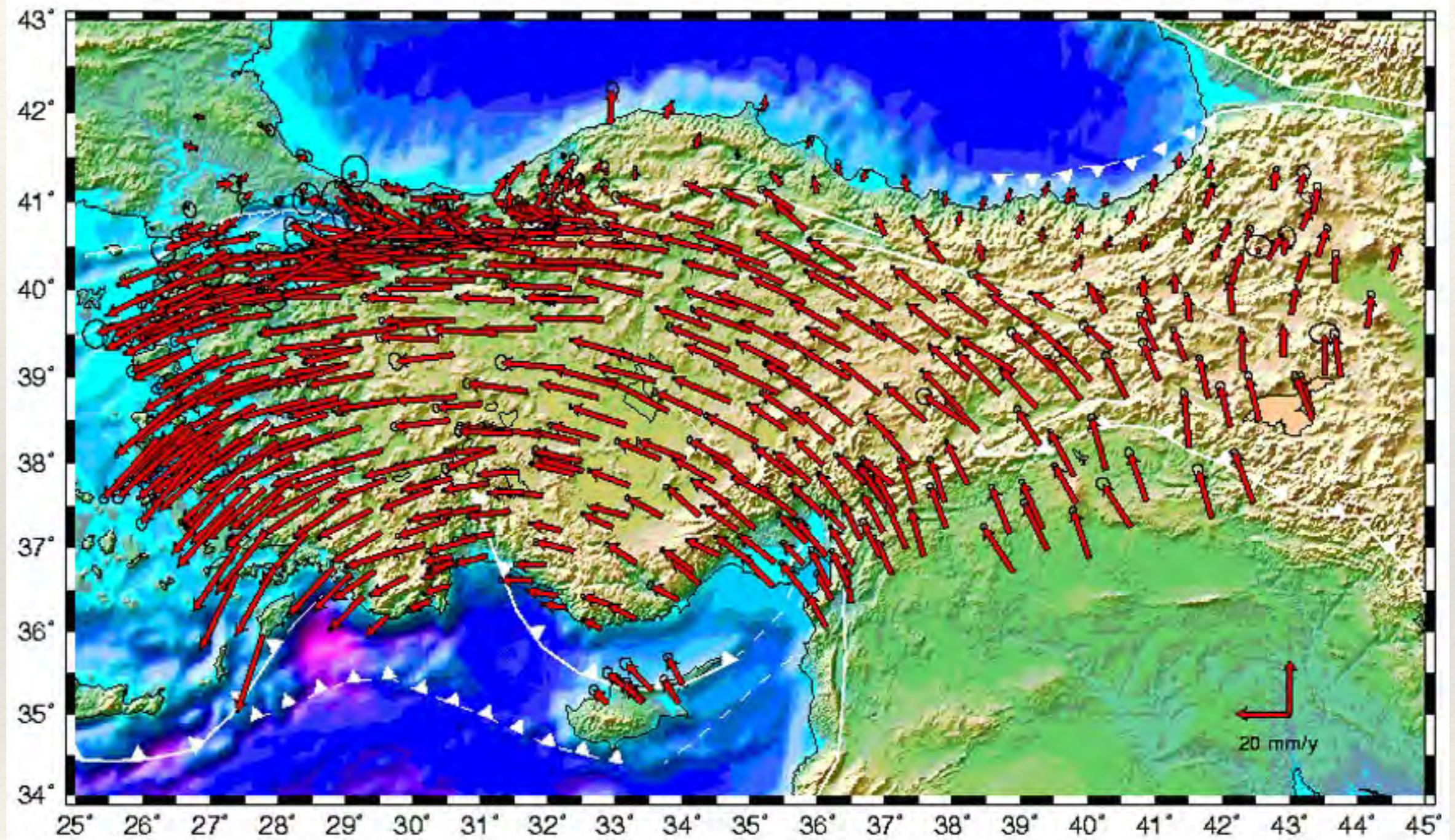


“Eilanden komen weer samen, als de zeebodem breekt en verschuift”

