

# DE ALPEN GEODYNAMISCH BEKEKEN

Lezing voor GEA Rijnland op 23 april 2019 door Peter Floor

Bijgaande pdf is een iets bewerkte versie van de op de lezing toegelichte Power Point dias.

Zoals gebruikelijk, is bij de samenstelling gebruik gemaakt van afbeeldingen uit bestaande bronnen.

Het kan zijn dat op afbeeldingen auteursrecht berust of dat uit boeken geen afbeeldingen mogen worden gepubliceerd zonder toestemming.

Van ontvangers en lezers wordt verwacht dat zij geen afbeeldingen uit deze presentatie voor eigen gebruik verder reproduceren.

Bronnen:

von Raumer, J.F., F. Bussy, U. Schaltegger, B. Schulz, G.M. Stämpfli - Pre-Mesozoic Alpine basements – their place in the early European Paleozoic framework. GSA Bulletin; Jan.-Febr. 2013; 125, pp. 89-108.

Pfiffner, O.A. – Geology of the Alps, Revised and translated second edition, 2014, 366 pp., Wiley Blackwell.

[www.geodynamalps.org/index\\_en.html](http://www.geodynamalps.org/index_en.html)

Google Chrome

Afbeeldingen uit eigen collecties Peter Floor



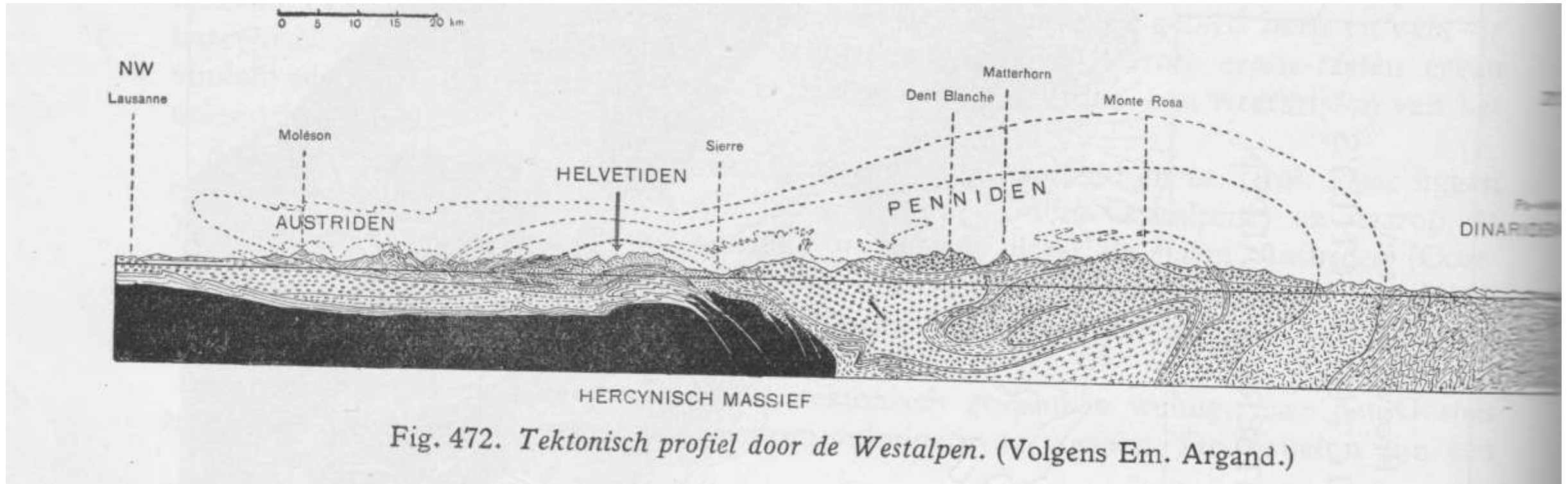
# De Alpen geodynamisch bekeken



GEA Rijnland 23 april 2019

Peter Floor

# Hoofdstructuur van de Alpen midden 20<sup>e</sup> eeuw al goed bekend



# Opeenstapeling dekbladen



Het begon met de geologische kaart,  
voorbeeld Zwitserland, in de loop van de jaren steeds gedetailleerder



Wat er in de Alpen te zien is, is al lang bekend: de geologische kaart en beschrijvingen van de gesteenten. Natuurlijk met interpretaties over de vorming met de kennis van toen. Het *echte hoe en wanneer* werd in de afgelopen 60 jaar geleidelijk toegevoegd, bijvoorbeeld in de vorm van de vóóralpiene geschiedenis, een tektonische kaart en een metamorfe kaart van de Alpen

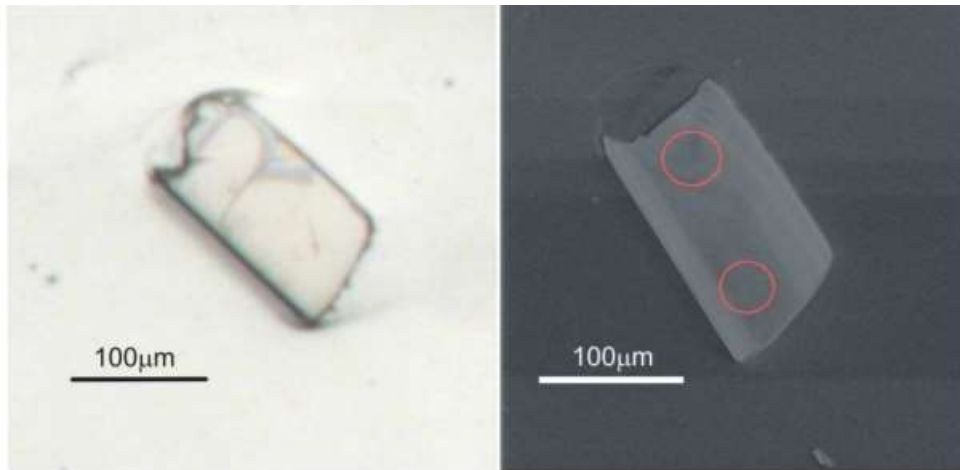
Ik zal proberen een *geodynamisch* beeld van de Alpenvorming te schetsen.

Belangrijkste ontwikkelingen sinds 1952 in het bijzonder op de volgende terreinen

1. Ouderdomsbepalingen door meting radioactieve isotopen
2. Experimentele petrologie en mineralogie
3. Paleomagnetisme
4. Schollentectoniek/continentverschuiving → paleogeografische reconstructies
5. Diepe seismische profielen

*Zo nodig* korte toelichting over elk van deze ontwikkelingen

# 1. Ouderdomsbepaling door meting radioactieve isotopen



Figuur 7.20: 'Target selection' voor ablatie met de laser. Links: Beeld van de zirkoonkorrel met de binoculaire microscoop, ter selectie van inclusievrije, egale inwendige oppervlakken. Rechts: CL-beeld onder de EDS-SEM ter controle van de korrel op zonaties. De geselecteerde 'targets' zijn aangeduid met rode cirkels.

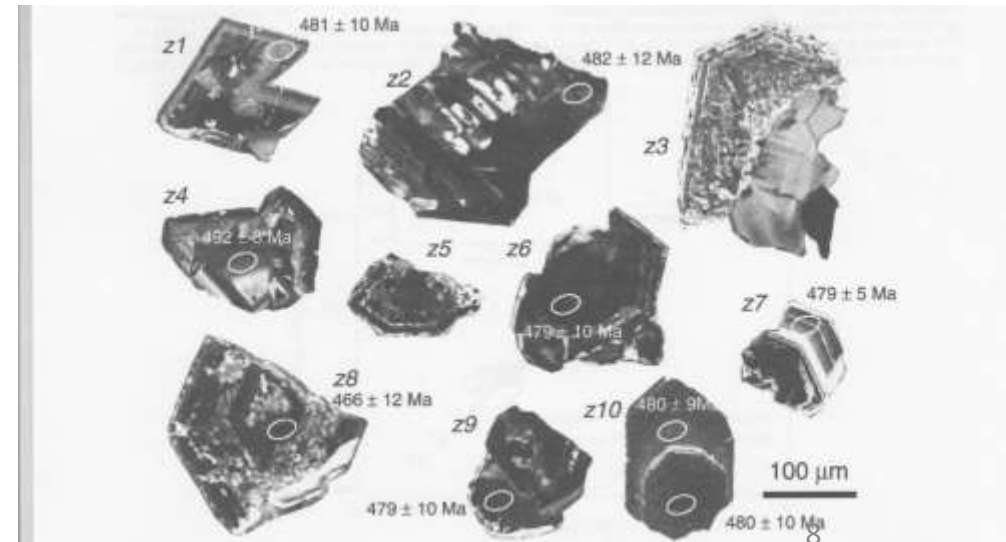
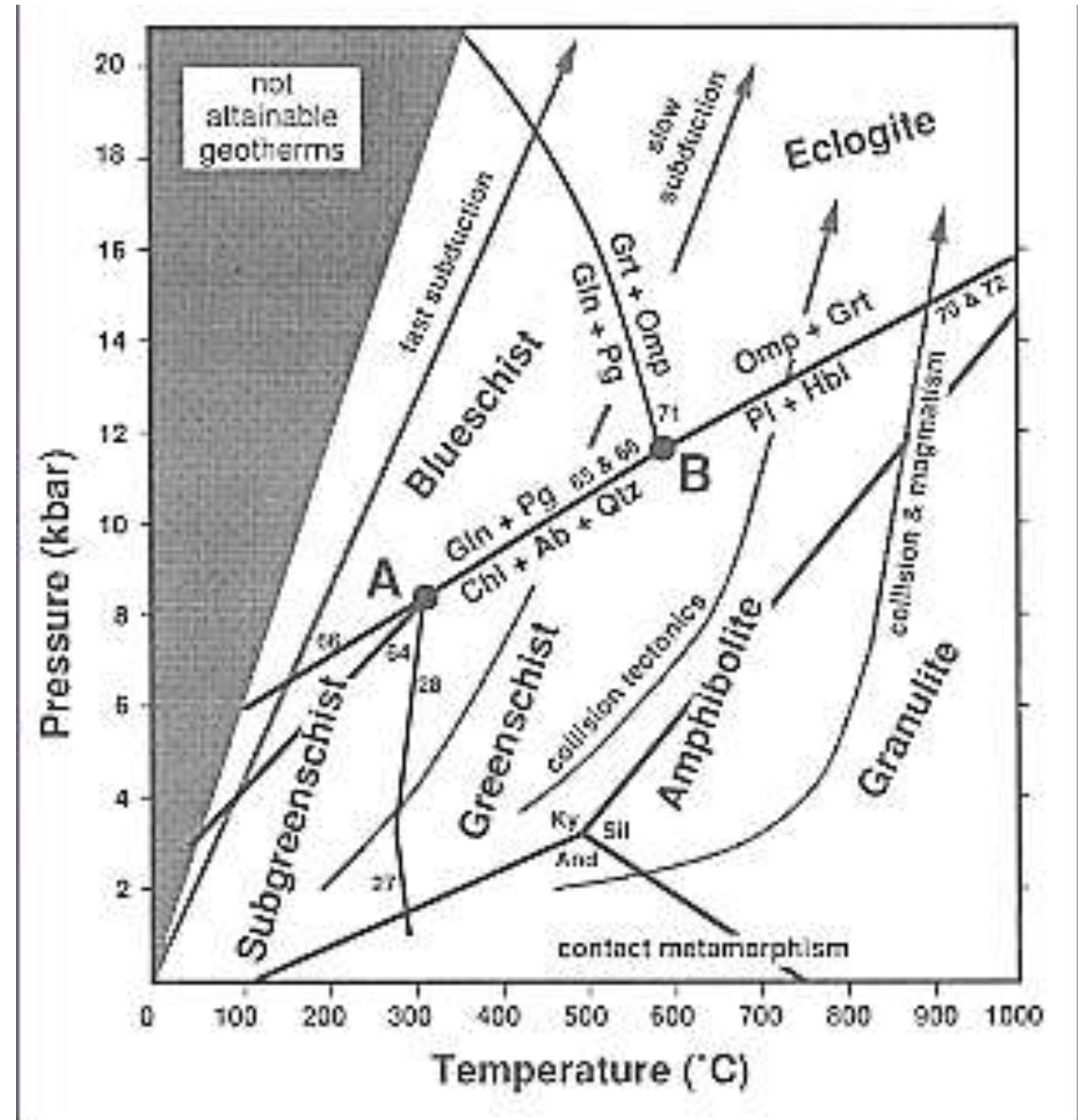
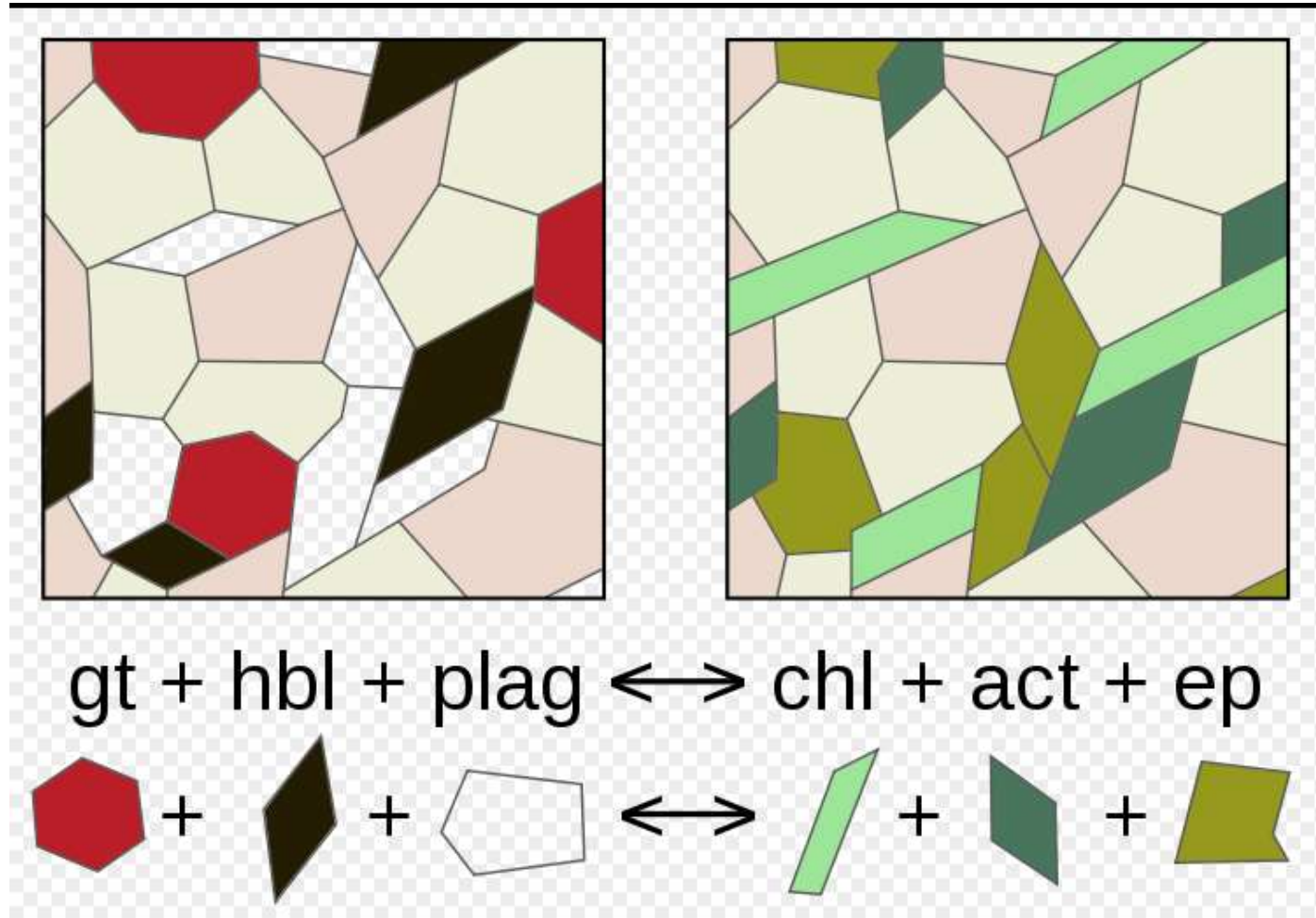


Fig. 6. Cathodoluminescence images of selected Caribbeens zircons. Note the abundance of dark, high U and Th areas and the quantity of inclusions and metamict areas. We attempt to date these zircons by concordance analysis, stepwise enlargements of LA-ICP-MS (owing to its large spot size) that succeeded so far.