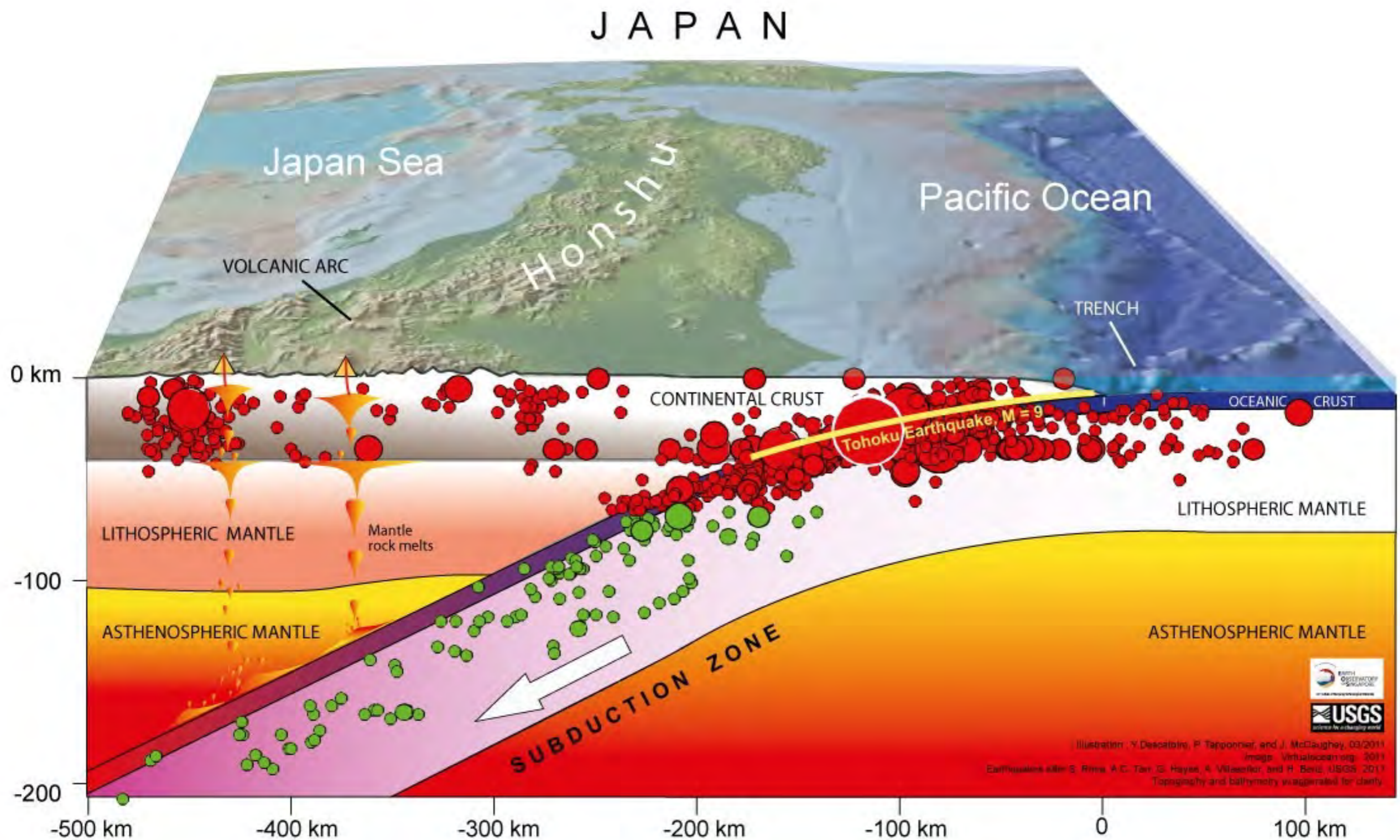
GPS snelheden in Azië

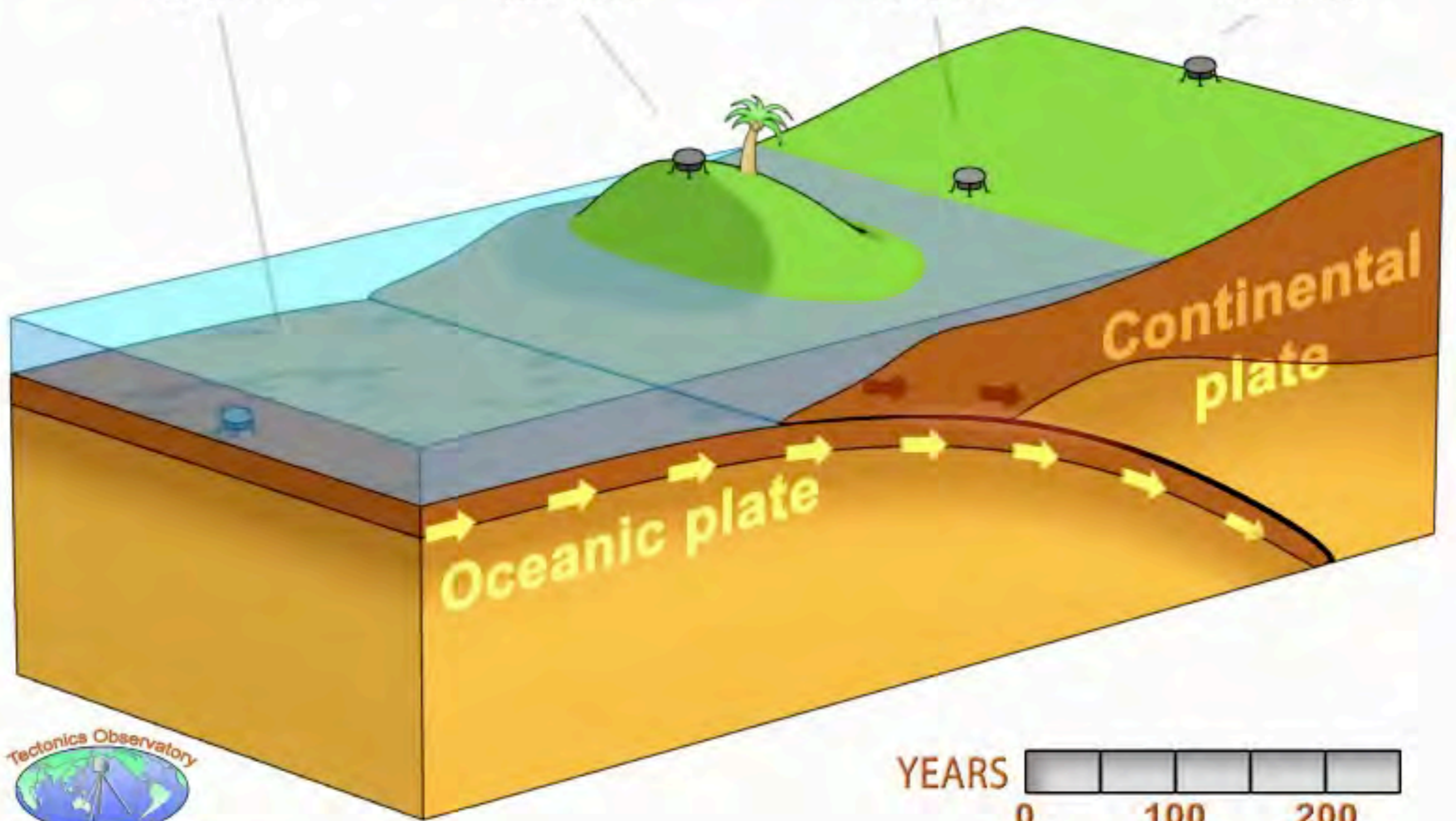


GPS snelheden in Turkije

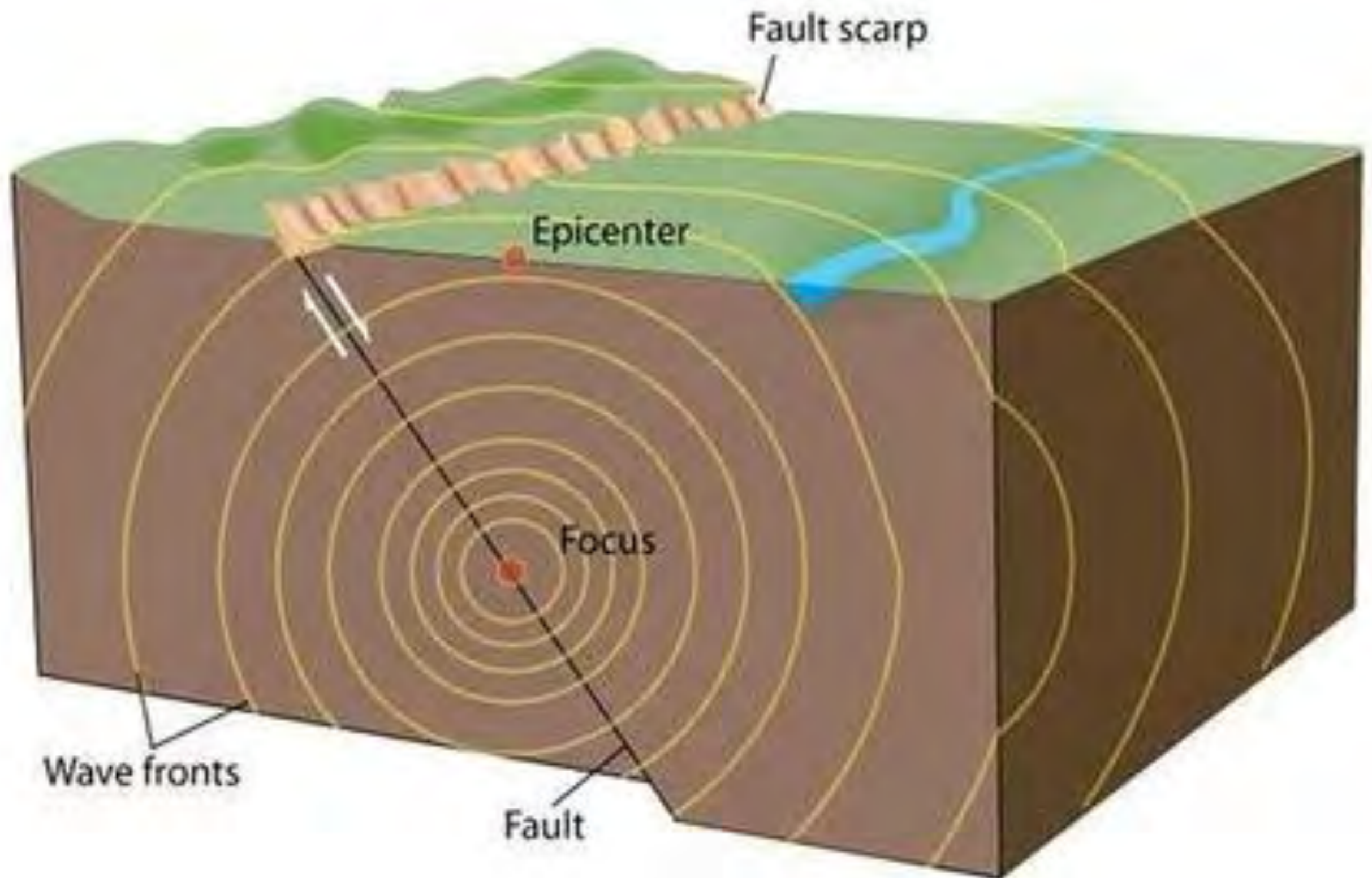


De Japanse subductiezone

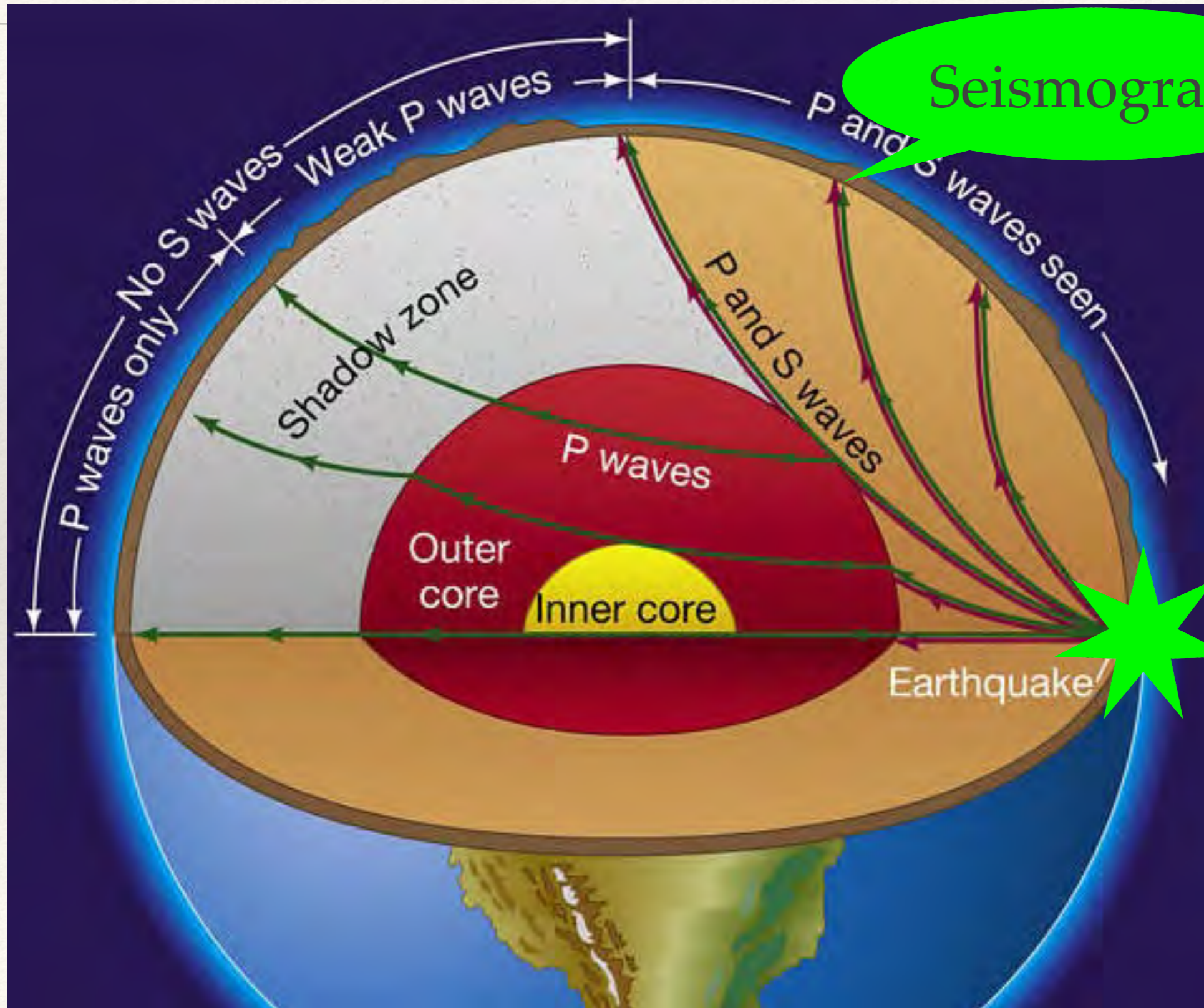




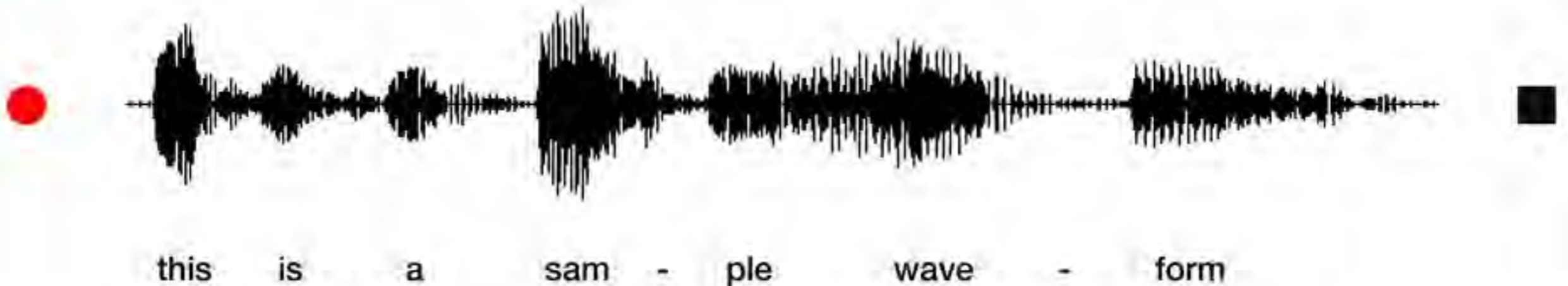
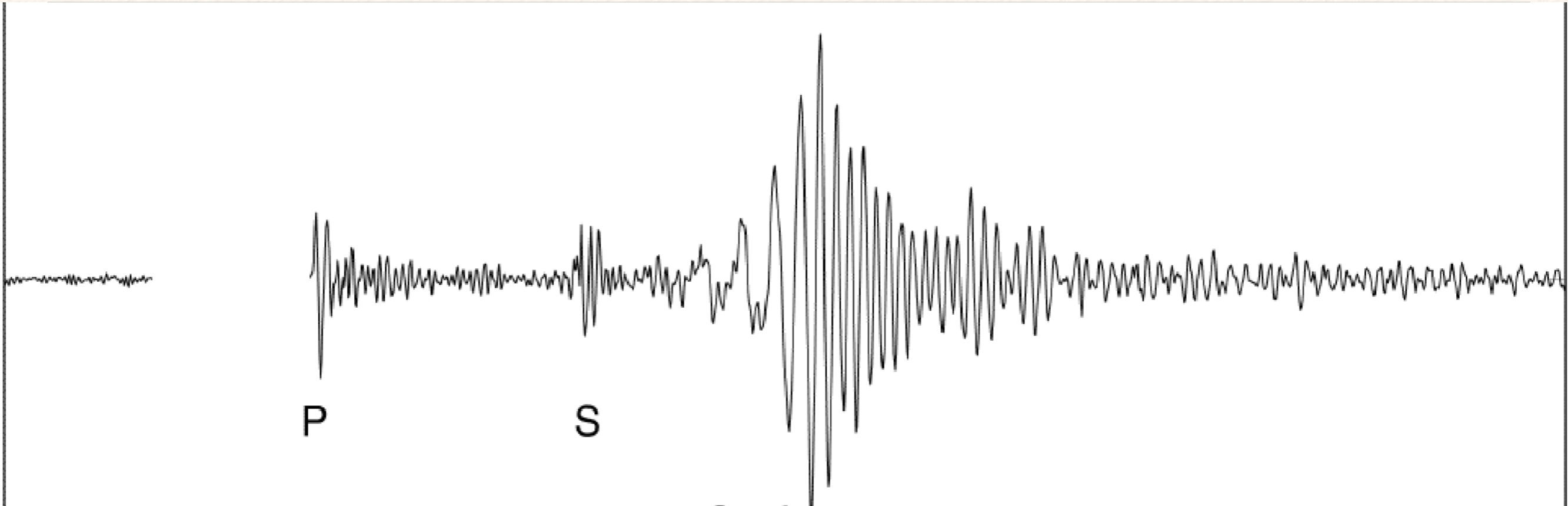
Seismische golven



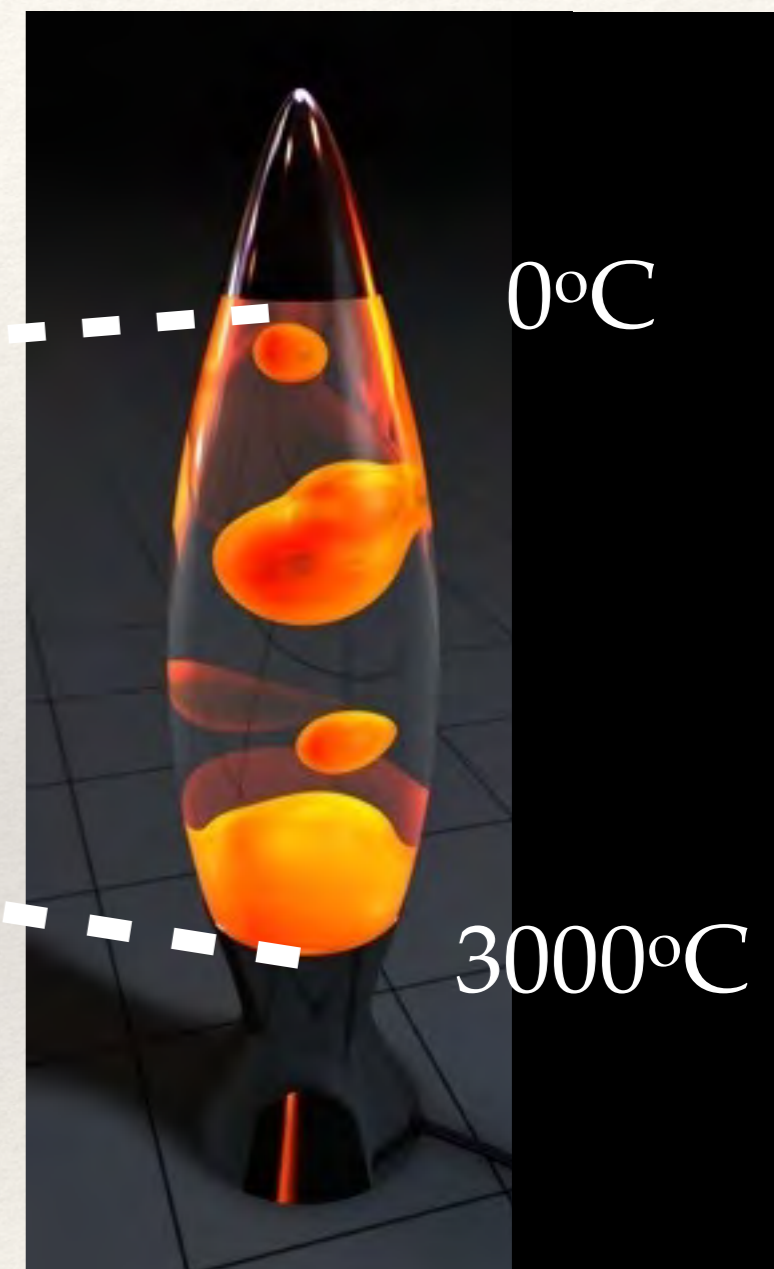
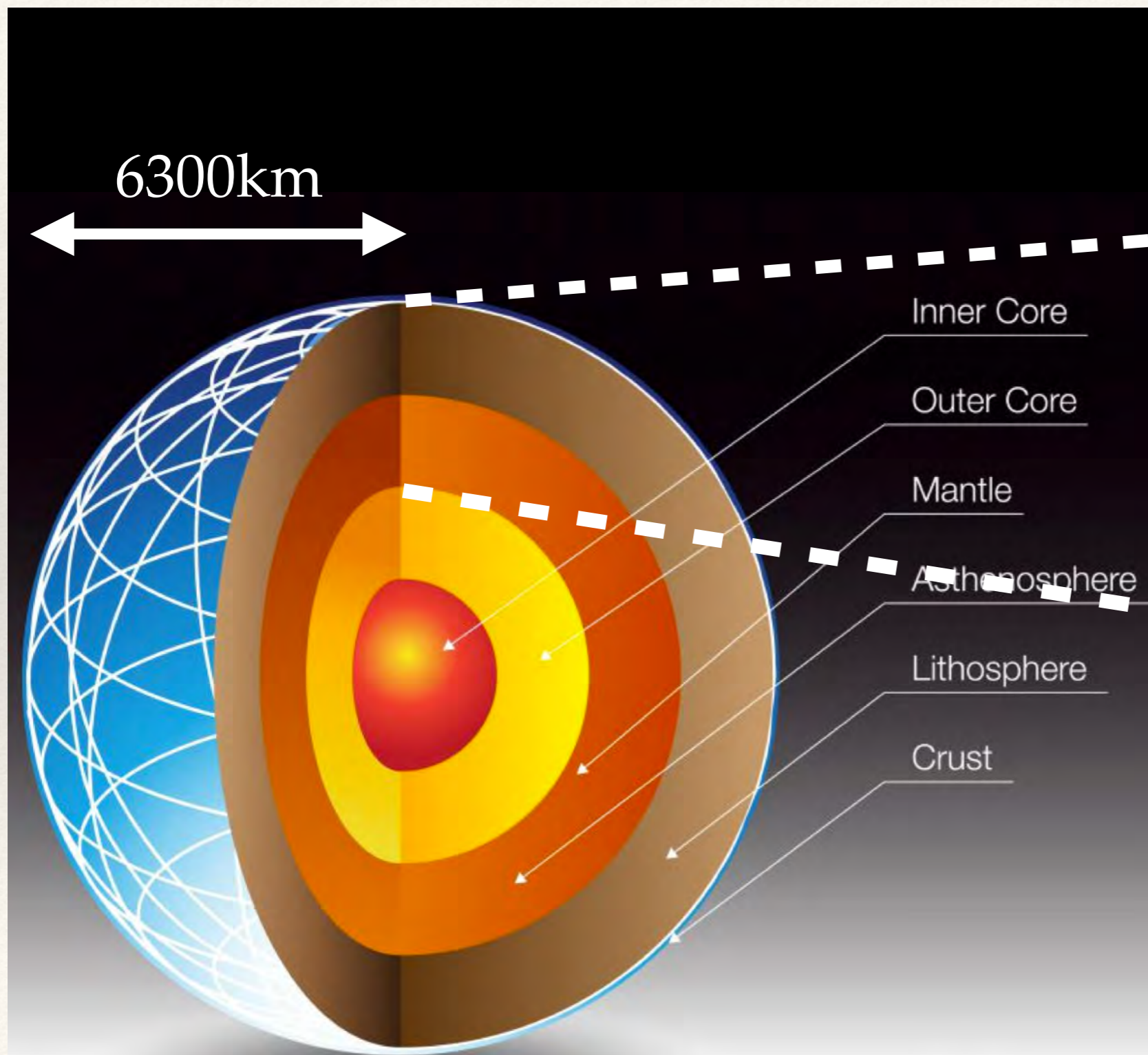
Seismische golven propagatie