## 2. Experimentele petrologie (1)

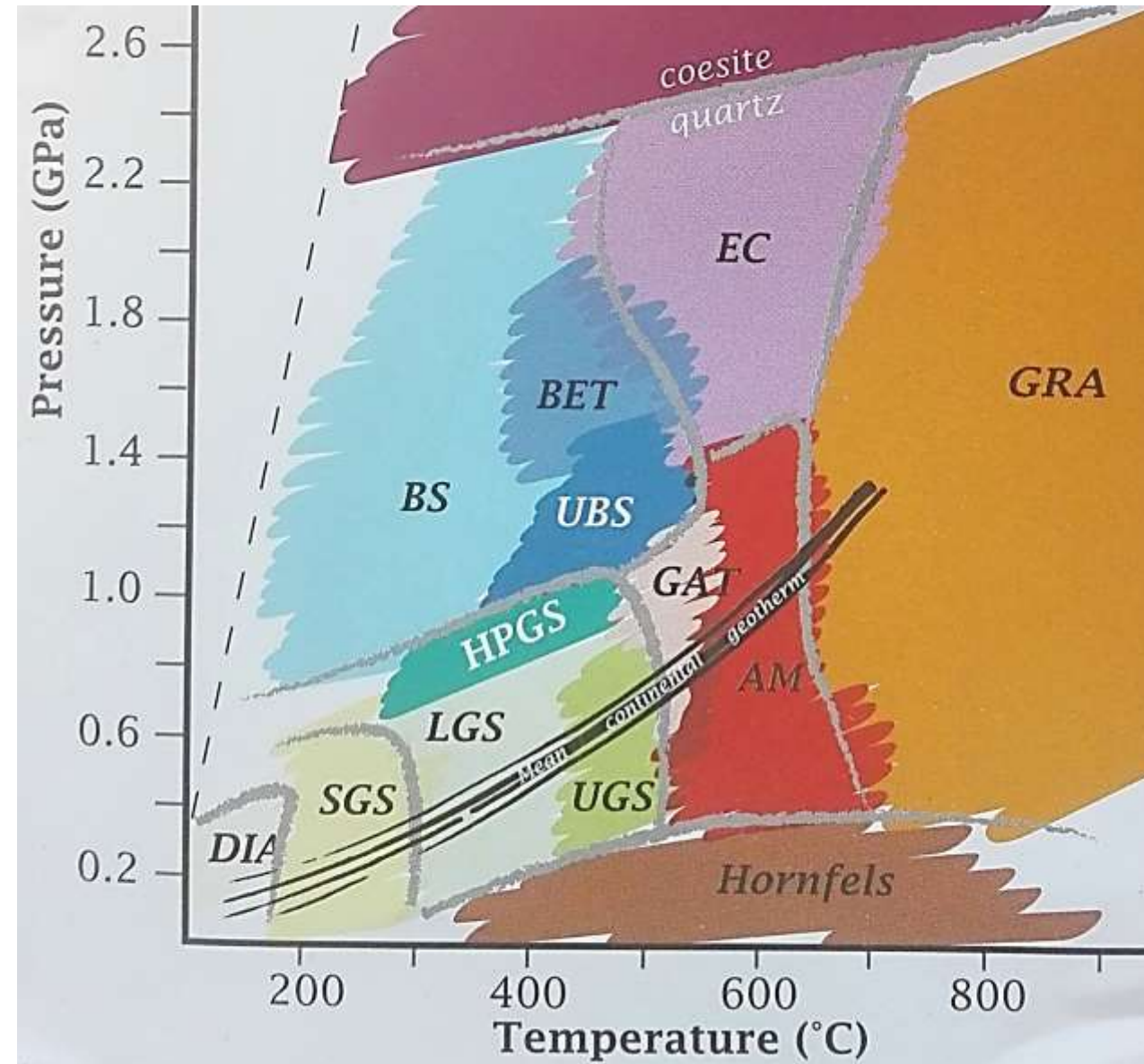
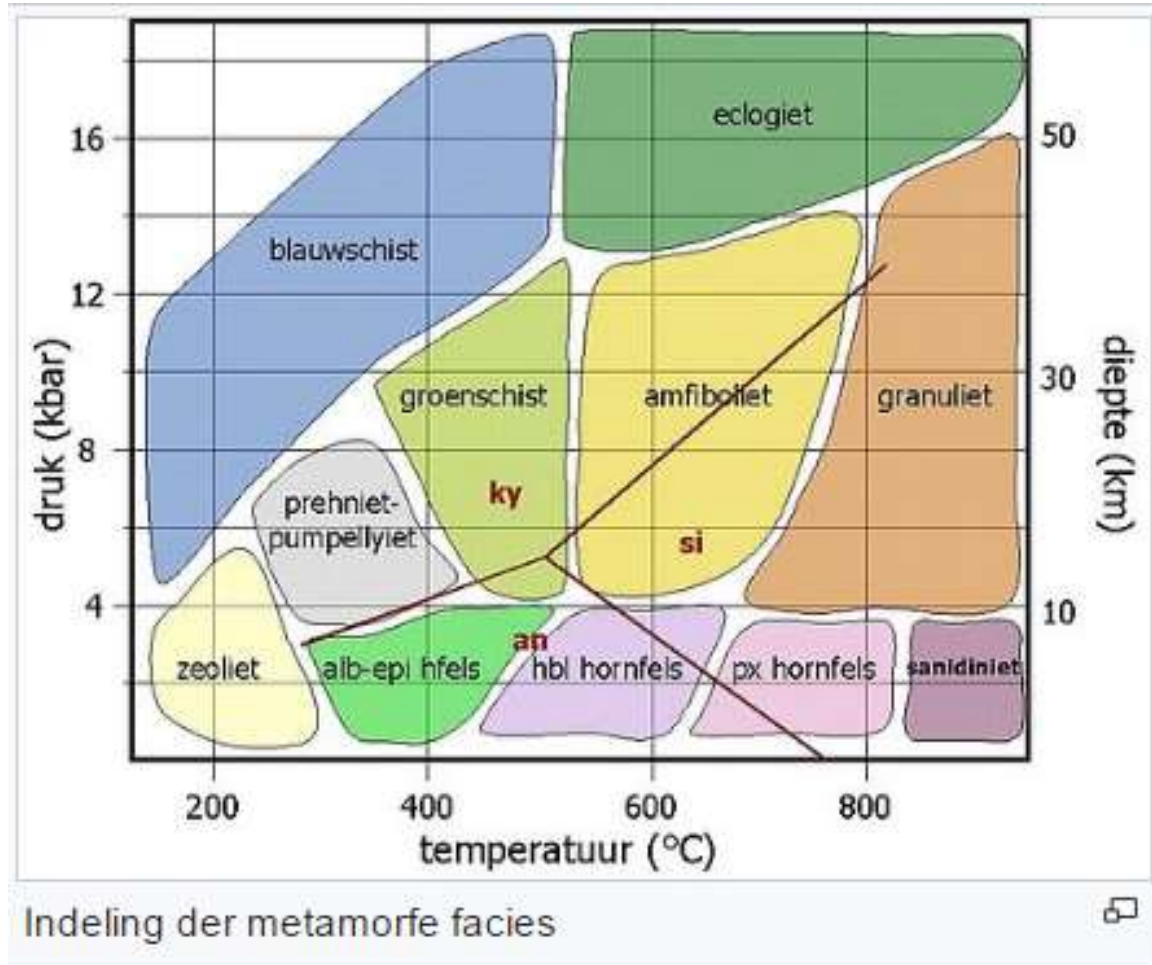


## 2. Experimentele petrologie (2)

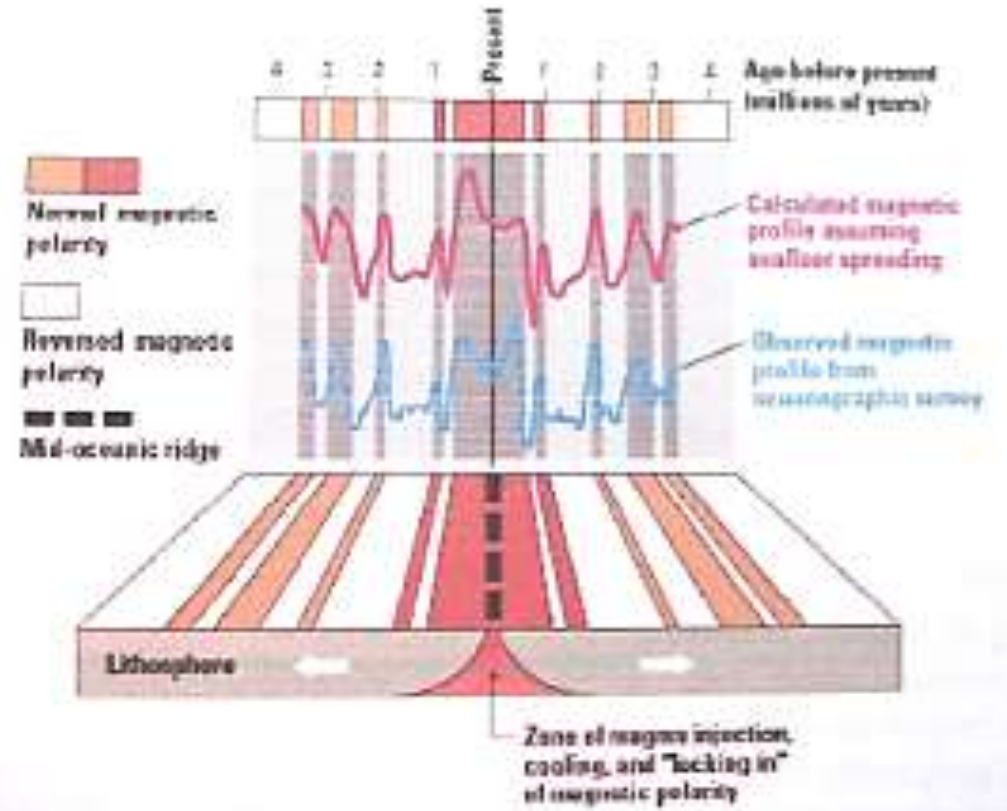
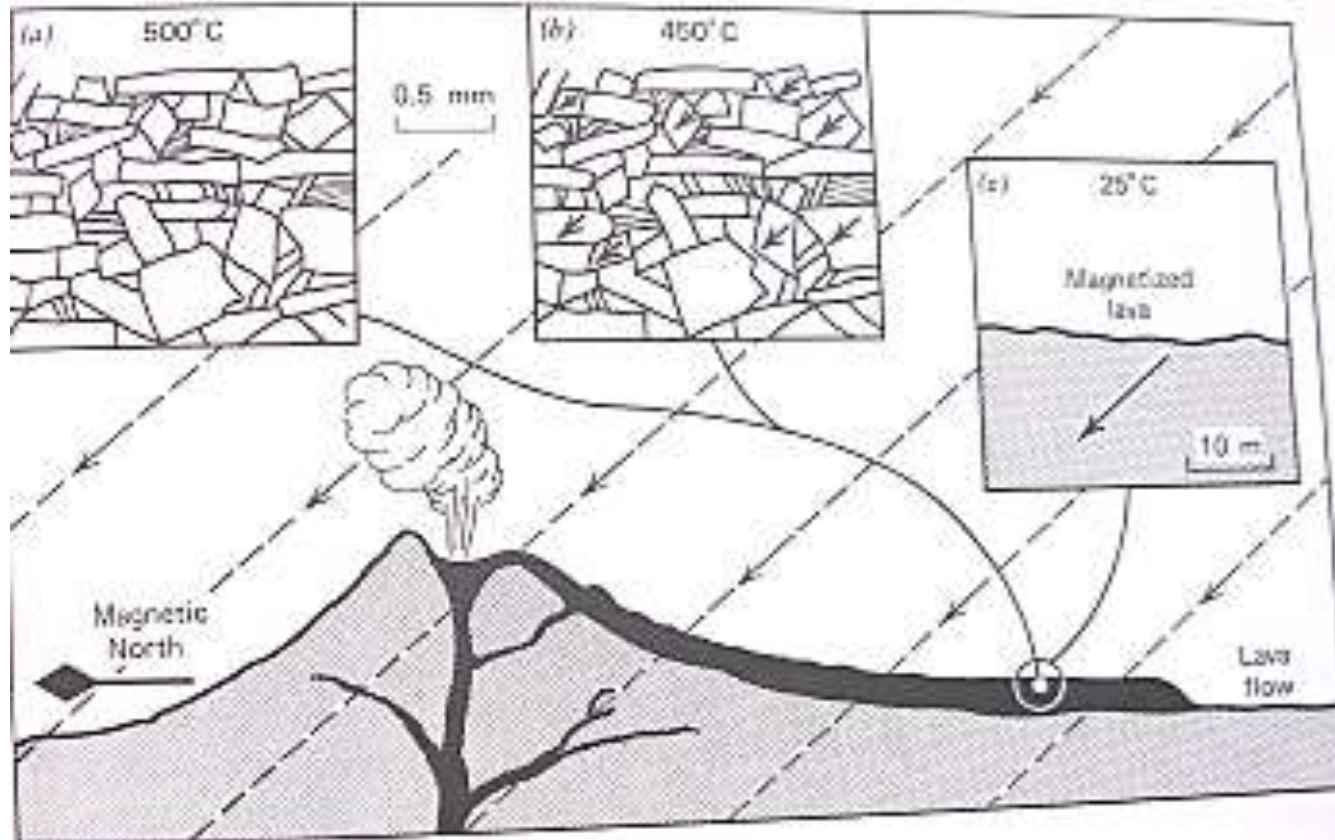


Metamorfe  
rekristallisatie bij  
overgang van  
groenschist facies  
(rechts) naar  
amfiboliet facies (links)  
bij hogere  
temperatuur  
(prograad), of  
omgekeerd  
(retrograad)

## 2. Experimentele petrologie (3)



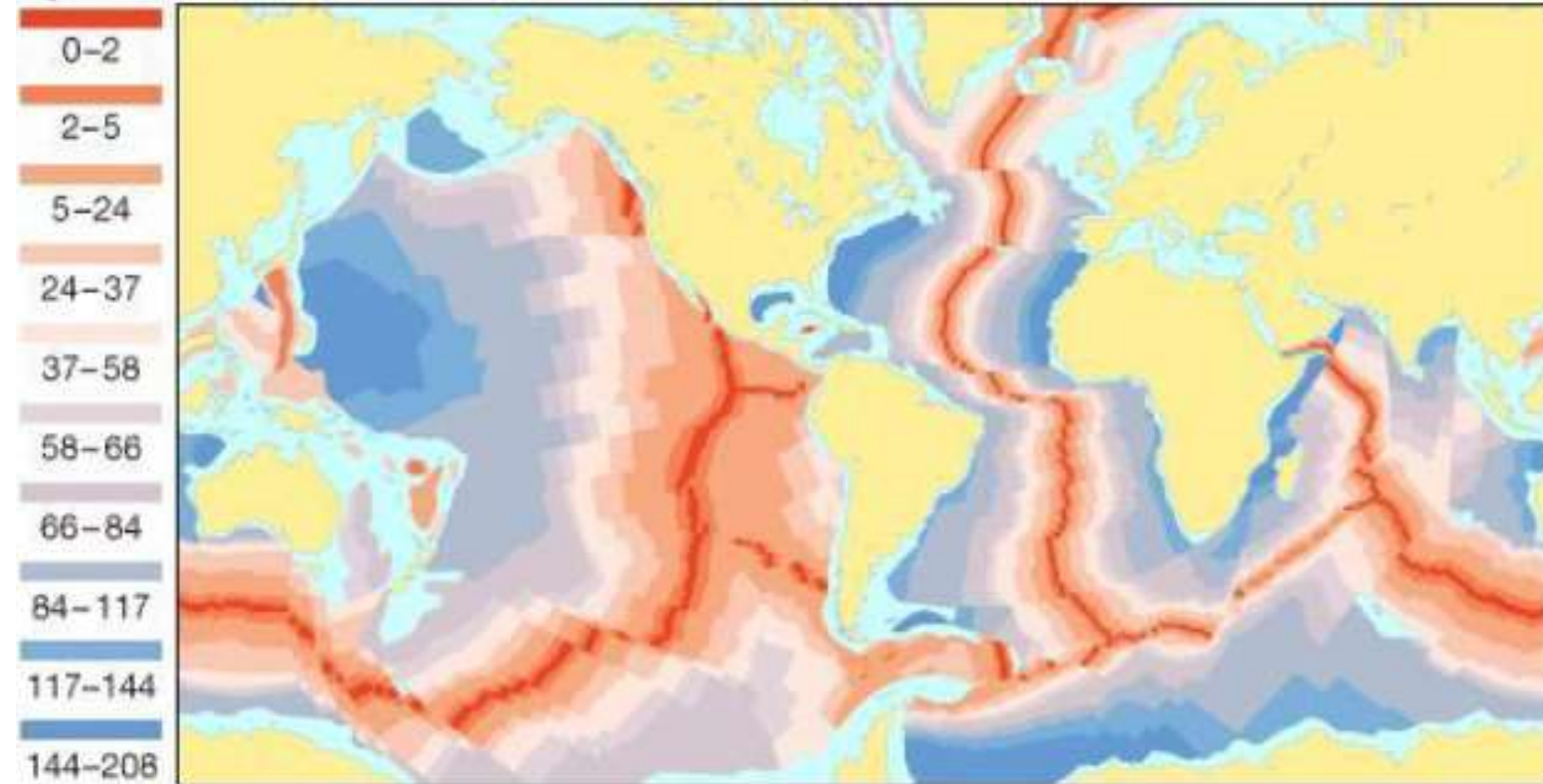
### 3. Paleomagnetisme



## 4. Schollentektoniek/continentverschuiving (1)

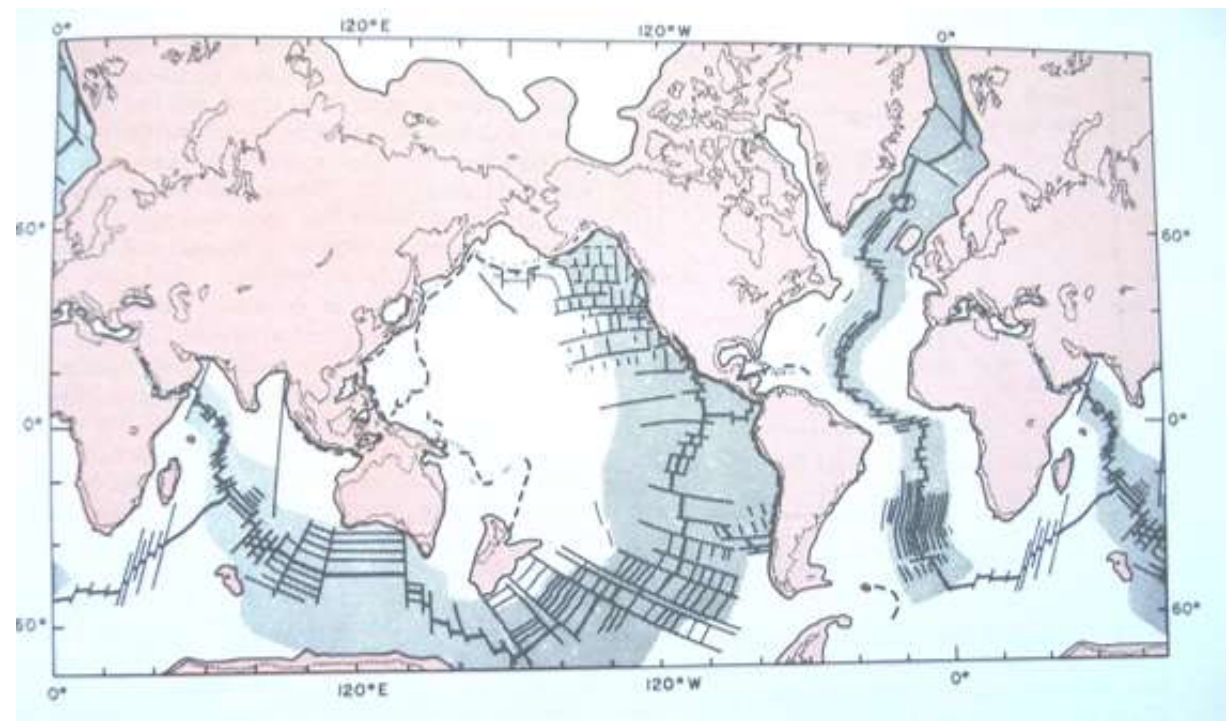
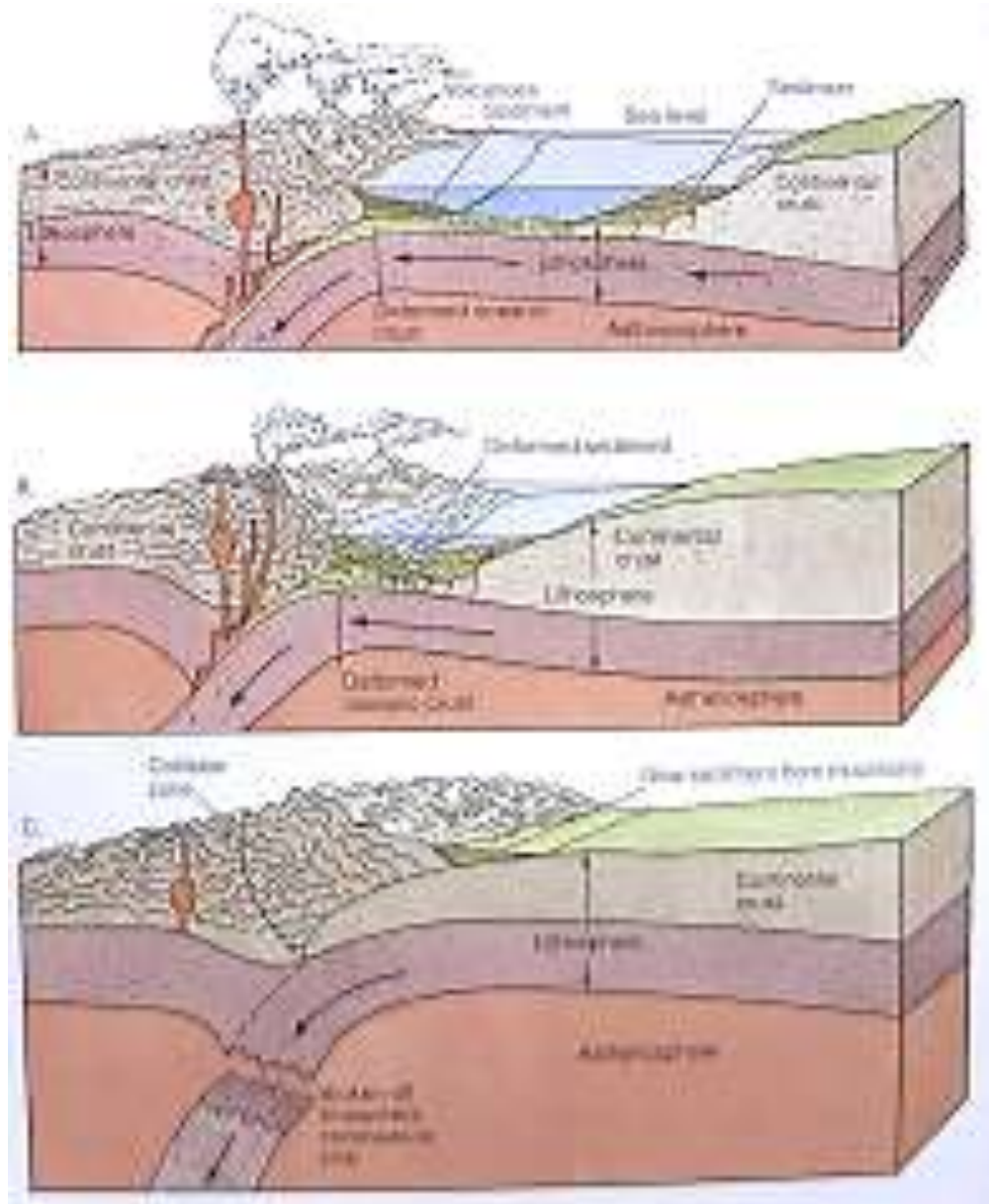