Seismogram

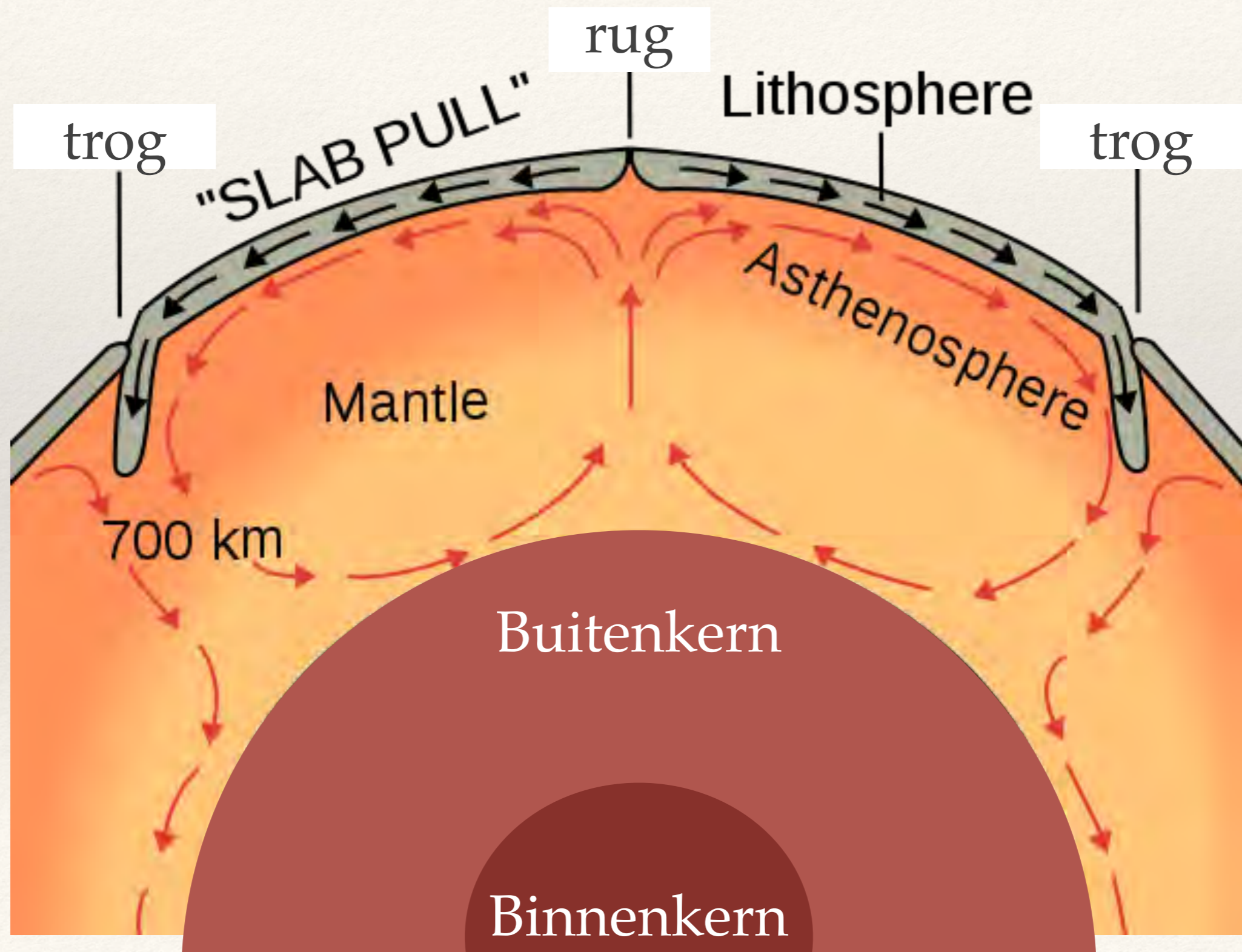


Wat is de drijvende kracht van dit alles ?



➔ Mantel
Convectie

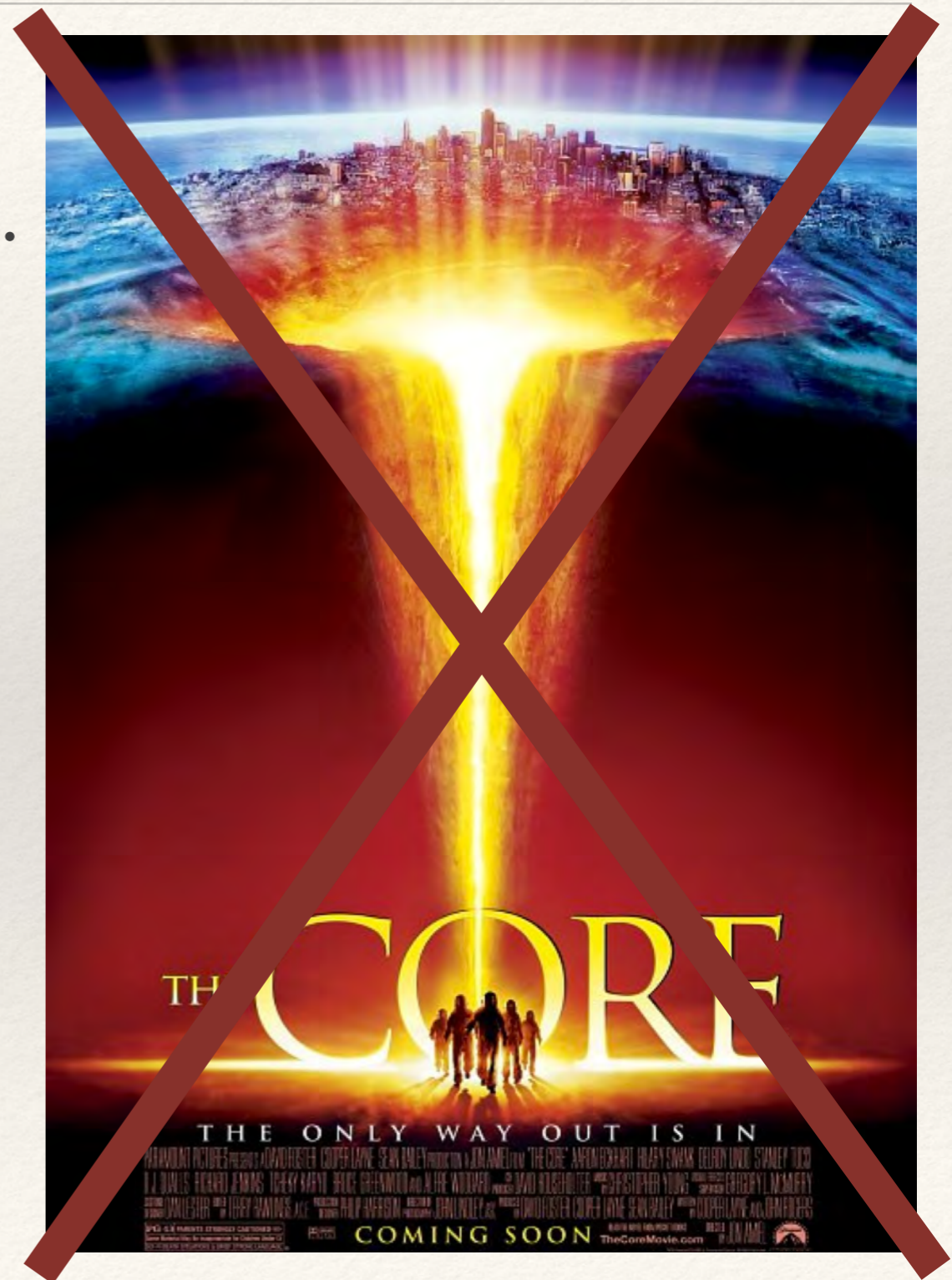
Mantelconvectie & platen



Hoe kan ik verder ? Wat zit in de weg ? (1)

De straal van de Aarde is $\sim 6370\text{km}$.

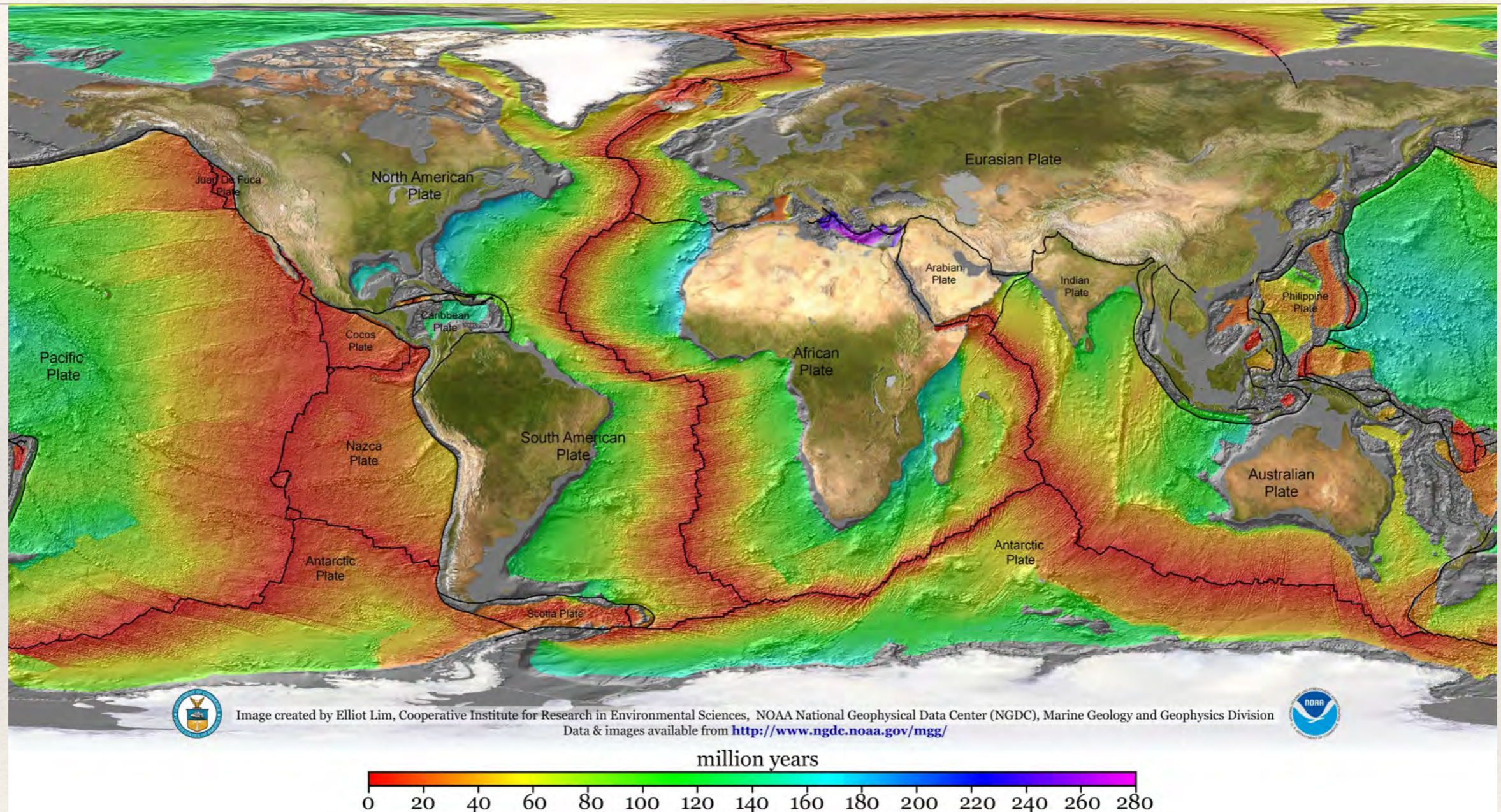
Het diepste gat ooit gemaakt door mensen is 12.3 km diep, i.e. $\sim 0.2\%$!



Hoe kan ik verder ? Wat zit in de weg ? (2)

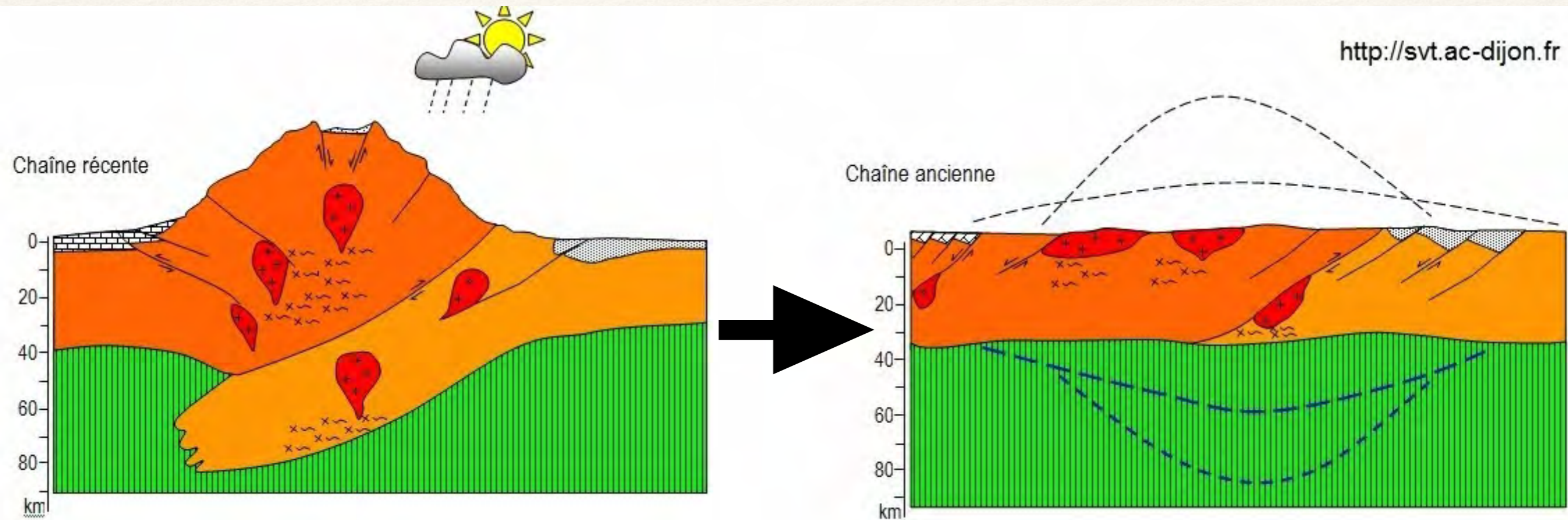
- Met GPS gemeten snelheden \sim max. 6 cm/jaar
GPS bestaat pas \sim 30 jaar
-> max. beweging \sim 1.8m
- De Aarde is 4.65 biljoen jaar oud (4 650 000 000 jaar)
De mensheid is \sim 200 000 jaar oud.
De wetenschap is slechts \sim 3000 jaar oud.

Hoe kan ik verder? Wat zit in de weg? (3)



- Door subductie verdwijnen oude platen.
- De oudste oceanische plaat is ~ 250 miljoen jaar

Hoe kan ik verder? Wat zit in de weg? (4)



- Erosie & sedimentatie veranderen het landschap.
- Erosiesnelheid $\sim 1\text{cm/yr}$.

Wat is Numerieke Modelling?