Age of Earth's oceanic crust (in millions of years)



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

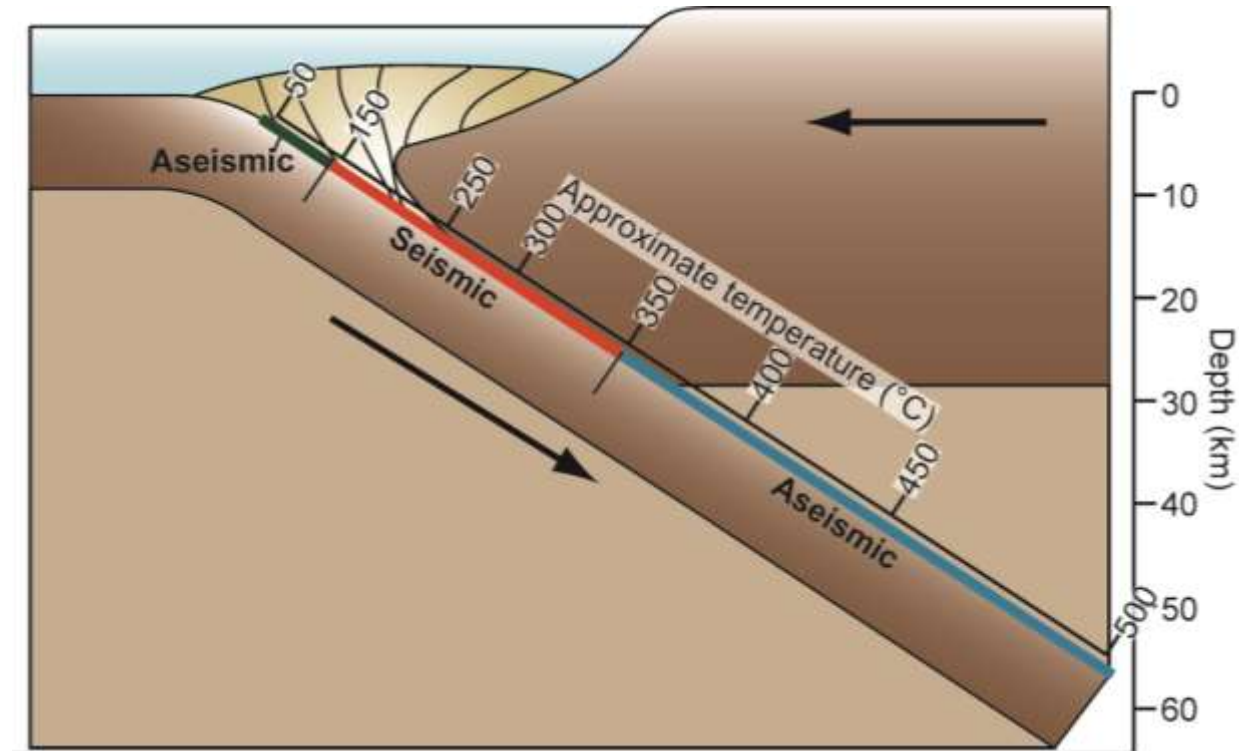
# 4. Scholentektoniek/continentverschuiving (3)



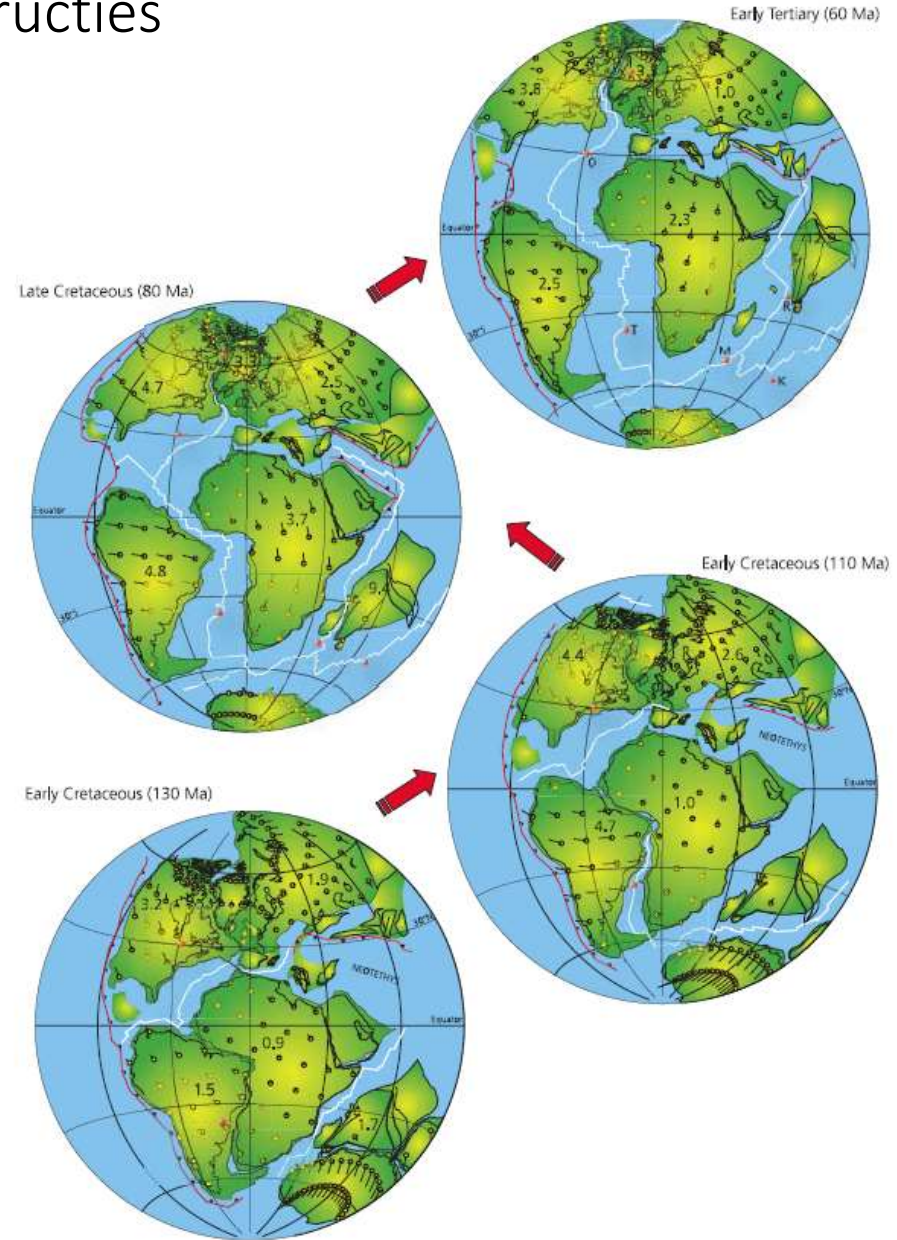
# Implications for subduction megaquakes

## 4. Schollentektoniek/continentverschuiving (4)

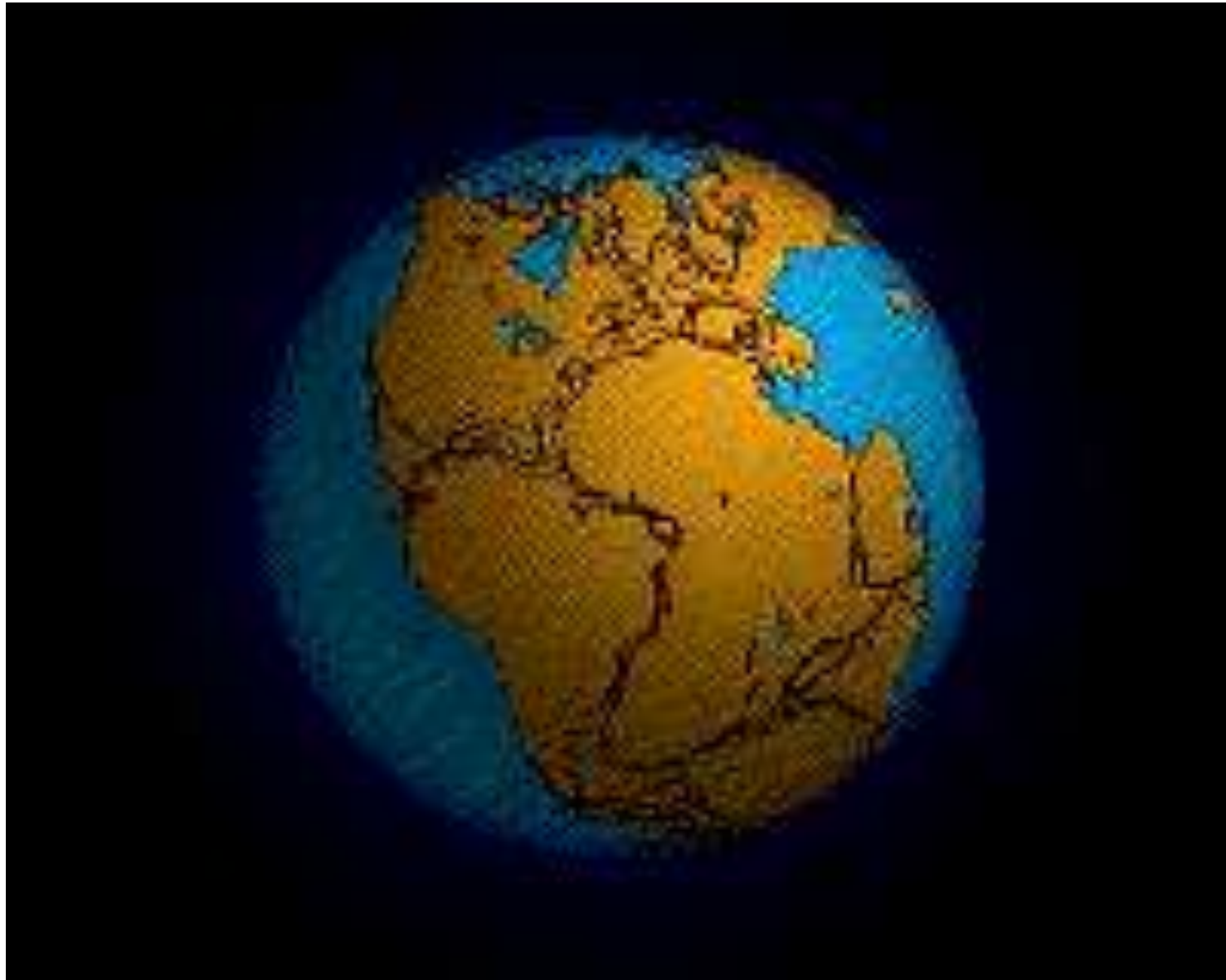
Den Hartog & Spiers  
(JGR, 2014)



# 4. Schollentektoniek/continentverschuiving (5) een paar reconstructies



Global reconstructions and North Atlantic paleogeography 440 Ma to Recent



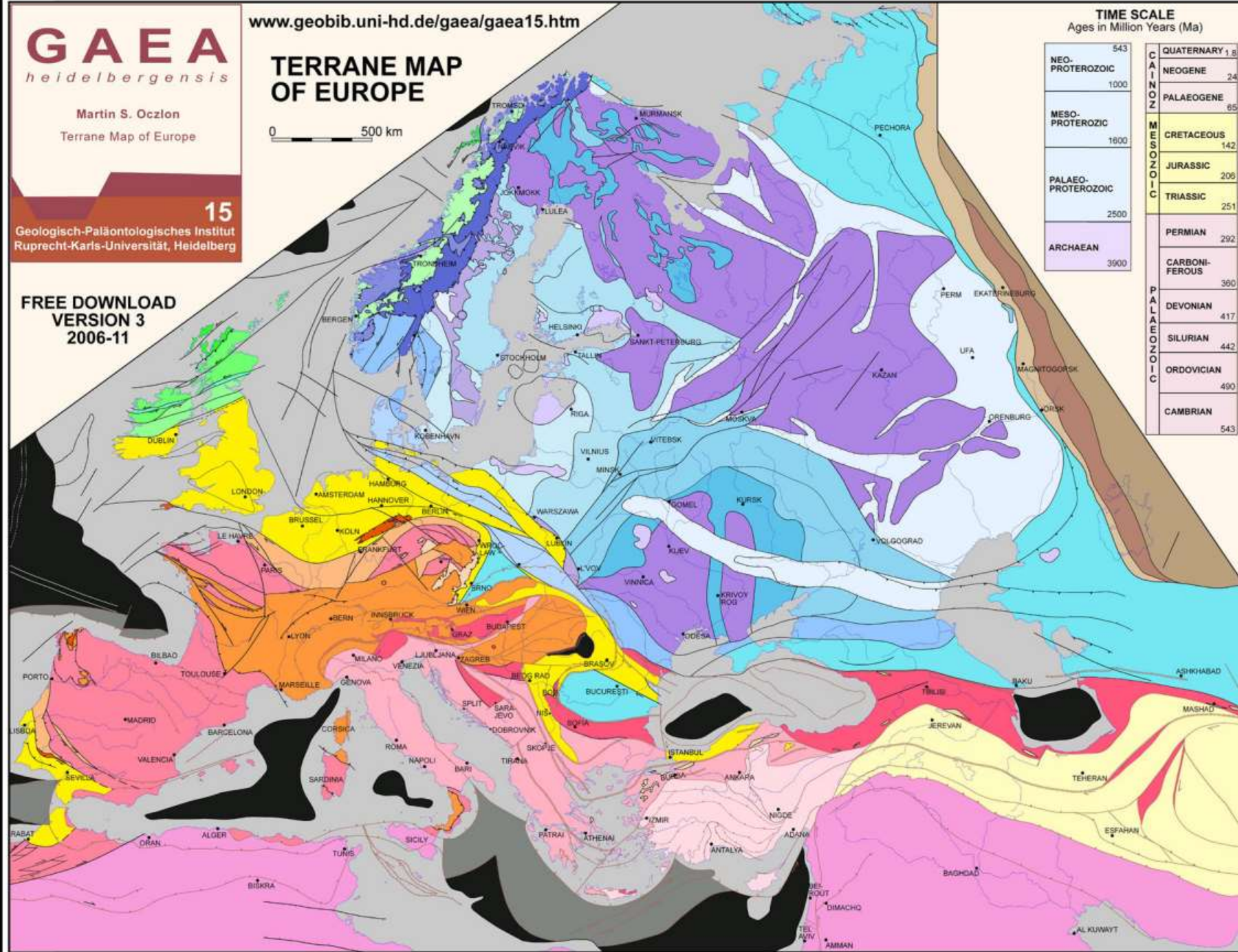


## TERRANE MAP OF EUROPE

0 500 km

**15**  
Geologisch-Paläontologisches Institut  
Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg

FREE DOWNLOAD  
VERSION 3  
2006-11



### TIME SCALE

Ages in Million Years (Ma)

NEO-PROTEROZOIC	543	C A I N O Z O I C	QUATERNARY 1	8
	1000		NEOGENE	24
			PALAEOGENE	65
MESO-PROTEROZOIC	1800	M E S O Z O I C	CRETACEOUS	142
			JURASSIC	208
			TRIASSIC	251
PALAEO-PROTEROZOIC	2500	P A L A E O Z O I C	PERMIAN	292
			CARBONIFEROUS	360
ARCHAEAN	3900	DEVONIAN	417	
		SILURIAN	442	
		ORDOVICIAN	490	
			CAMBRIAN	543

### BALTICA

#### CORE OF EUROPE

- TIME OF ASSEMBLY**
- SILURIAN (CALEDONIAN NAPPEs)
  - NEOPROTEROZOIC
  - MESO-PROTEROZOIC
  - MESO- / NEO-PROTEROZOIC COVER SEDIMENTS
  - PALAEO-PROTEROZOIC
  - ARCHAEAN

### GONDWANA-derived

- TIME OF ACCRETION**
- NEOGENE
  - PALAEOGENE
  - JURASSIC
  - LATE TRIASSIC
  - CARBONIFEROUS
  - LATE ORDOVICIAN-SILURIAN

### LAURENTIA / IAPETUS-derived

- SILURIAN
- SILURIAN (CALEDONIAN NAPPEs: IAPETUS OC. + LAURENTIAN MARGIN)

### WEST-SIBERIA / KASAKHSTAN-CONTINENT

- CARBONIFEROUS-PERMIAN
- CARBONIFEROUS (GONDWANA-derived)
- LATE DEVONIAN (INTRA-OCEANIC ARC)