Numerieke wiskunde is het deelgebied van de wiskunde dat in computerprogramma's gebruikt wordt.

In een wetenschappelijke context is een **model** een vereenvoudigde voorstelling, beschrijving of nabootsing van de werkelijkheid.

“Computerwetenschap”

- Computers zijn **dom** (ze zijn door mensen gebouwd)
- Computers begrijpen 0, 1 ... en niks anders

Ik schrijf
computerprogramma's
die gebruikt worden om
de Aarde te modelleren



back to school

$$1 \text{ apple} + 1 \text{ tomato} + 1 \text{ lemon} = 4\text{€}$$

$$2 \text{ apples} + 3 \text{ tomatoes} + 1 \text{ lemon} = 7\text{€}$$

$$2 \text{ apples} + 4 \text{ tomatoes} + 3 \text{ lemons} = 6\text{€}$$

back to school

$$1 X + 1 Y + 1 Z = 4\text{€}$$

$$\begin{array}{l} 2 \\ 2 \end{array} \begin{pmatrix} X \\ X \\ X \end{pmatrix} + \begin{array}{l} 1 \\ 3 \\ 4 \end{array} \begin{pmatrix} Y \\ Y \\ Y \end{pmatrix} + \begin{array}{l} 1 \\ 1 \\ 3 \end{array} \begin{pmatrix} Z \\ Z \\ Z \end{pmatrix} = \begin{array}{l} 4 \\ 7 \\ 6 \end{array} \text{€}$$

back to school

Matrix

onbekenden



$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 4 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 \\ 7 \\ 6 \end{pmatrix}$$

back to school

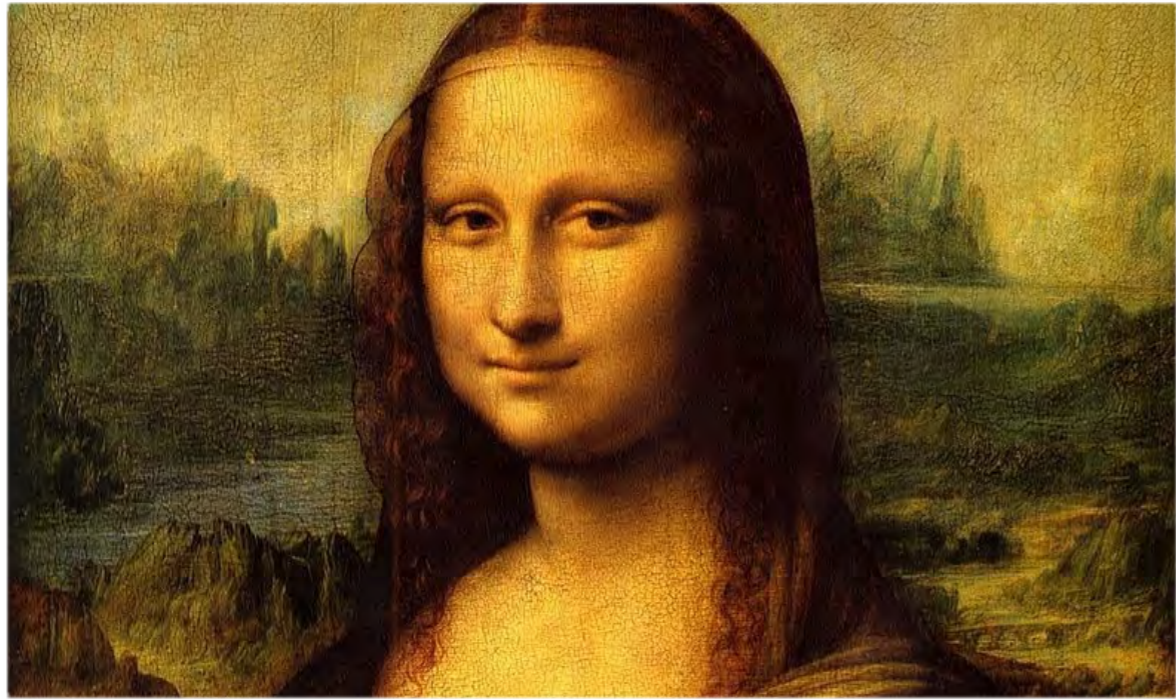
Matrix

Matrix Grootte = $N \times N$
Aantal onbekenden = N

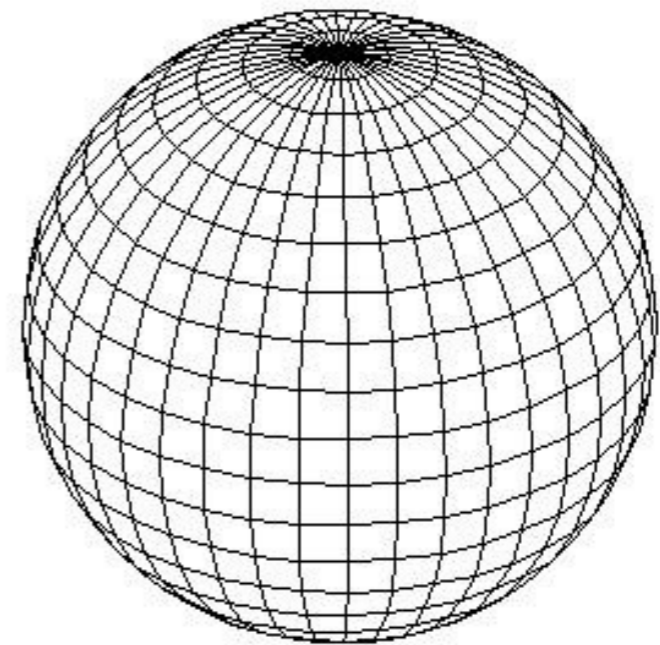
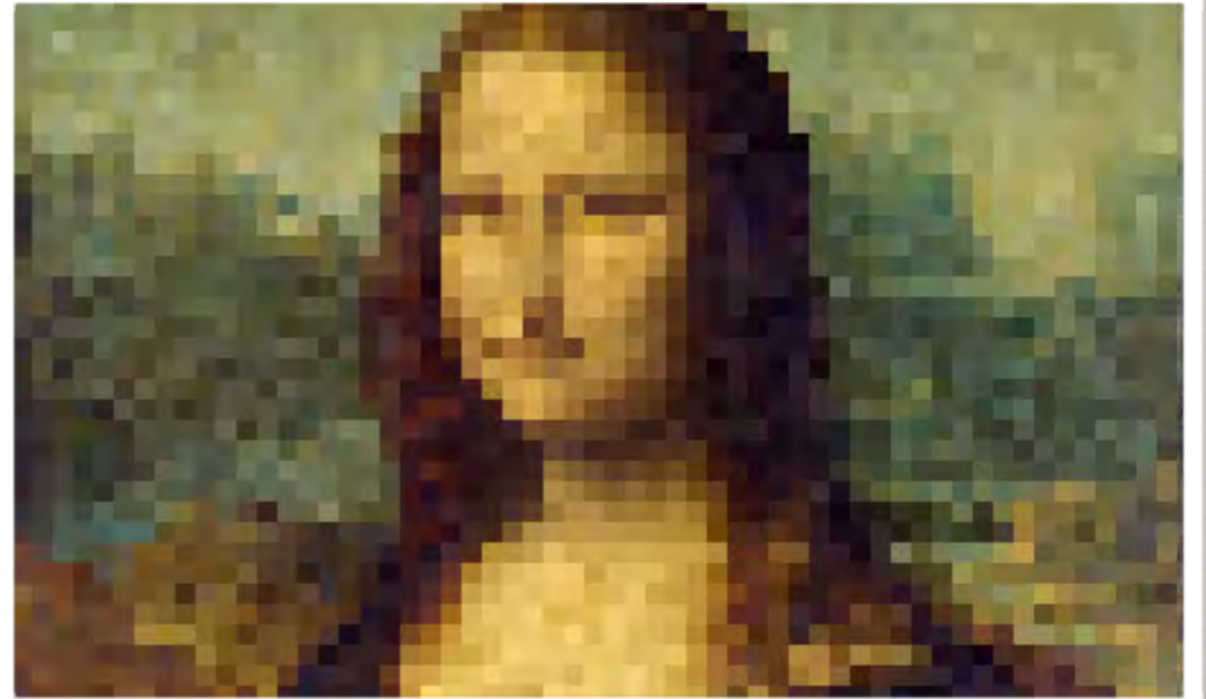


$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 3 & 1 \\ 2 & 4 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