### URALS

- OCEANIC LITHOSPHERE
- ACCRETIONARY WEDGE

## 5. Diepe seismische profielen

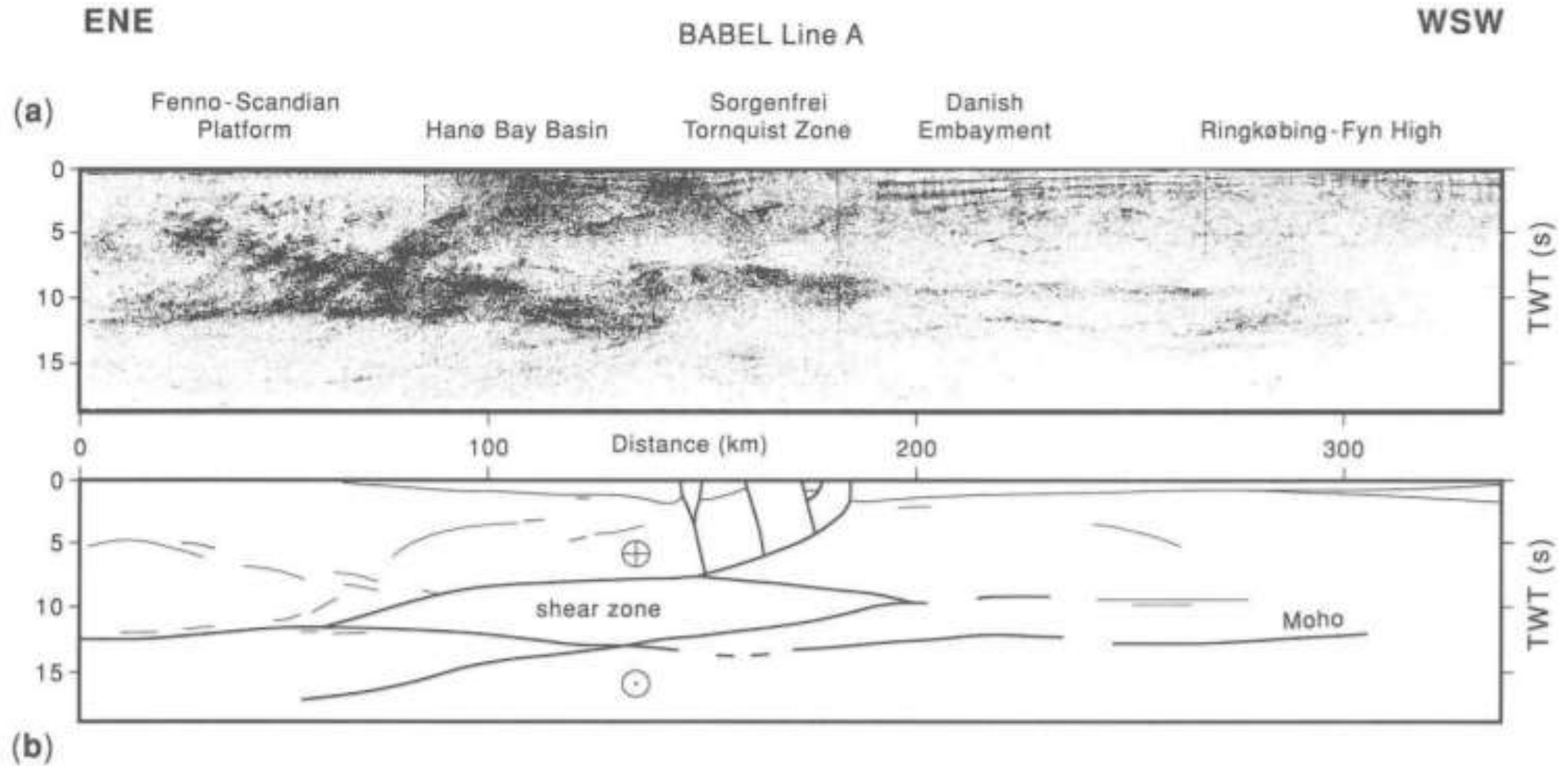
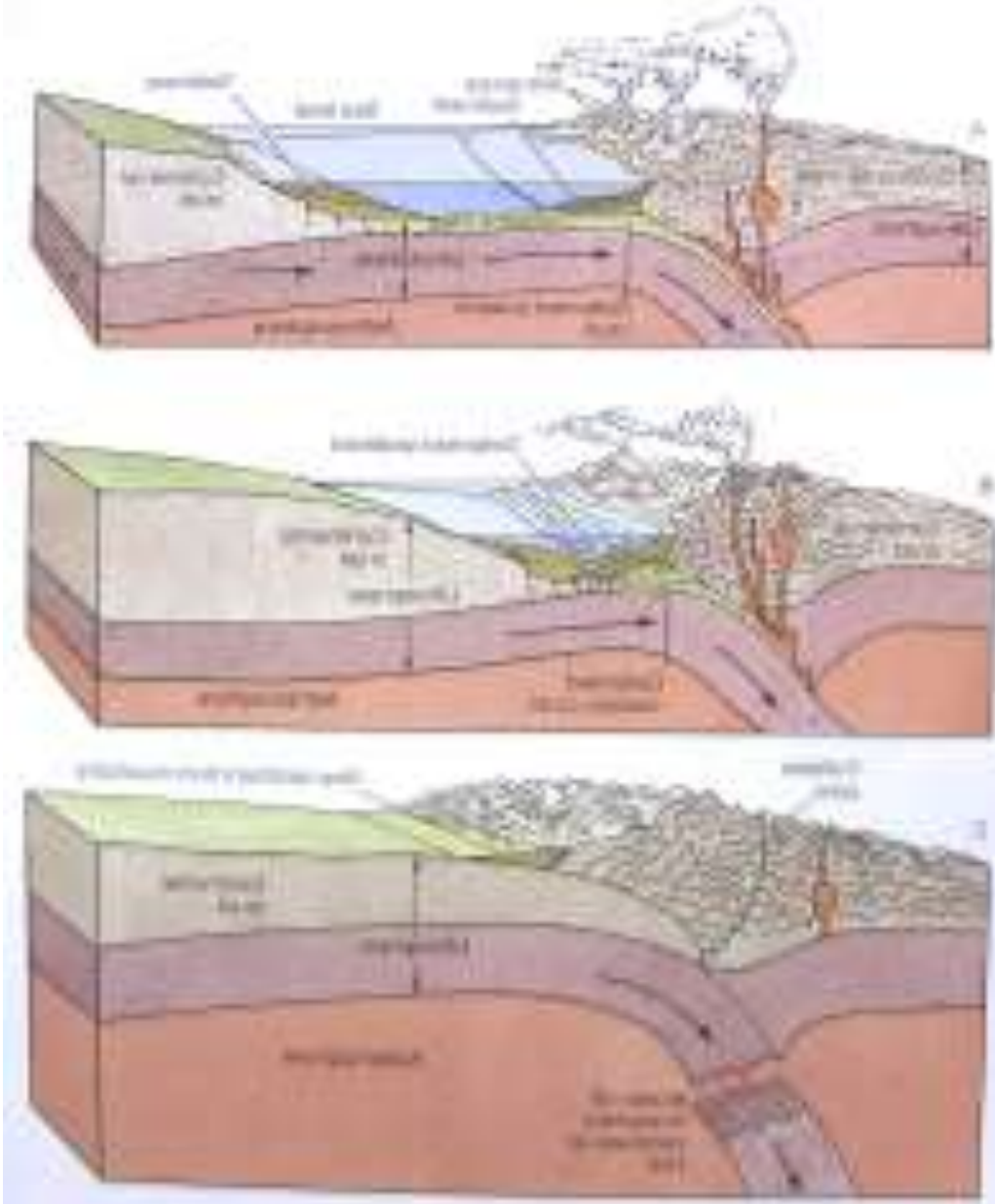


Figure 3-7. (a) Deep seismic reflection section of part of BABEL line A across the Sorgenfrei Tornquist zone near Bornholm, southern Baltic sea (for location see Figures 3-1). (b) Interpretation of record section showing transfer of faults at mid-crust to a region of distributed shear in the lower crust, and in turn to a dipping shear zone in the upper mantle (Blundell and BABEL Working Group 1992).

## Kijken hoe de algemene gang van zaken in de Alpen is verlopen

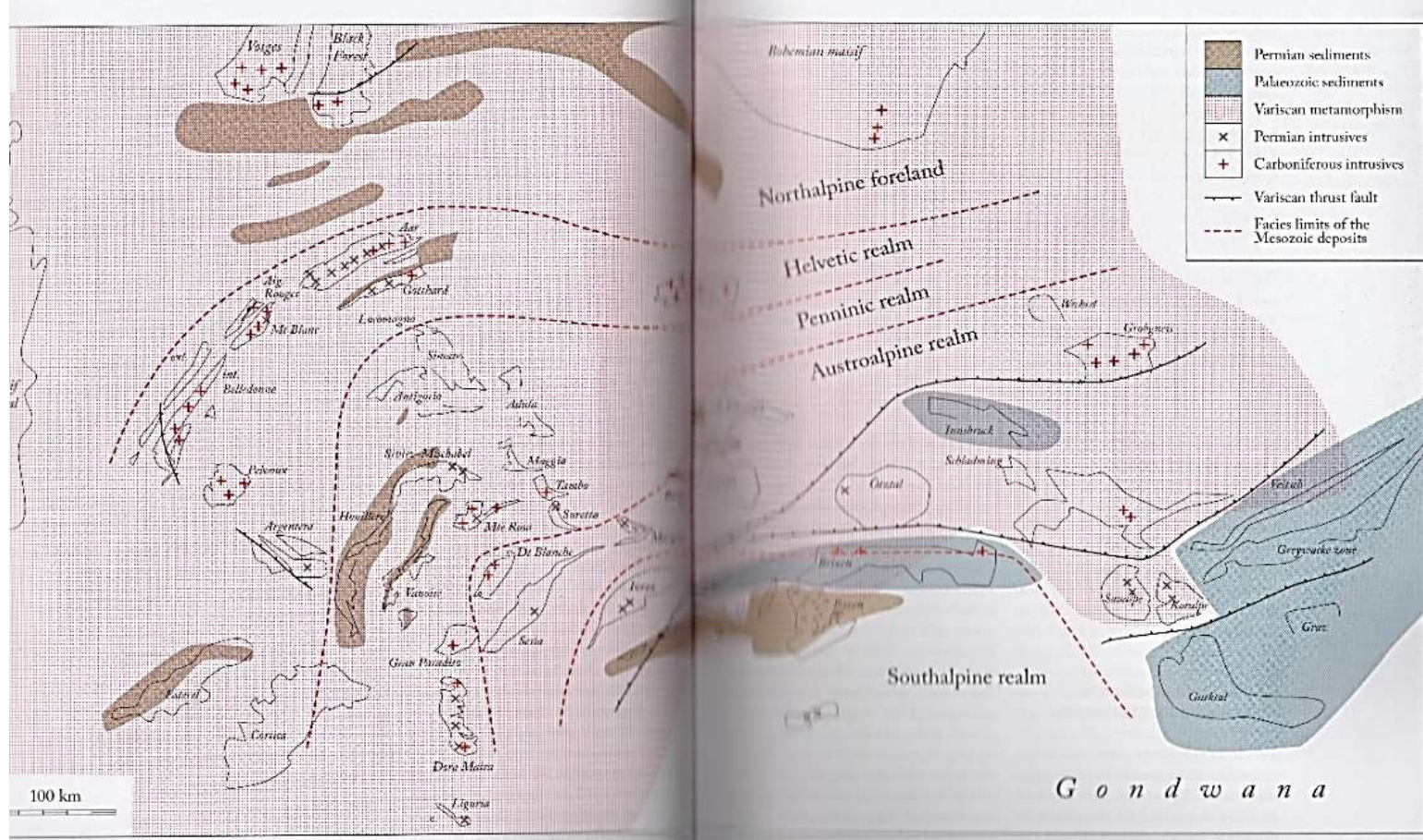


- Gondwana/Arabië → Eurazië:
- Subductie maakt beweging mogelijk
- Aanvankelijk oceaan tussen de continentale schollen
- Aan beide kusten afzetting van erosieproducten(=sedimenten) in zee
- Andere sedimentatie in diepe dan in ondiepe zee
- Bij subductie wordt oceaانبodem met erop liggend sediment de diepte in gesleurd
- Uiteindelijk botsen de continentale platen zelf tegen elkaar
- Daarbij op elkaar duwen gesteente pakketten, plooïing, opheffing, erosie

Werkwijze ook hier met paleogeografische reconstructies, maar nu veel meer in detail.

(Voor beter begrip schema hiernaast gespiegeld)

## Het begin, de pre-Trias (dwz paleozoische) ondergrond



O.A. Pfiffner Geology of the Alps 2nd edition 2014 fig 2.17

De ondergrond bestaat uit restanten van het Variscisch (of Hercynisch) gebergte met daaromheen sedimenten uit Carboon en Perm

# Welke stadia heeft die ondergrond dan al doorlopen?

En nu de Alpen (3/35)

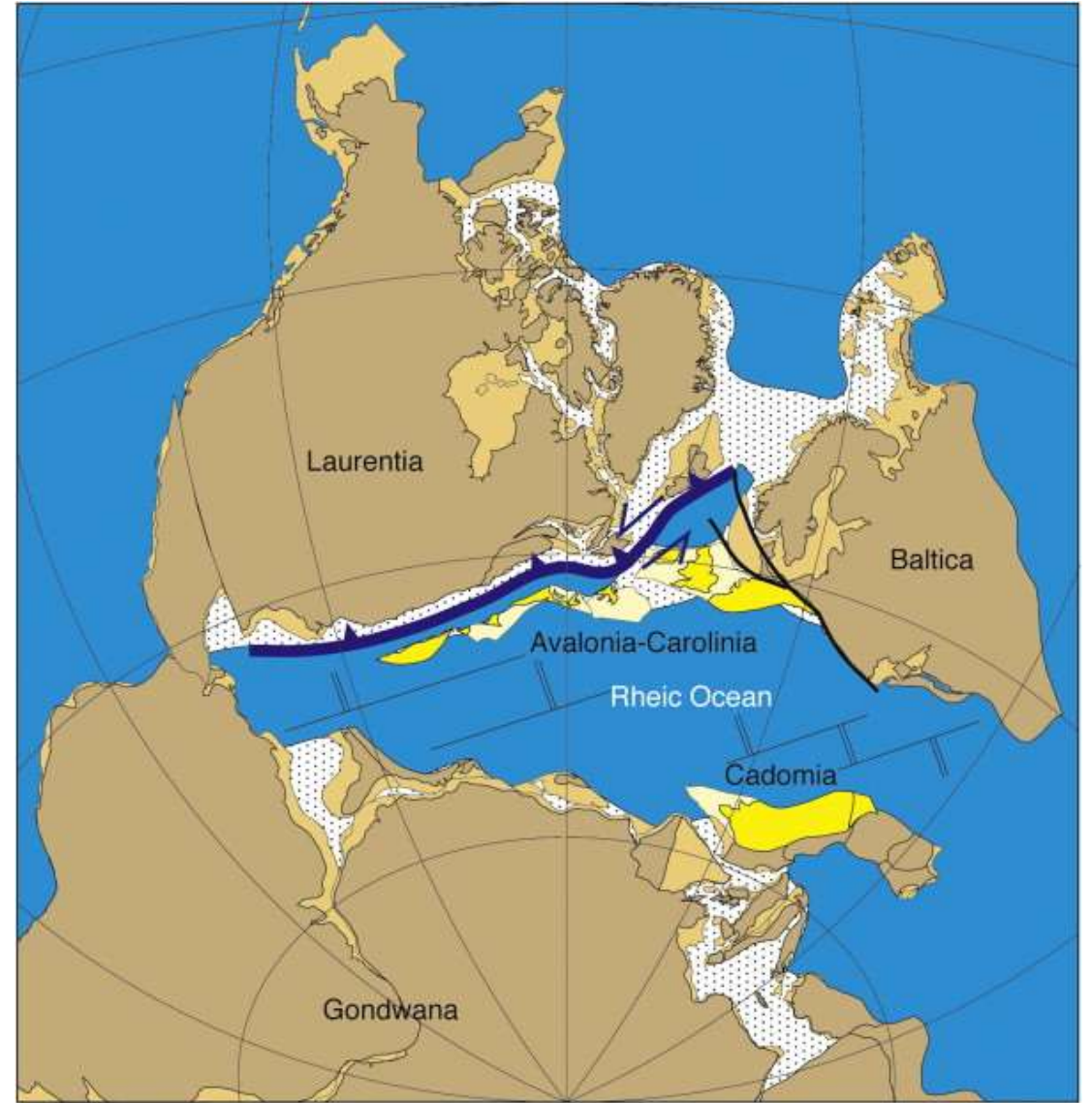
Reconstructie Rheische Oceaan t.t.v.  
sluiting Iapetus Oceaan door subductie →  
onder Laurentia vroeg Siluur +/- 440 mj



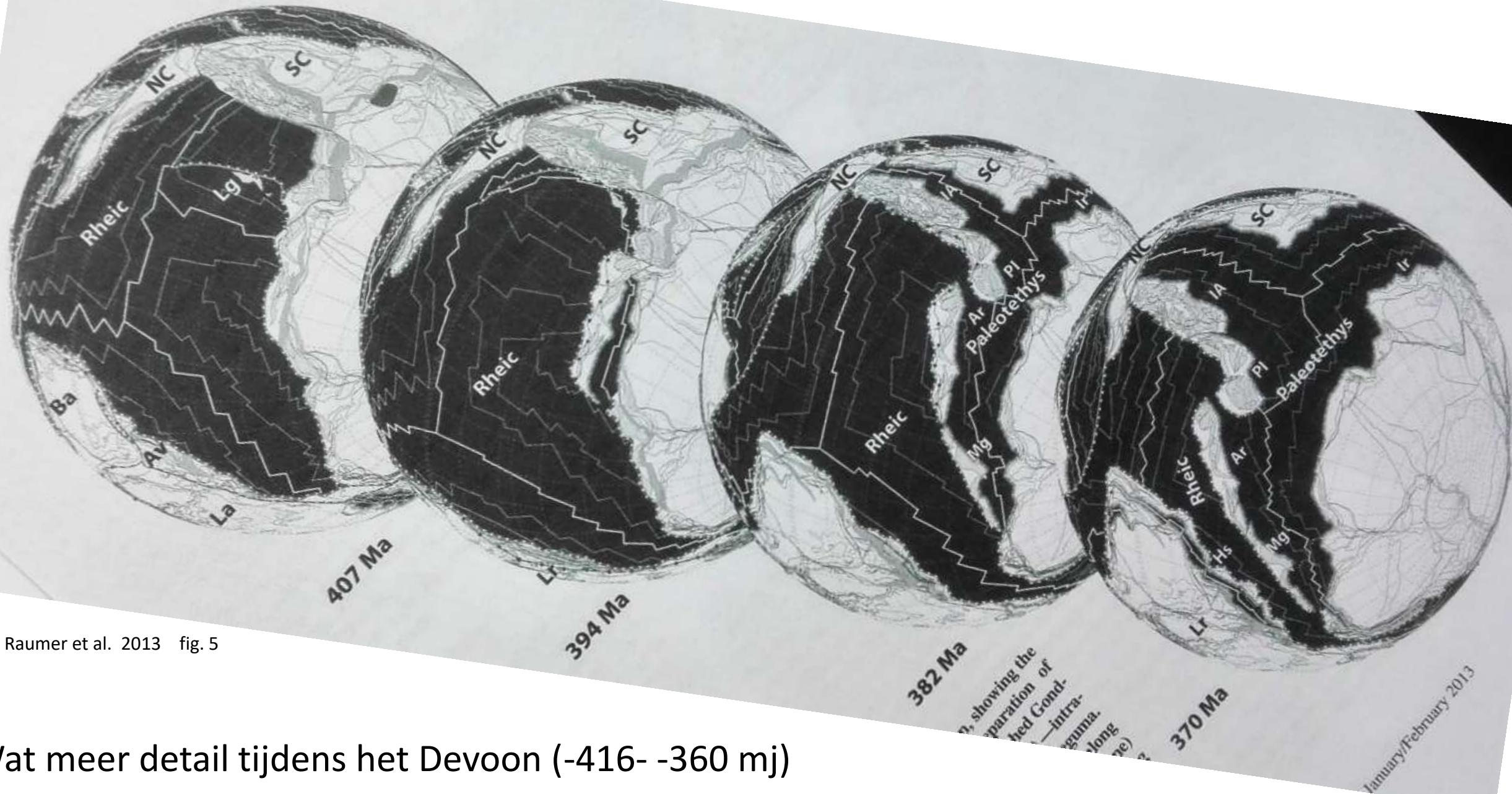
- 419 – - 358 mj

- 443 – - 319 mj

← evenaar!  
- 485 – - 443 mj



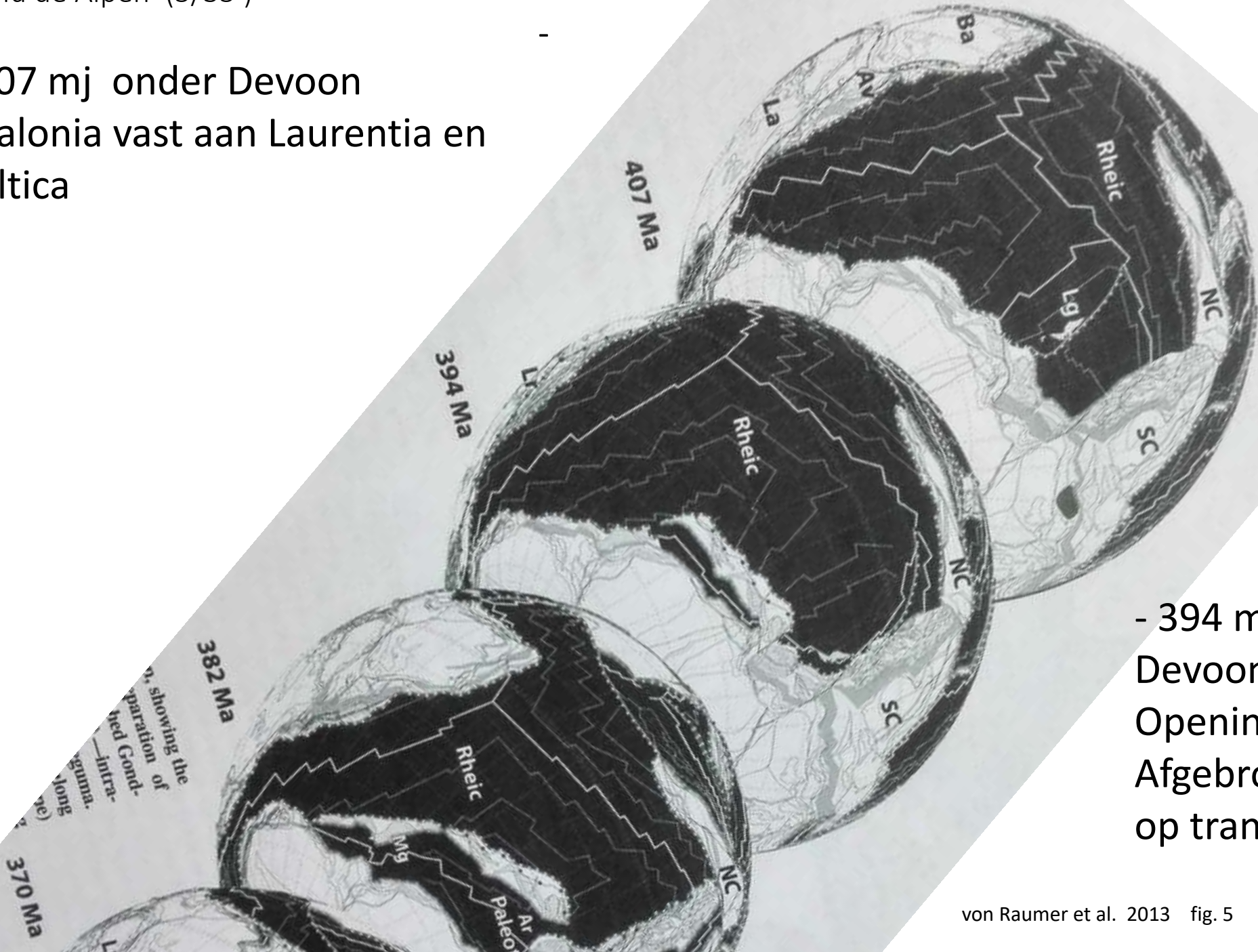
Avalonia (ex-Gondwana) bijna  
onderdeel Baltica+Laurentia



von Raumer et al. 2013 fig. 5

Wat meer detail tijdens het Devoon (-416- -360 mj)

- 407 mj onder Devoon  
Avalonia vast aan Laurentia en  
Baltica

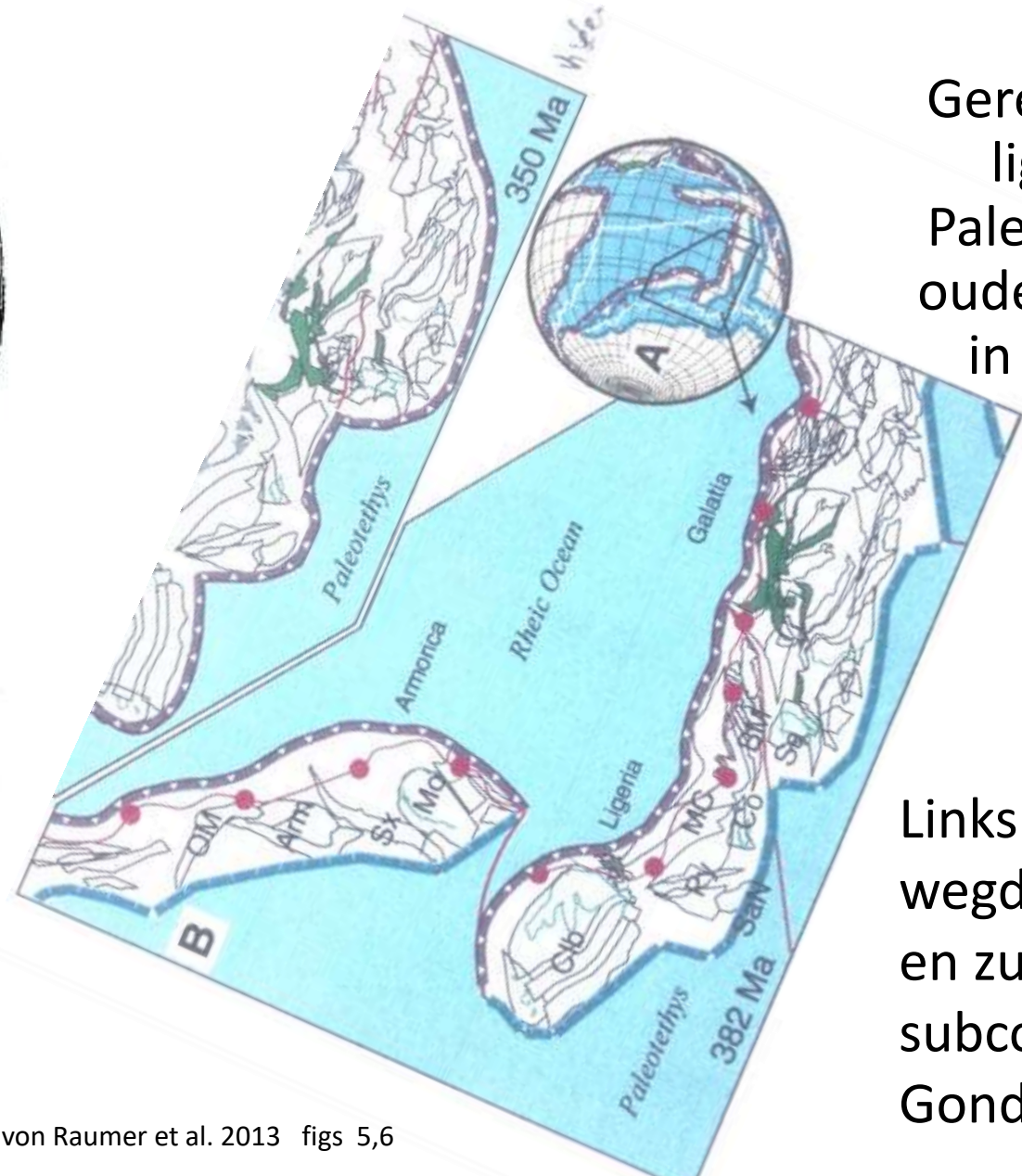
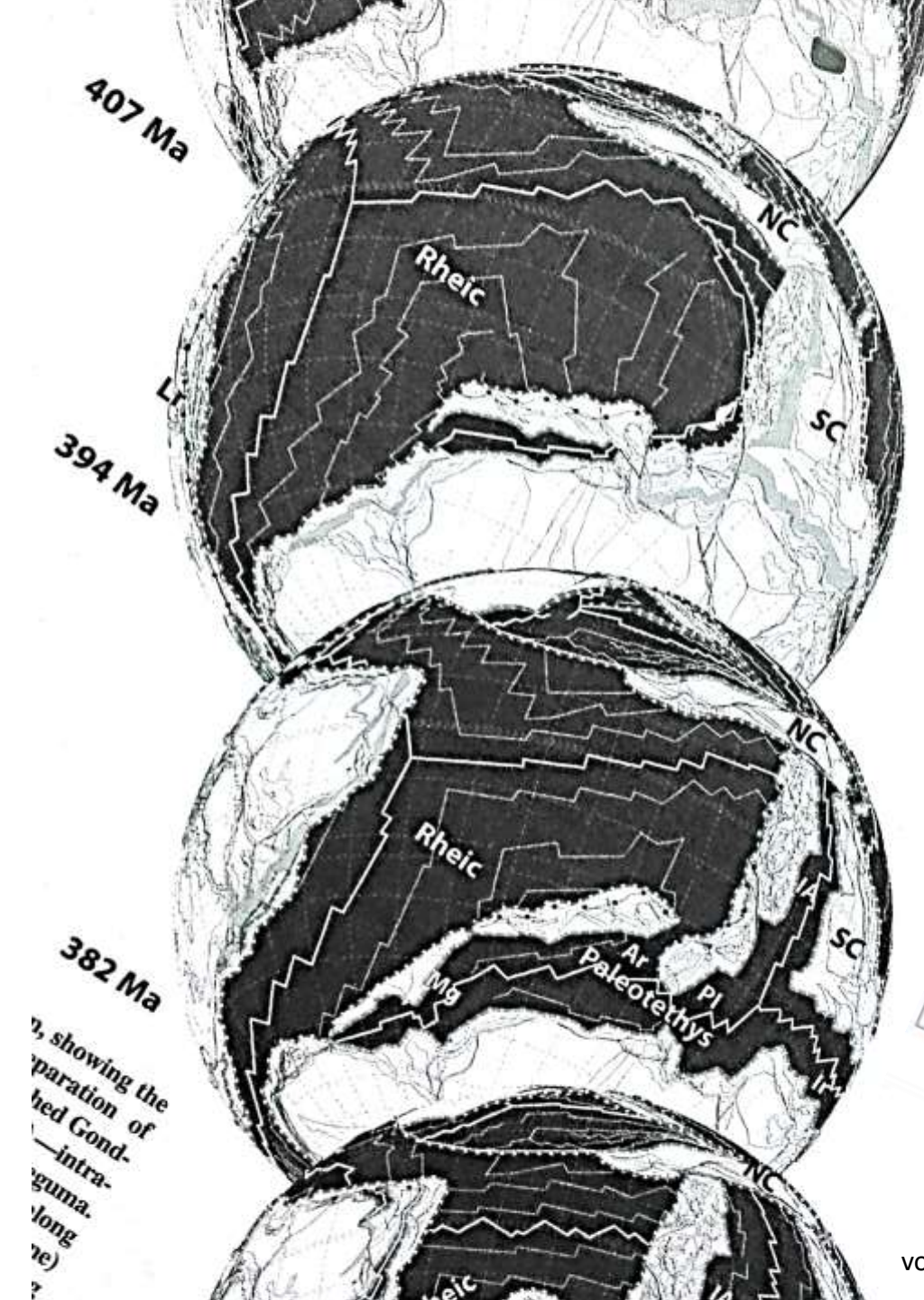


- 394 mj vroeg midden  
Devoon  
Opening Paleotethys  
Afgebroken rand Gondwana  
op transport naar Laurussia

-382 mj midden Devoon

Verdere opening Paleotethys, oostelijk sneller

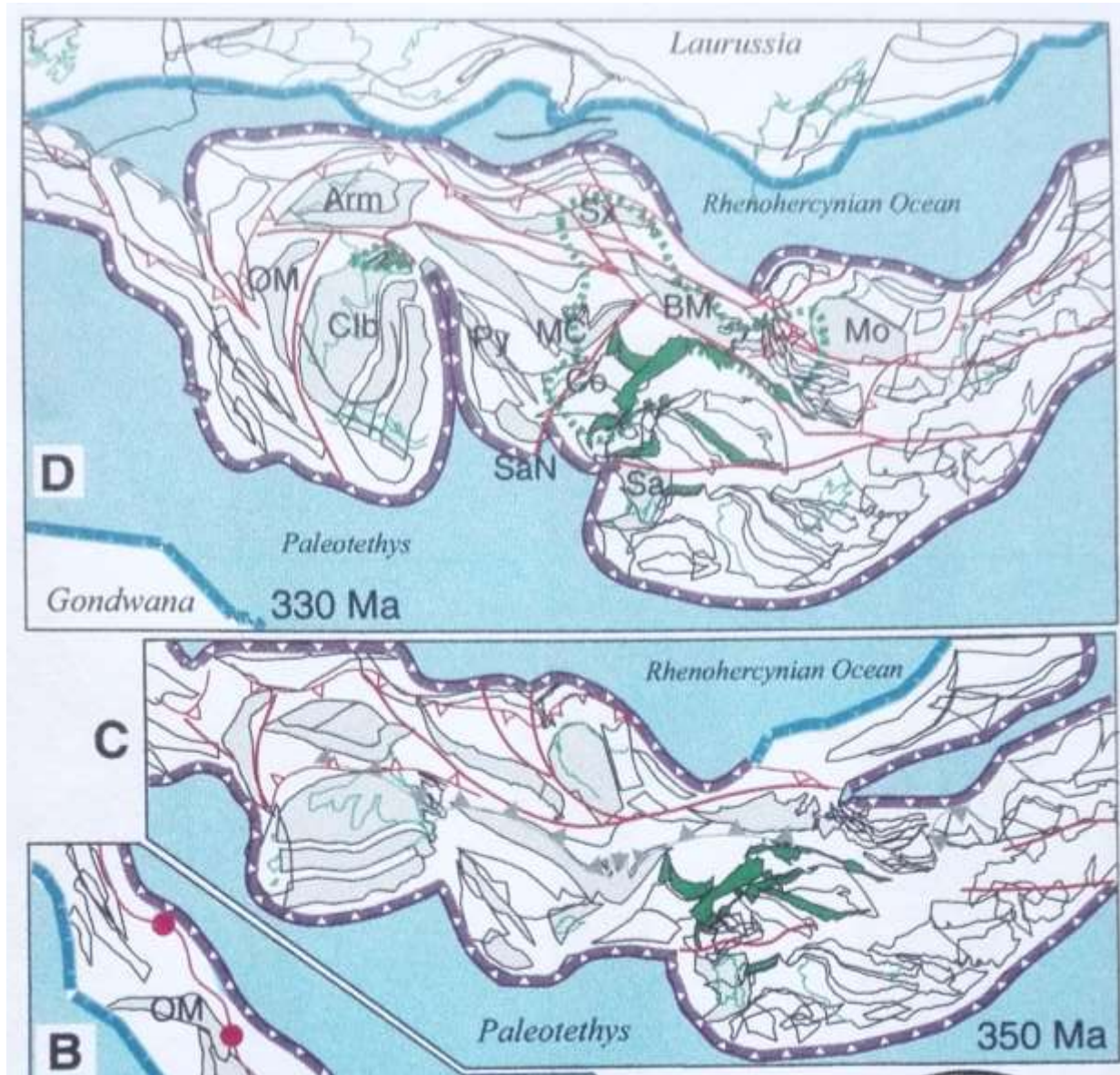
Gereconstrueerde  
ligging latere  
Paleozoische (incl.  
oudere) massieven  
in west Europa



von Raumer et al. 2013 figs 5,6

Links ook  
wegdrijven noord-  
en zuidchinese  
subcontinenten van  
Gondwana



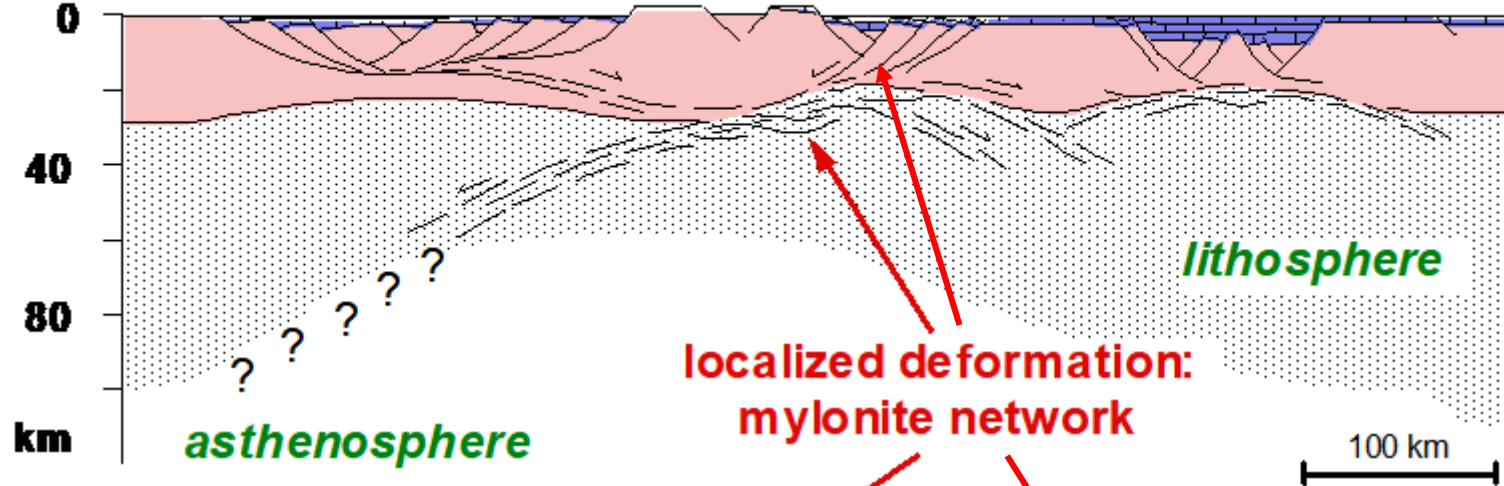


← D -330 mj onder Carboon (Viseen): door immense strike slip als onderdeel van de Variscische/Hercynische plooiing zijn de vroeger gescheiden onderdelen naast elkaar gekomen. Nu Rheohercynische Oceaan. Laatste subductie → botsing: Hercynisch plooingsgebergte.