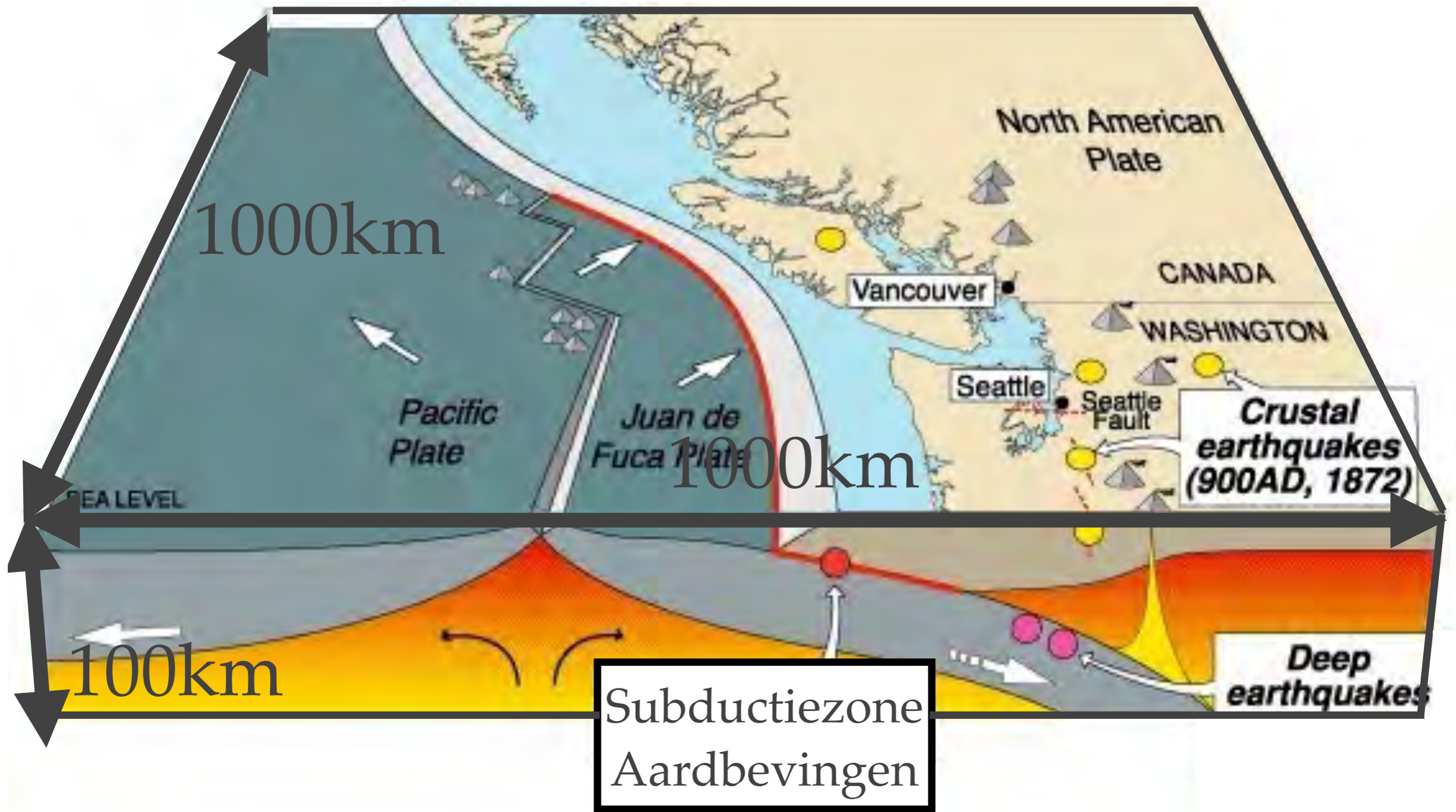
Realiteit



Computerwereld



Aantal onbekenden
= aantal roosterpunten



gewenste resolutie $\sim 1 \times 1 \times 1 \text{ km}$
> 100 miljoen onbekenden
> matrix = 100 miljoen x 100 miljoen
> $10^{16} = 100000000000000000000$ getallen
> 1 getal \leftrightarrow 8 bytes

minimaal 10^{16} operaties
> gemiddelde snelheid van
een processor $\sim 10 \text{ Gflop/sec}$
> 1 miljoen seconden



krachtige computers wanted !!!

De wereld van supercomputers



#2 in de wereld !

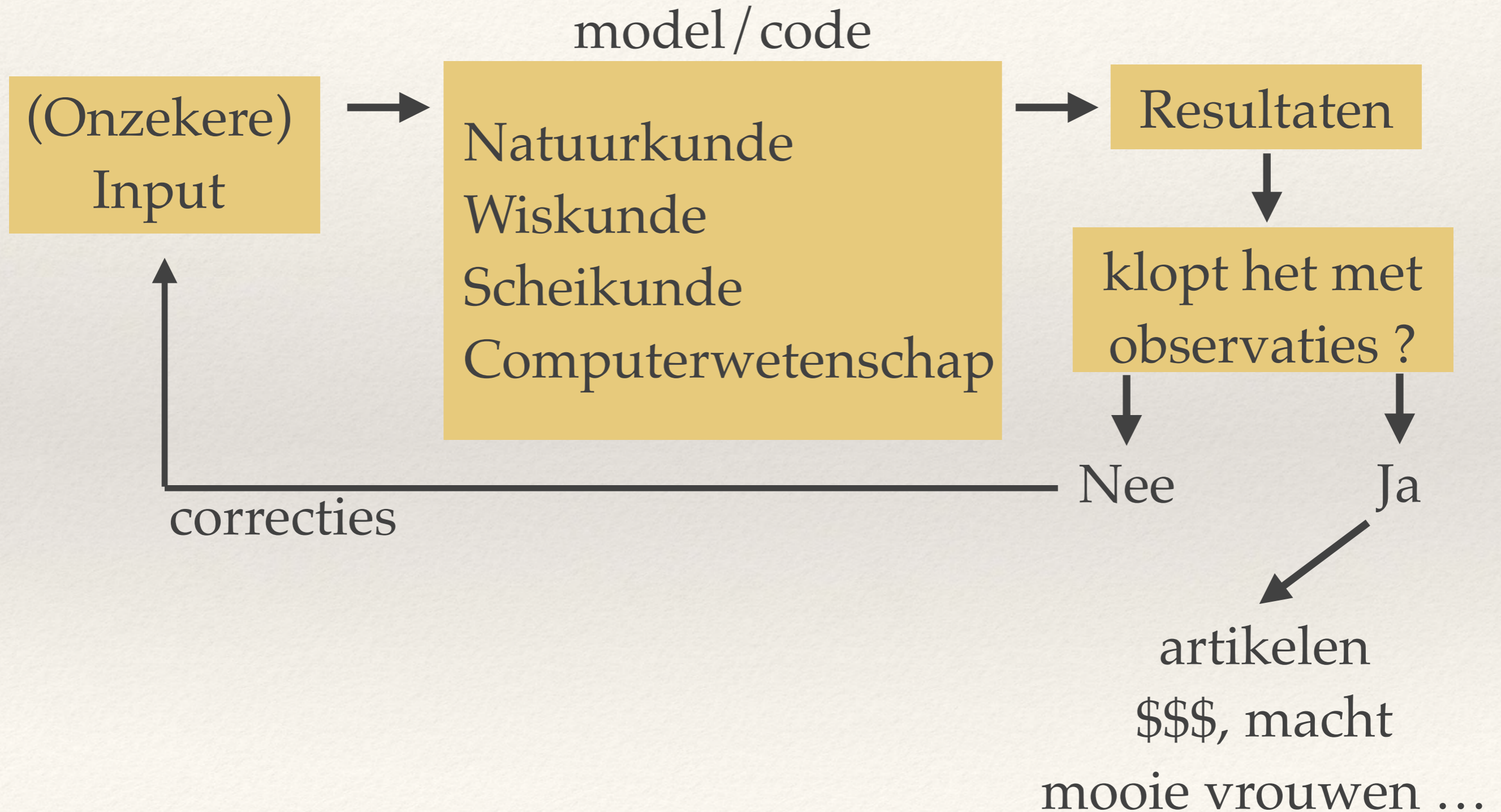
- 552,960 processoren
- 700 000 Gbytes geheugen
- 17.6 petaflops = 17 600 000 000 000 000 operaties / seconde

De wereld van supercomputers

- elektriciteitsconsumptie -> \$3.5 miljoen per jaar
- geproduceerde warmte -> verwarming
- gebruikt door
 - google, facebook, ...
 - oliemaatschappijen
 - KNMI
 - het leger
 - wetenschappers