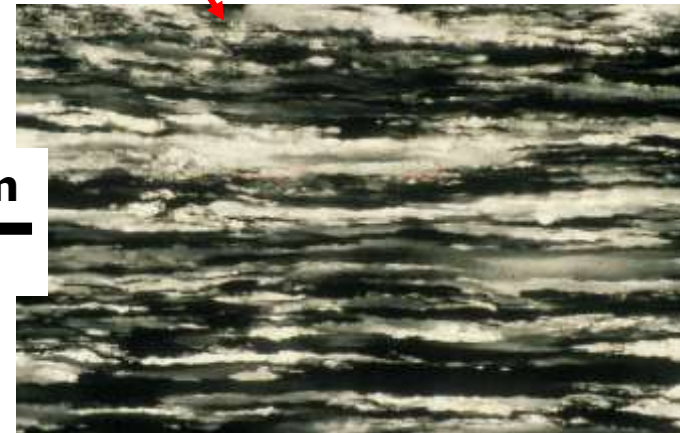
← C -350 mj onderste Carboon (Tournaisien): Tegen de klok in drukt rotatie Gondwana de twee eerder in elkaars verlengde liggende van Gondwana afgedreven fragmenten ('terranes') langs elkaar tot één geheel.

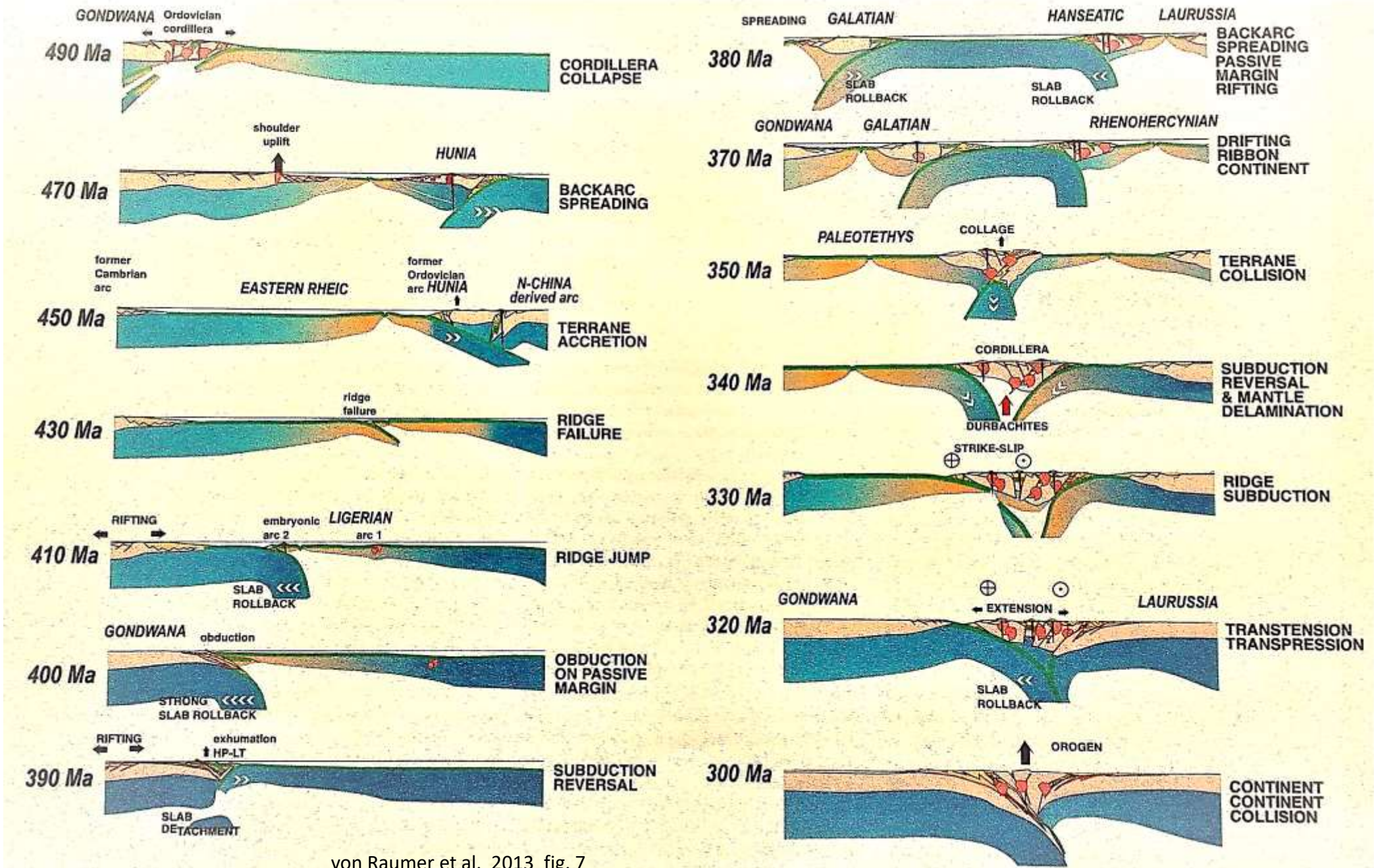
## Extension of the crust/lithosphere

Vissers et al, Tectonophysics Volume 249, Issues 3–4, 30 September 1995, Pages 155-171



Bij die strike slip  
herschikkingen onder  
grote druk en door  
de hele korst  
ontstaan daarin  
lokaal mylonitische  
gneizen en  
mylonieten

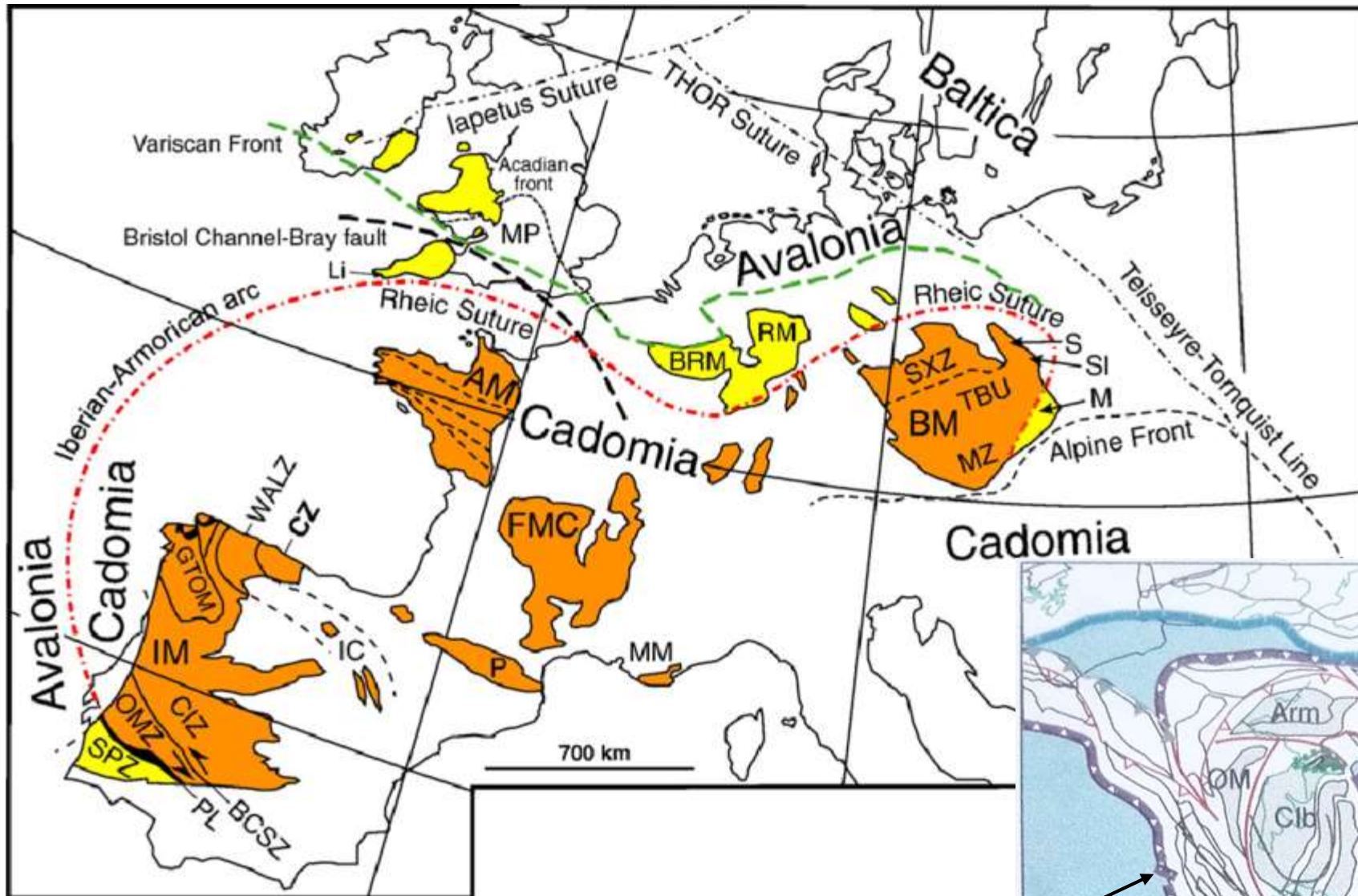




von Raumer et al. 2013 fig. 7

En nu de Alpen (11/35)

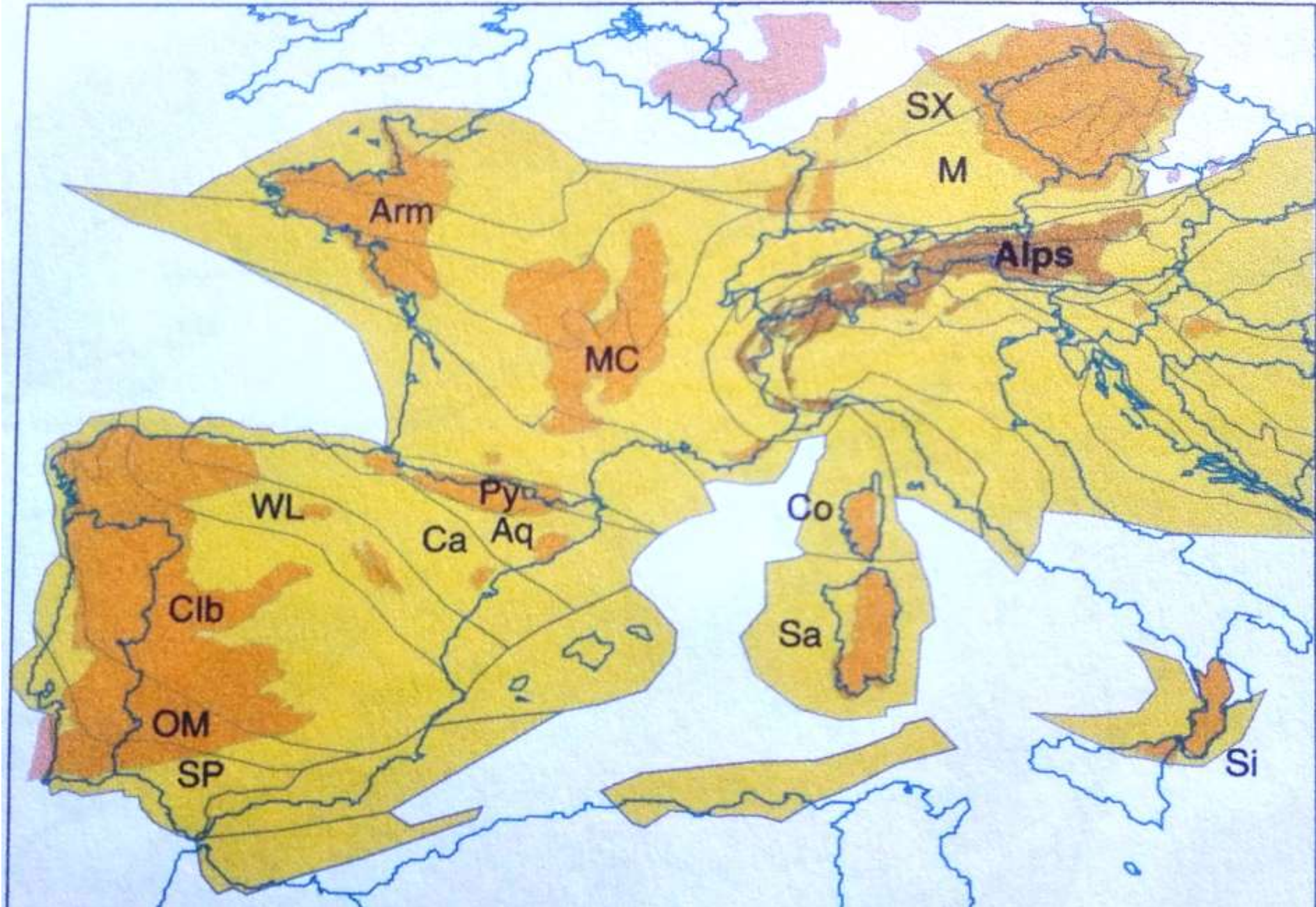
Groen gekleurd zijn de grondgebergte onderdelen van het latere Alpiene domein. Dat nu verder bekijken ↓



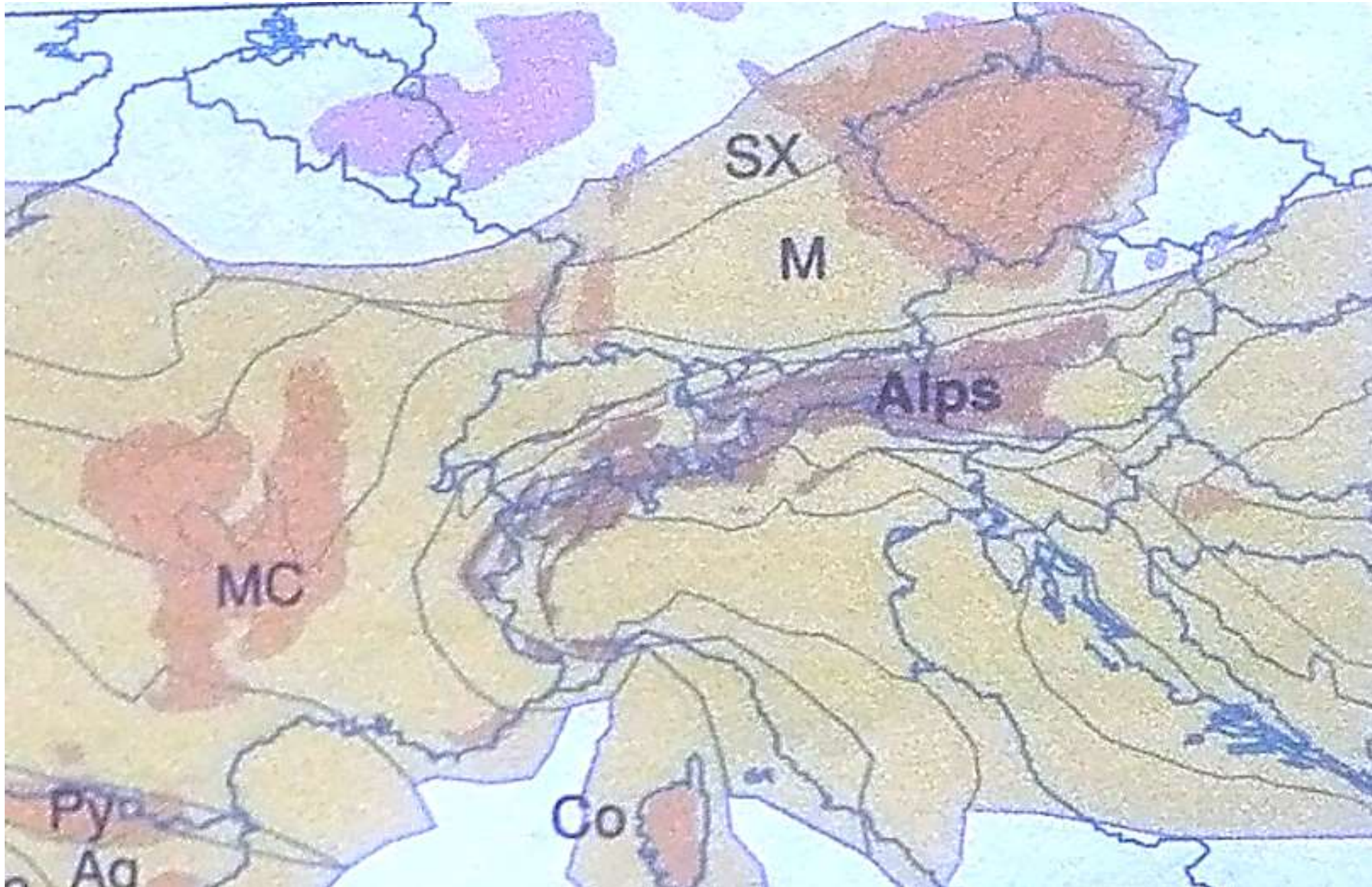
- Alle suturen ('lasnaden') van besproken continent-continent botsingen
- Verklaring Iberische boog

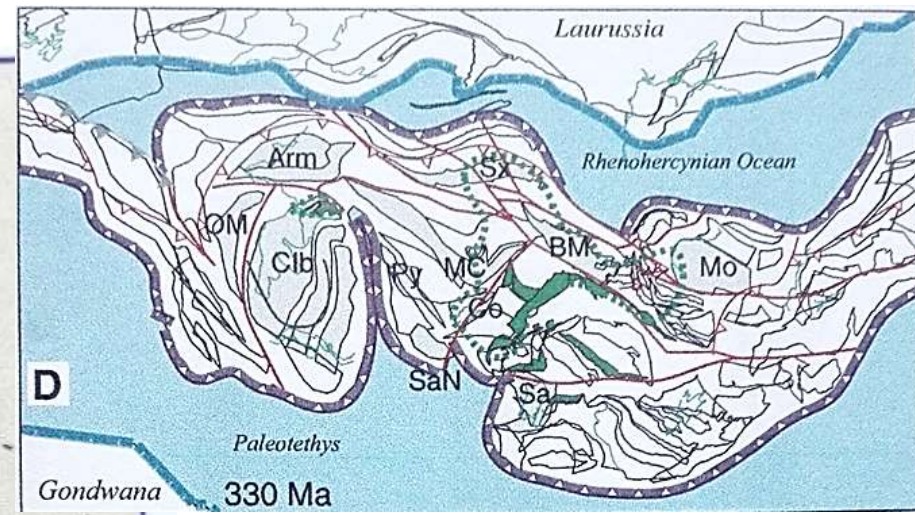
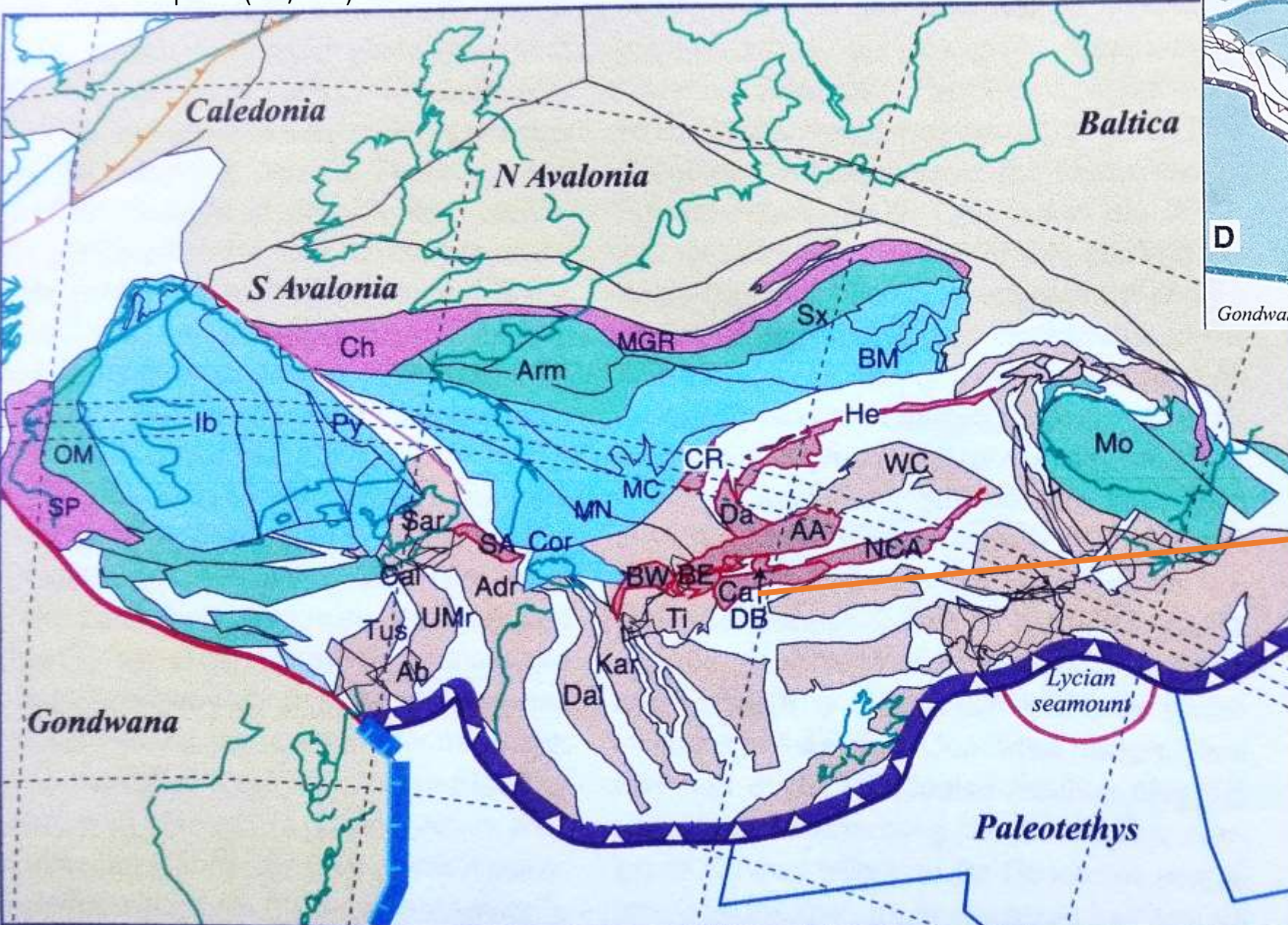


von Raumer et al. 2013 fig. 6



von Raumer et al. 2013 fig. 1

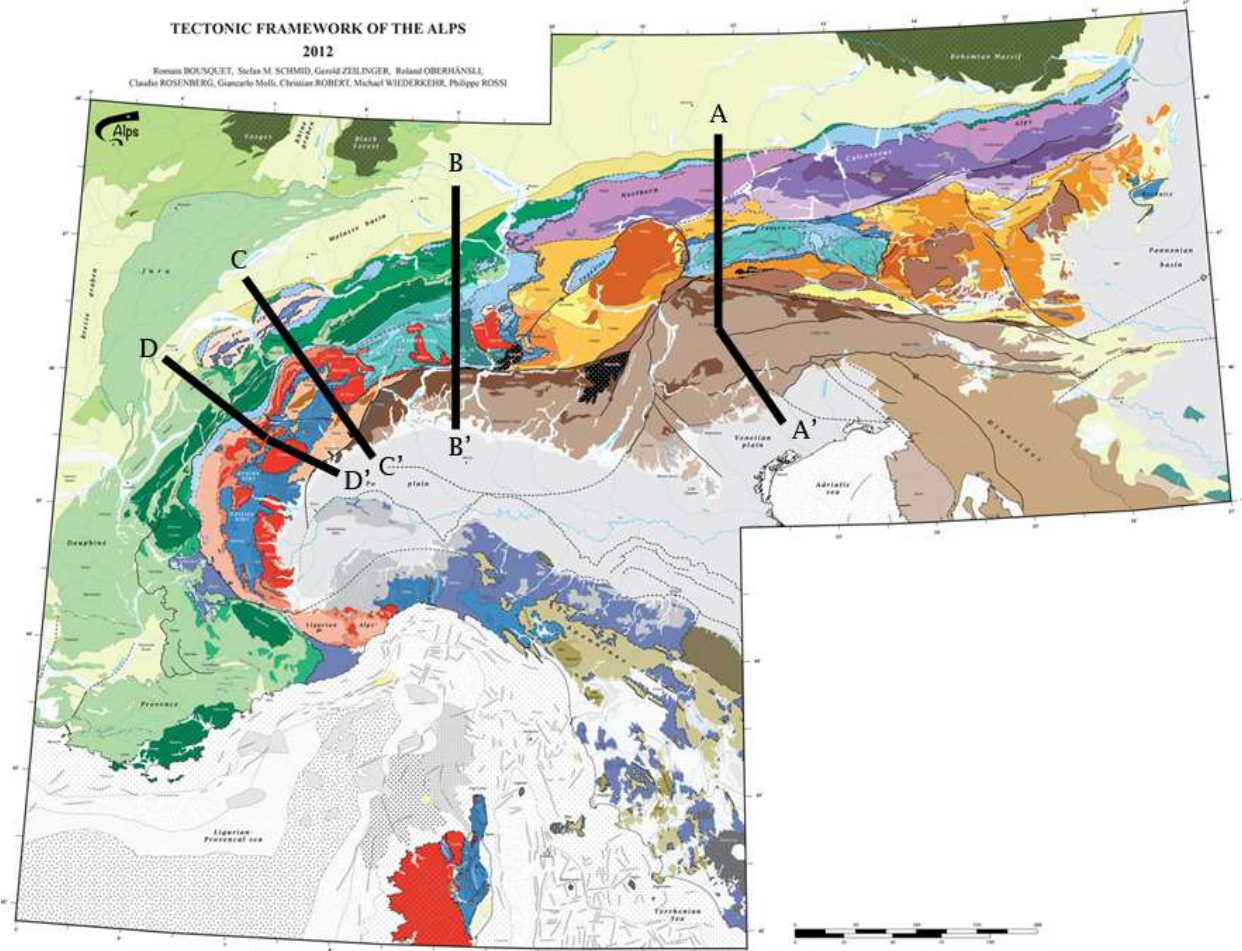




- ← Uitgangssituatie  
 begin Perm -290 mj, kort  
 voor Pangea  
 Alpen grondgebergte:  
 AA Austroalpien  
 BE Brianconnais Oost  
 BW Brianconnais West  
 Da Dauphinois  
 DB Dent Blanche  
 He Helvetisch  
 SA Zuidelijke Alpen<sup>34</sup>

ALLE tectonische en metamorfe kaartgegevens,  
teksten en nog veel meer op

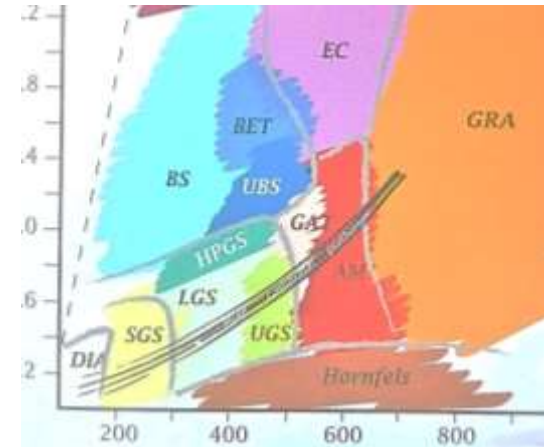
[www.geodynalps.org/index\\_en.html](http://www.geodynalps.org/index_en.html)



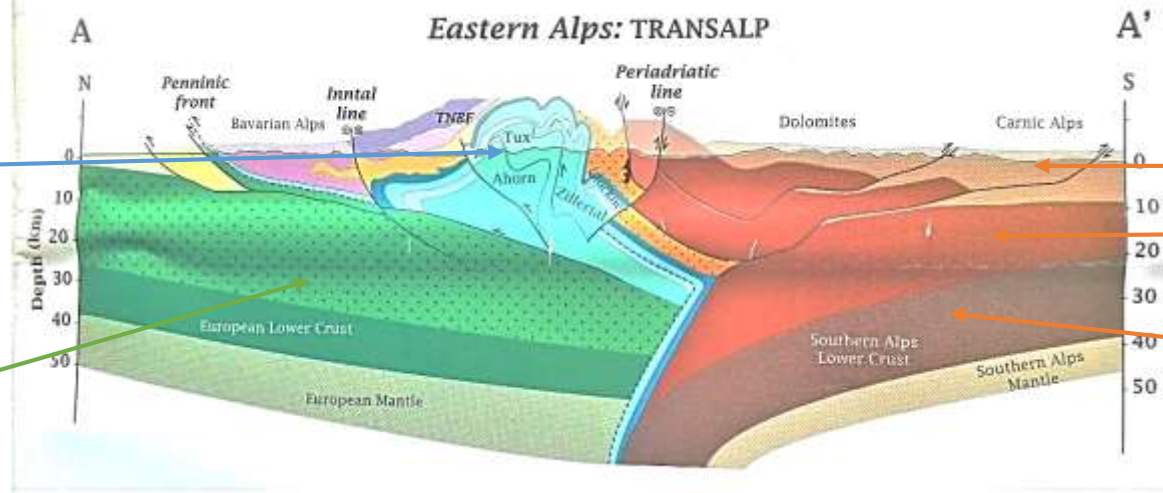
En nu de Alpen (16/35)

Austroalpien dekblad met Penninische kern in venster

Europese korst van hercynisch grondgebegte en paleozoische sedimenten

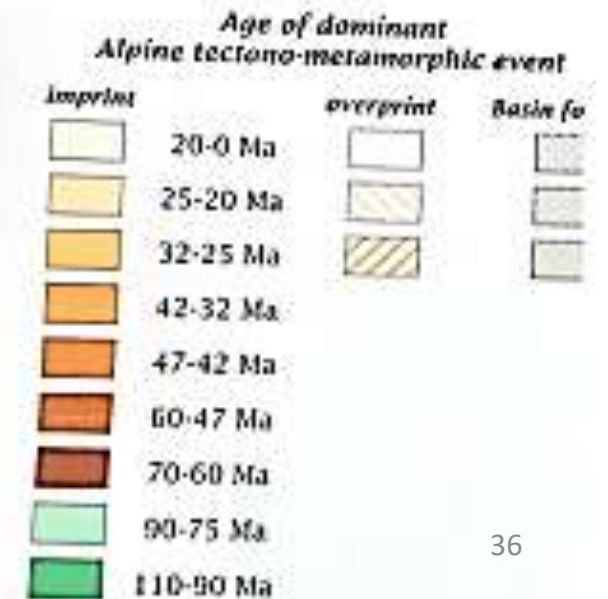
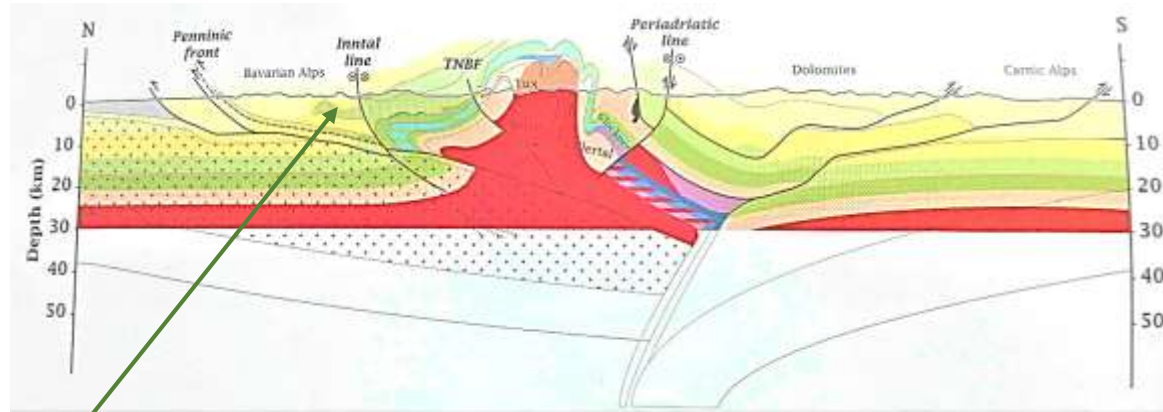


Austroalpiene metamorfose heeft Jura ouderdom



Zuid-Alpen

- ← Sedimentaire bedekking
- ← Bovenste korst Hercynisch grondgebegte
- ← Diepere korst



En nu de Alpen (17/35)

Austroalpien

Penninisch

bündnerschiefer

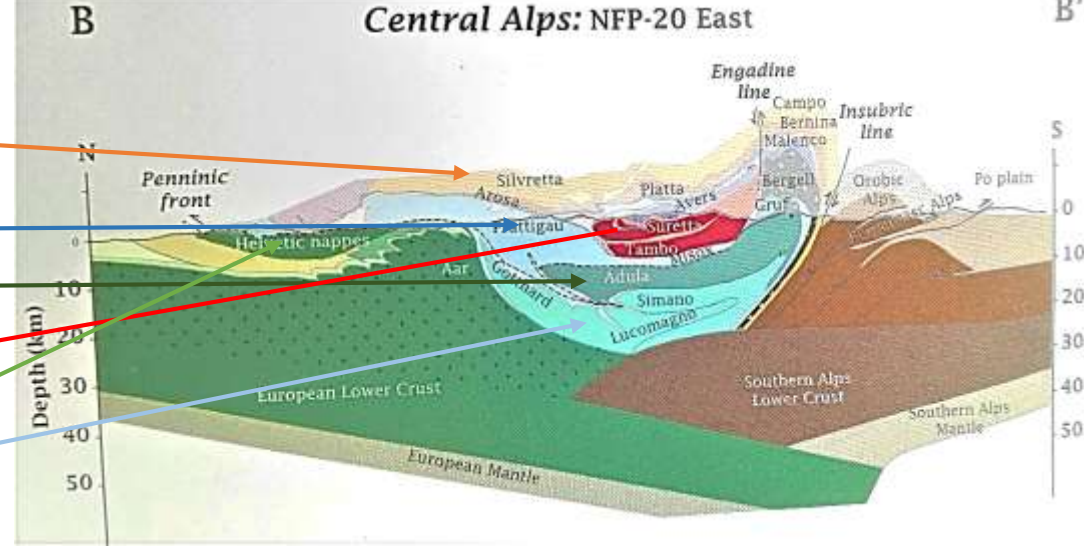
korst met eklogiet metam.

Variscisch grondgebirge

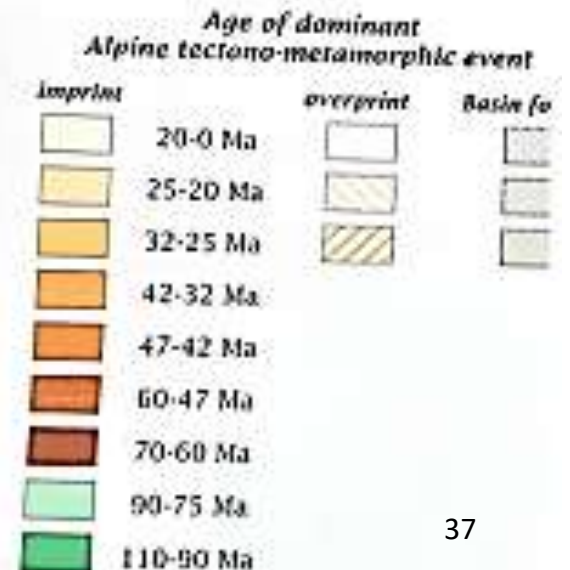
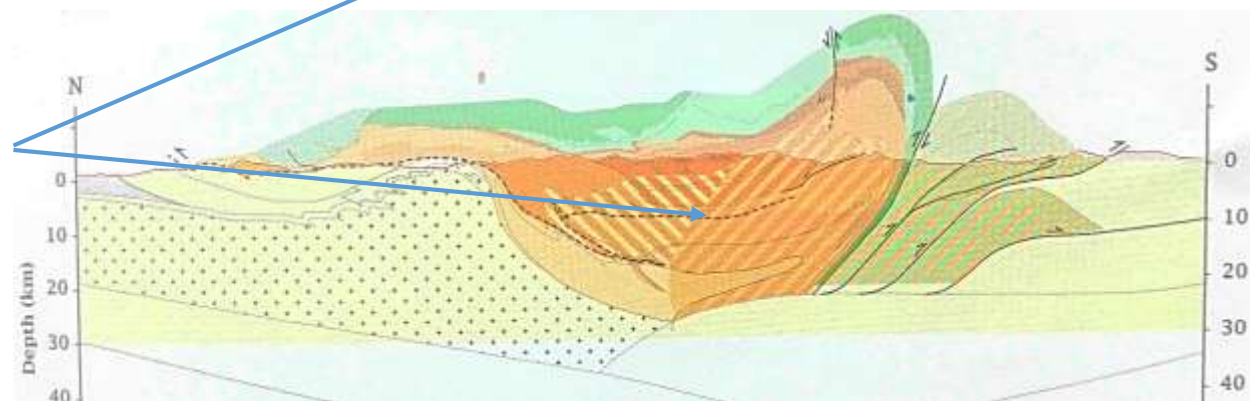
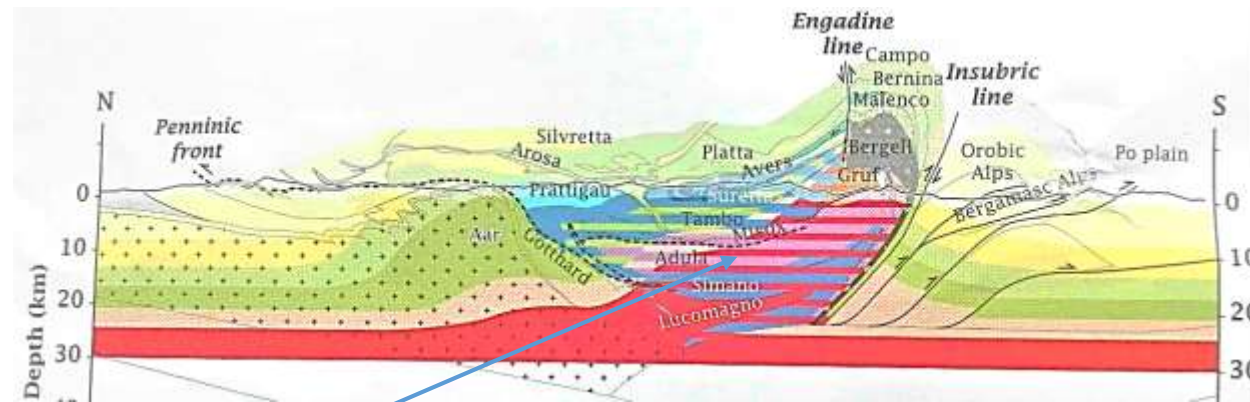
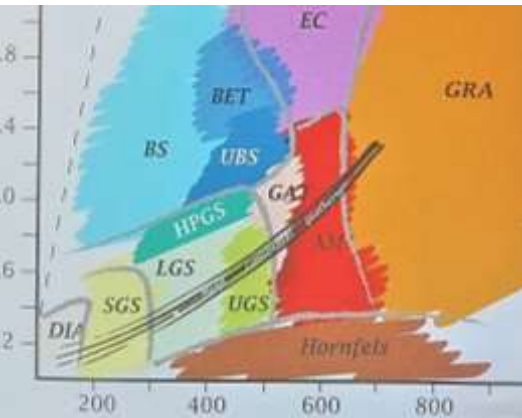
Helvetisch