Methodologie





Mantel convection
met de **ASPECT** code

1200 processoren
~24h rekestijd

Subductiemodellering

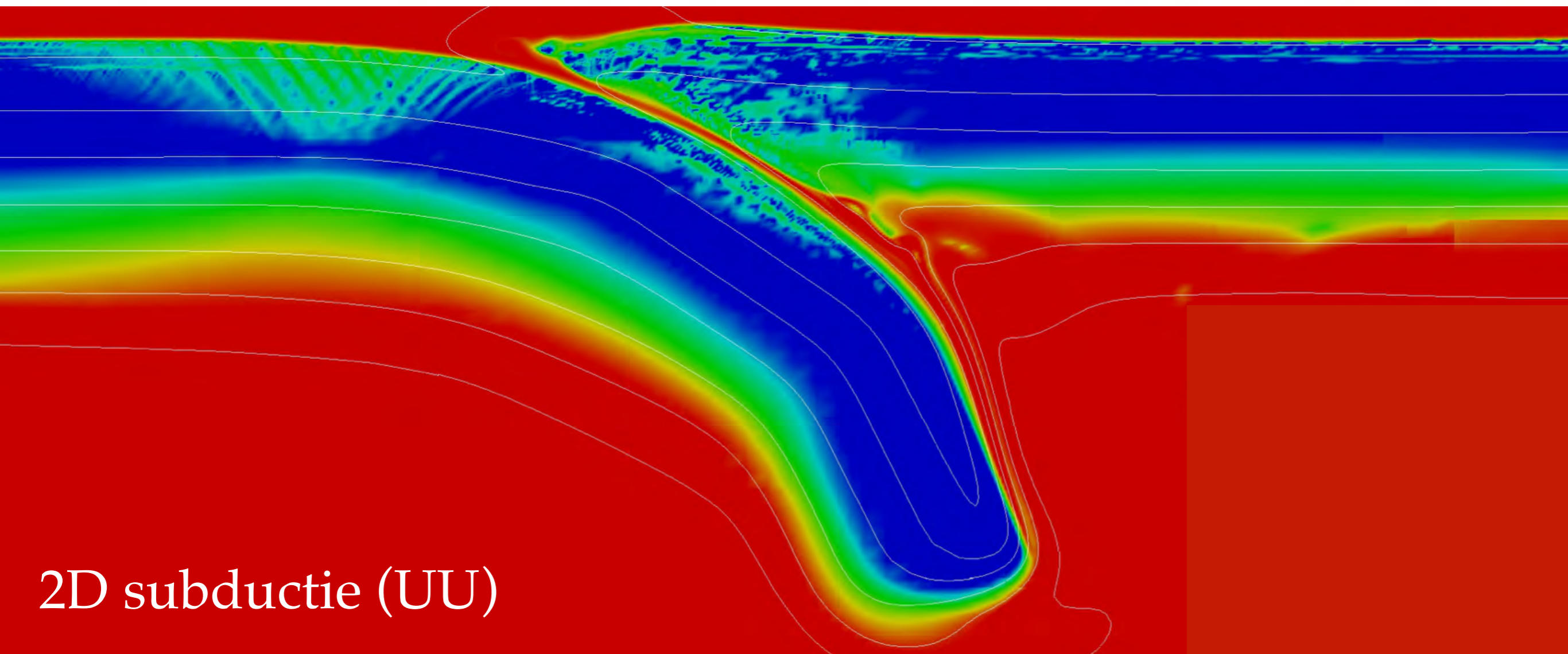
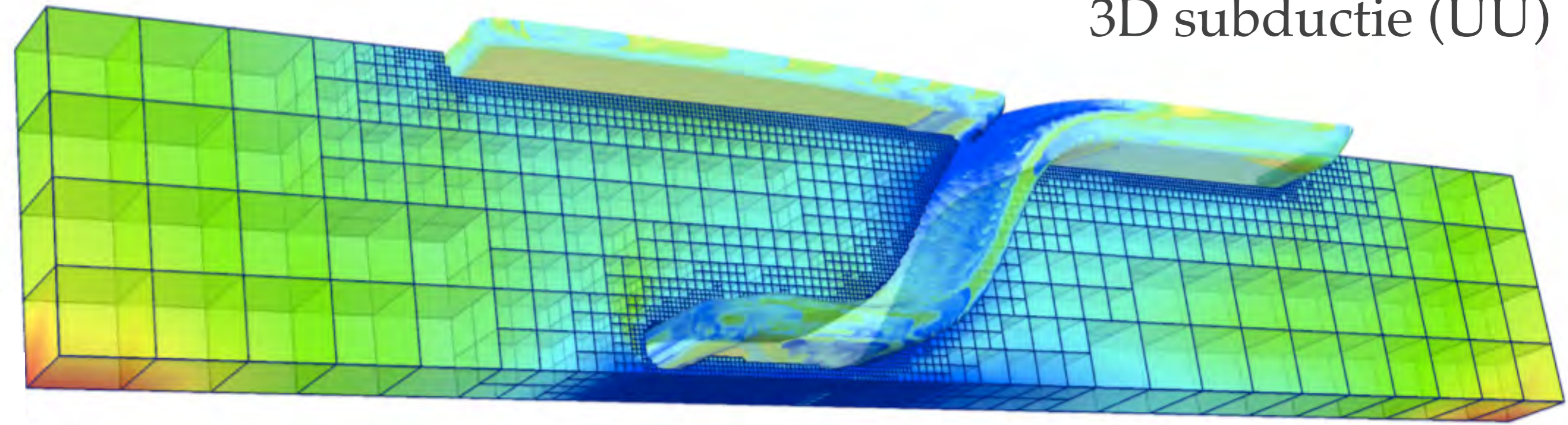
A cross-sectional diagram of a subduction zone. The top layer is a thin grey line representing the atmosphere. Below it is a thin brown layer representing the crust. A red diagonal line indicates a subducting slab. The main body of the diagram is a blue grid representing the mantle. The text 'Materialen' is overlaid on the left side of the blue grid.

Materialen

A cross-sectional diagram of a subduction zone, similar to the one above. The top layer is a thin grey line representing the atmosphere. Below it is a thin brown layer representing the crust. A red diagonal line indicates a subducting slab. The main body of the diagram is a red gradient representing temperature, with the color becoming darker towards the bottom. The text 'Temperatuur' is overlaid on the left side of the red gradient.

Temperatuur

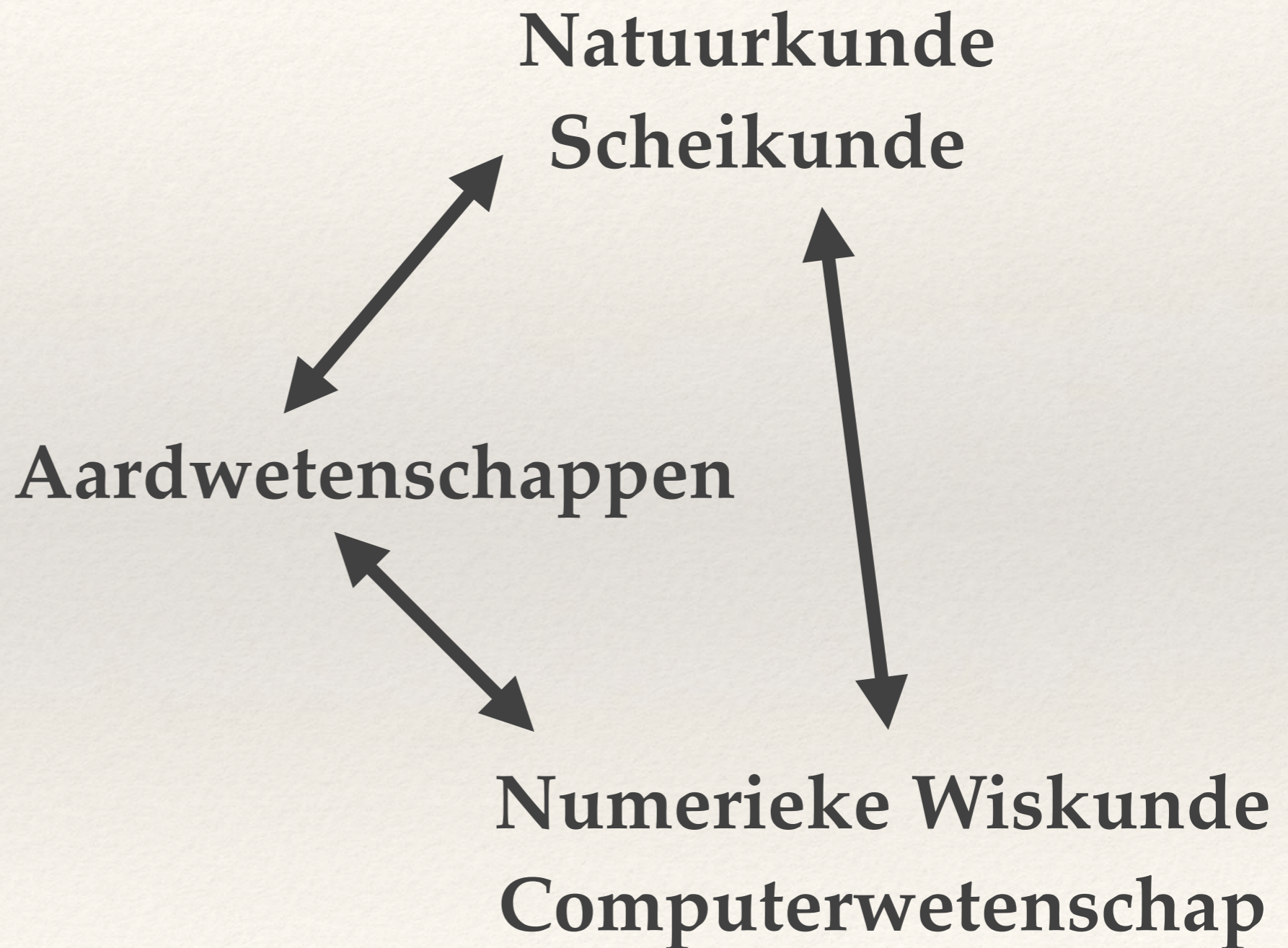
3D subductie (UU)



2D subductie (UU)

Waarom zijn we nooit klaar ?

oceanografie,
atmosfeer evolutie,
geochemie
geophysica
geobiologie
paleontologie
seismologie
geographie
geomorphologie
...





Dank u wel !