losgeraakt kristallijn

dekbladen



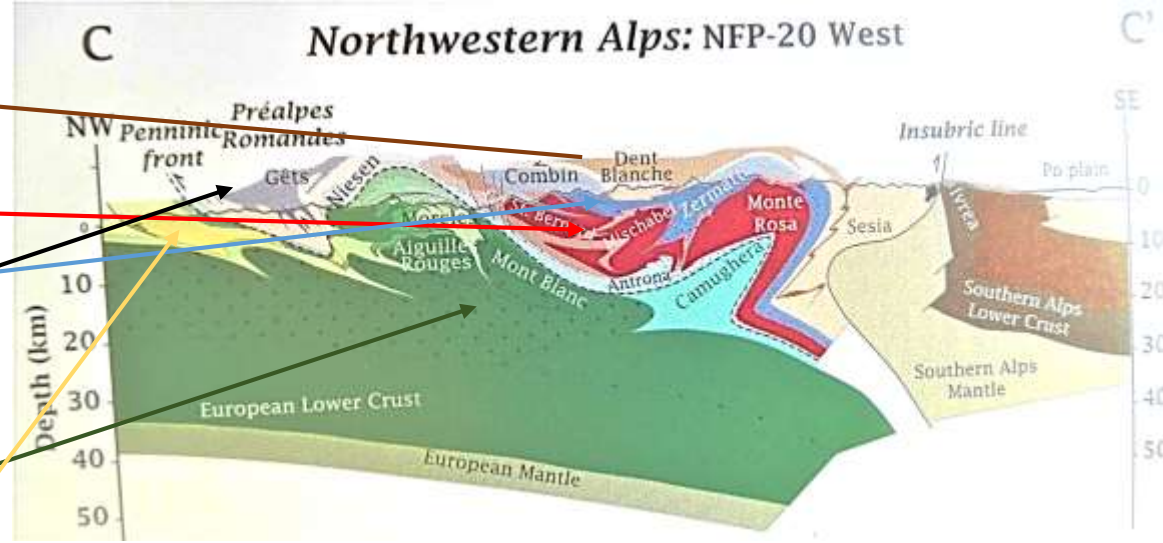
← Zuidelijke Alpen



Uitgebreide latere metamorfe rekristallisatie bij hogere temperatuur: "overprint"

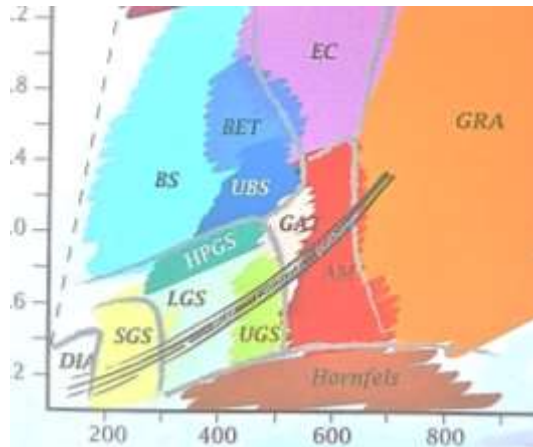
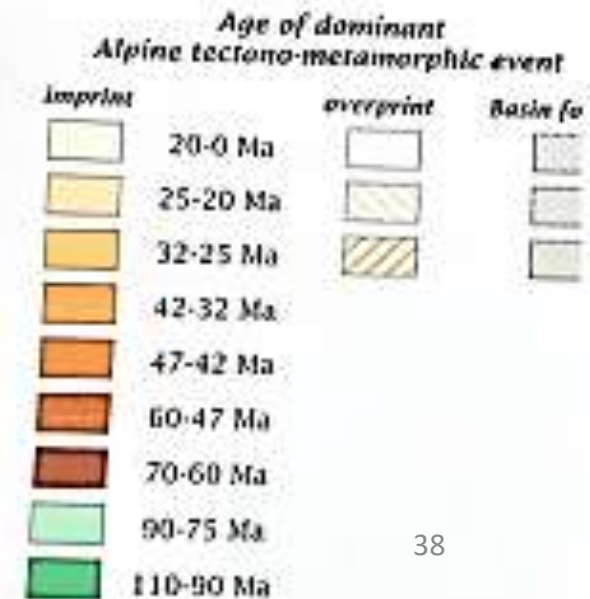
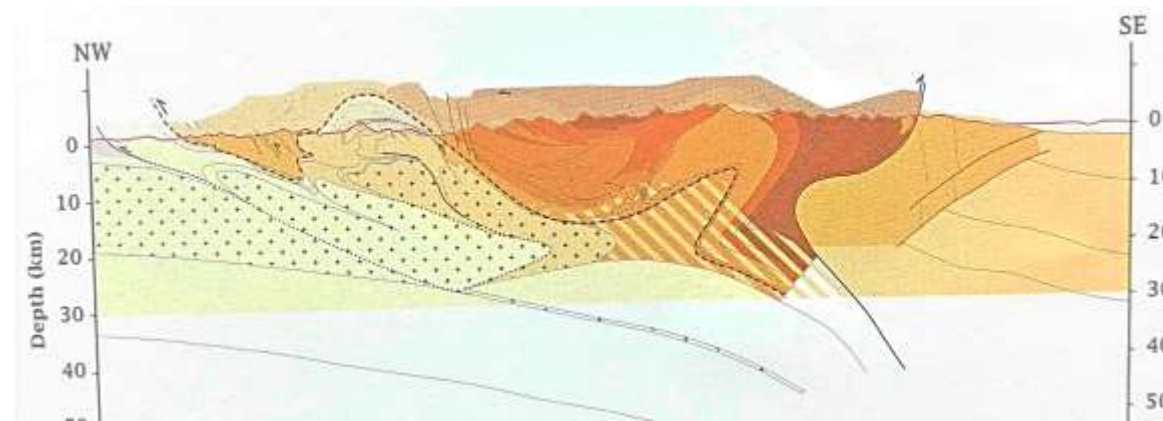
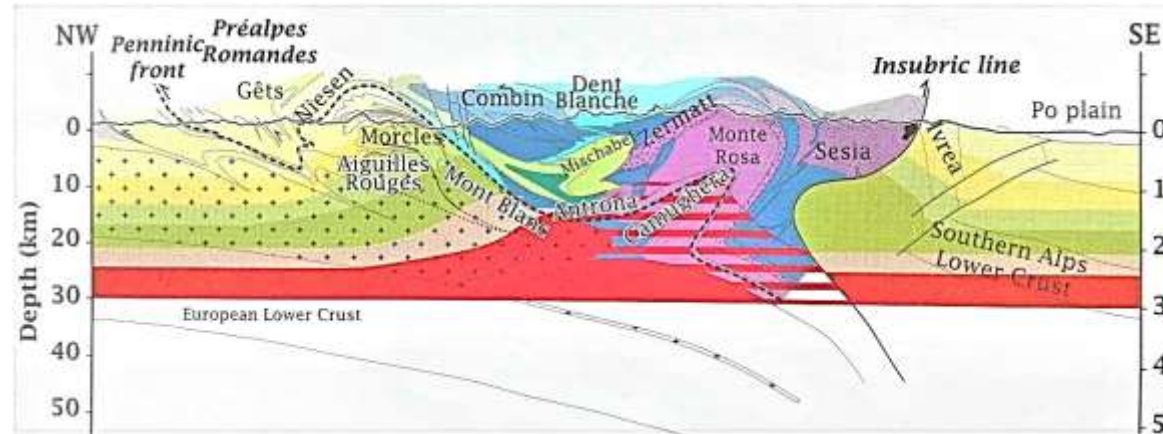
# Austroalpien

- Dent Blanche dekblad
- Penninisch
- Variscisch grondgebirge naburige oceaansedimenten
- Vooralpen (en Mythen)
- Helvetisch
- Variscisch grondgebirge met externe massieven
- Flysch sedimentbedekking



En nu de Alpen (18/35)

← Zuidelijke Alpen



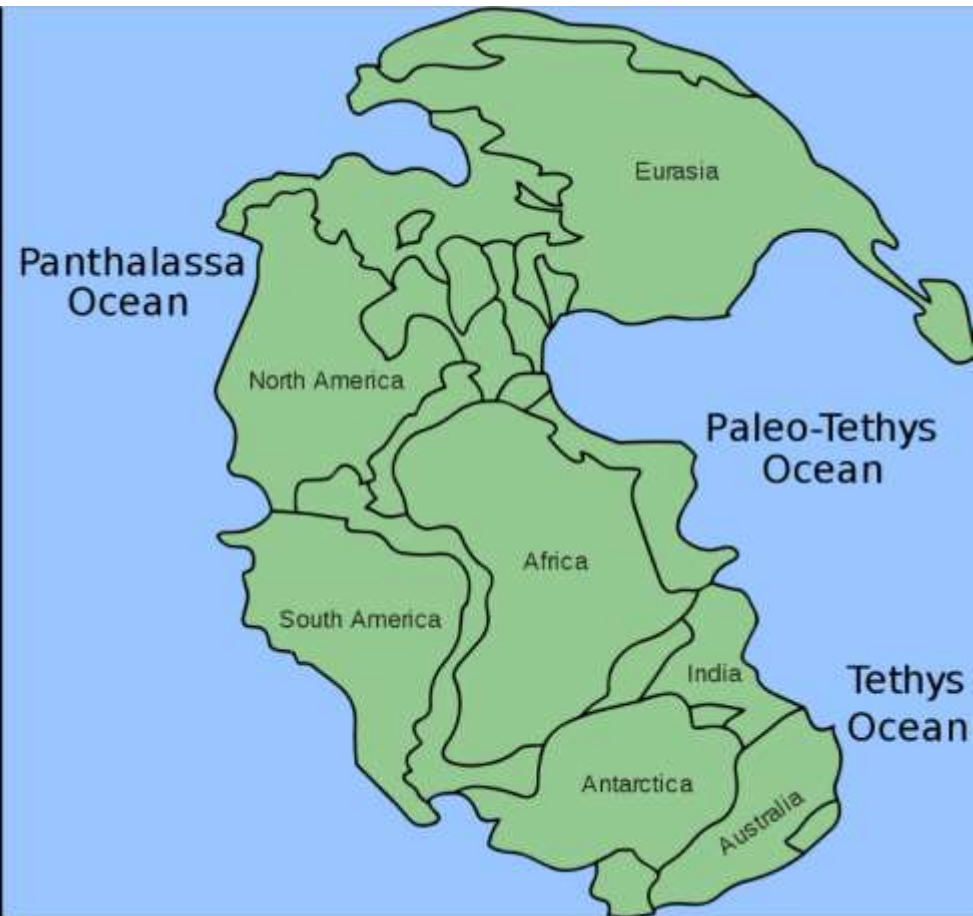
Westelijk geen sporen van Austroalpiene vroege matamorfose

# Pauze

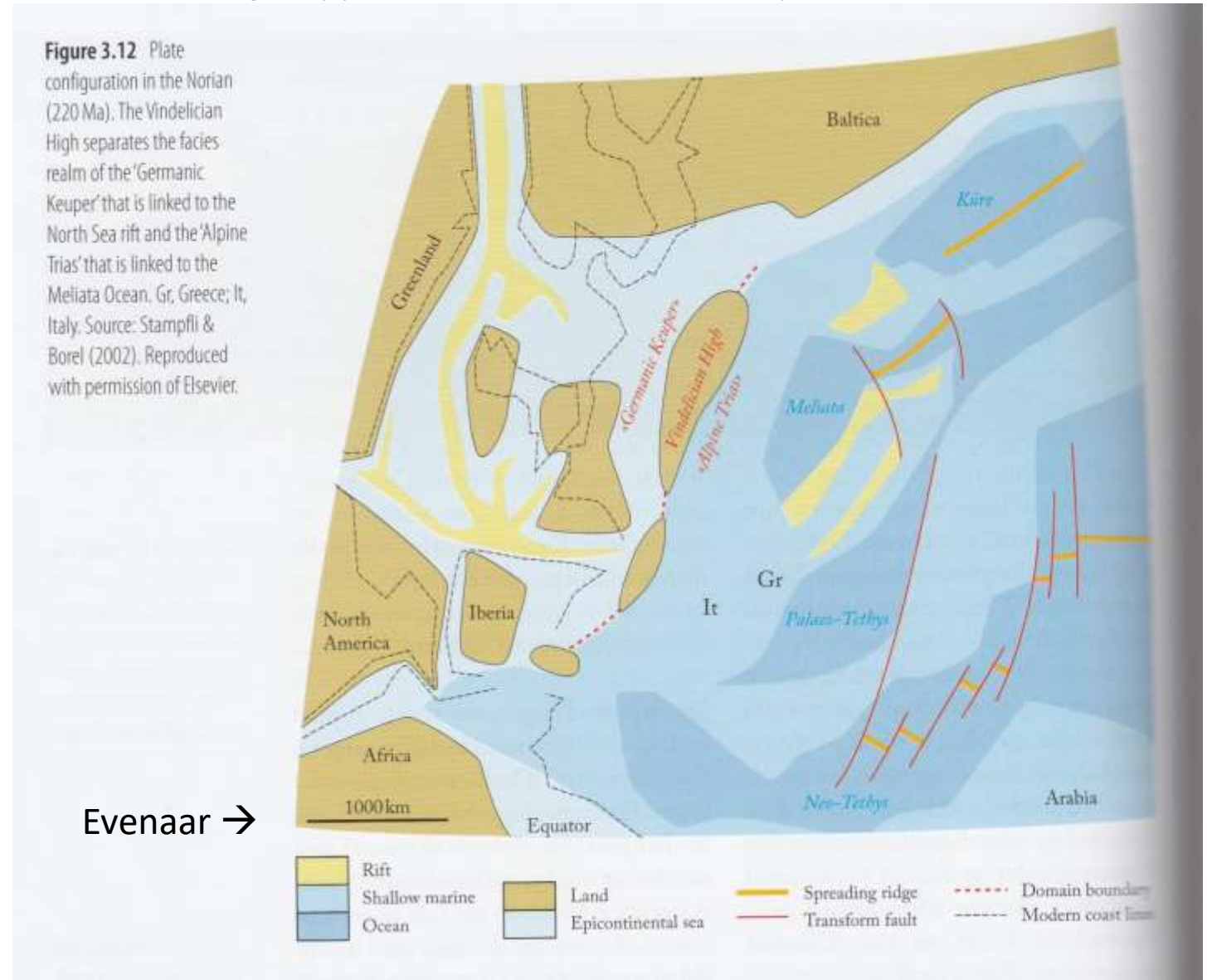


En nu de Alpen (20/35)

Pangea tijdens de Trias (-250 - -210 m.j.)

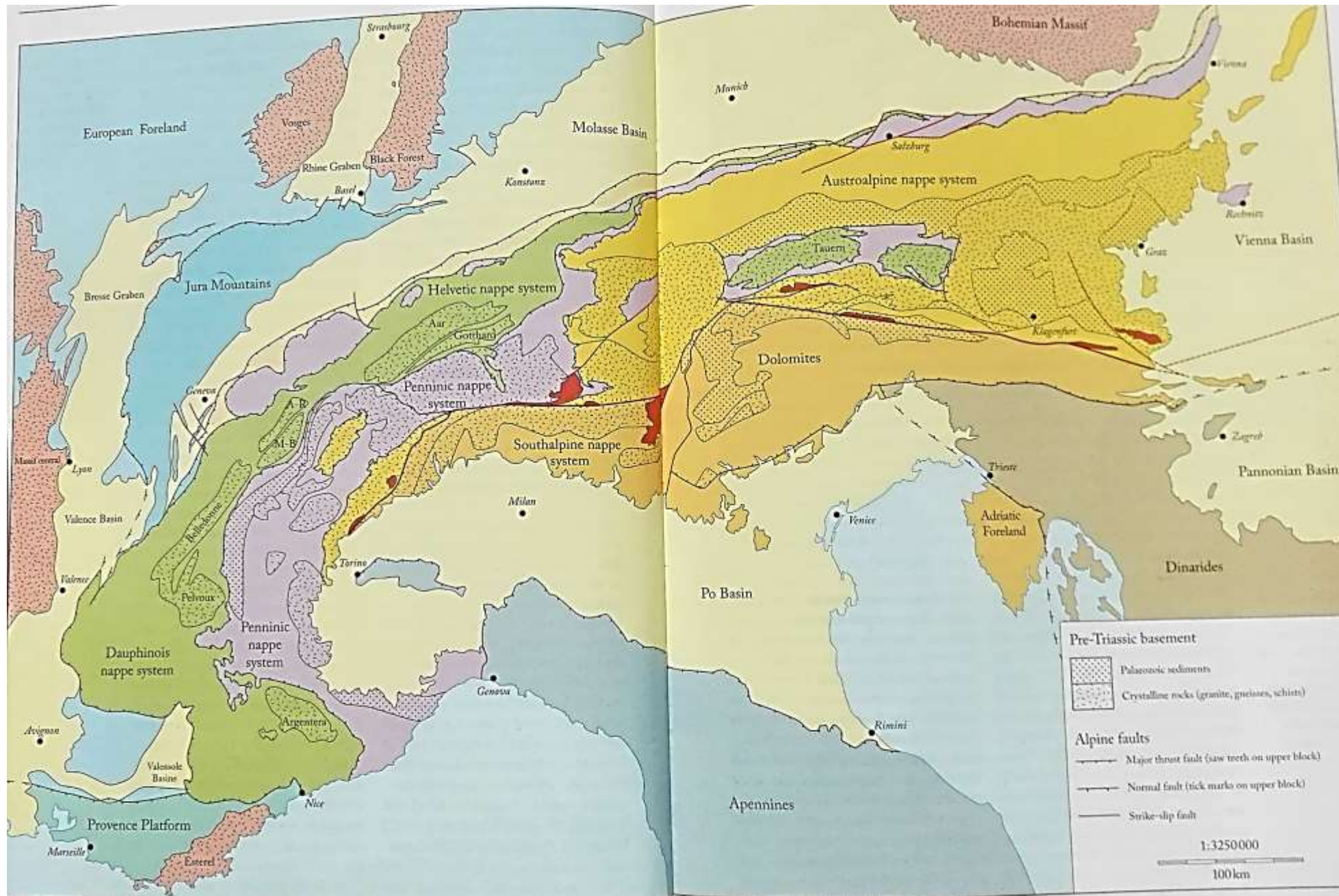


Paleogeografische reconstructie – 220 m.j.  
zie gestippelde contouren West Europa nu



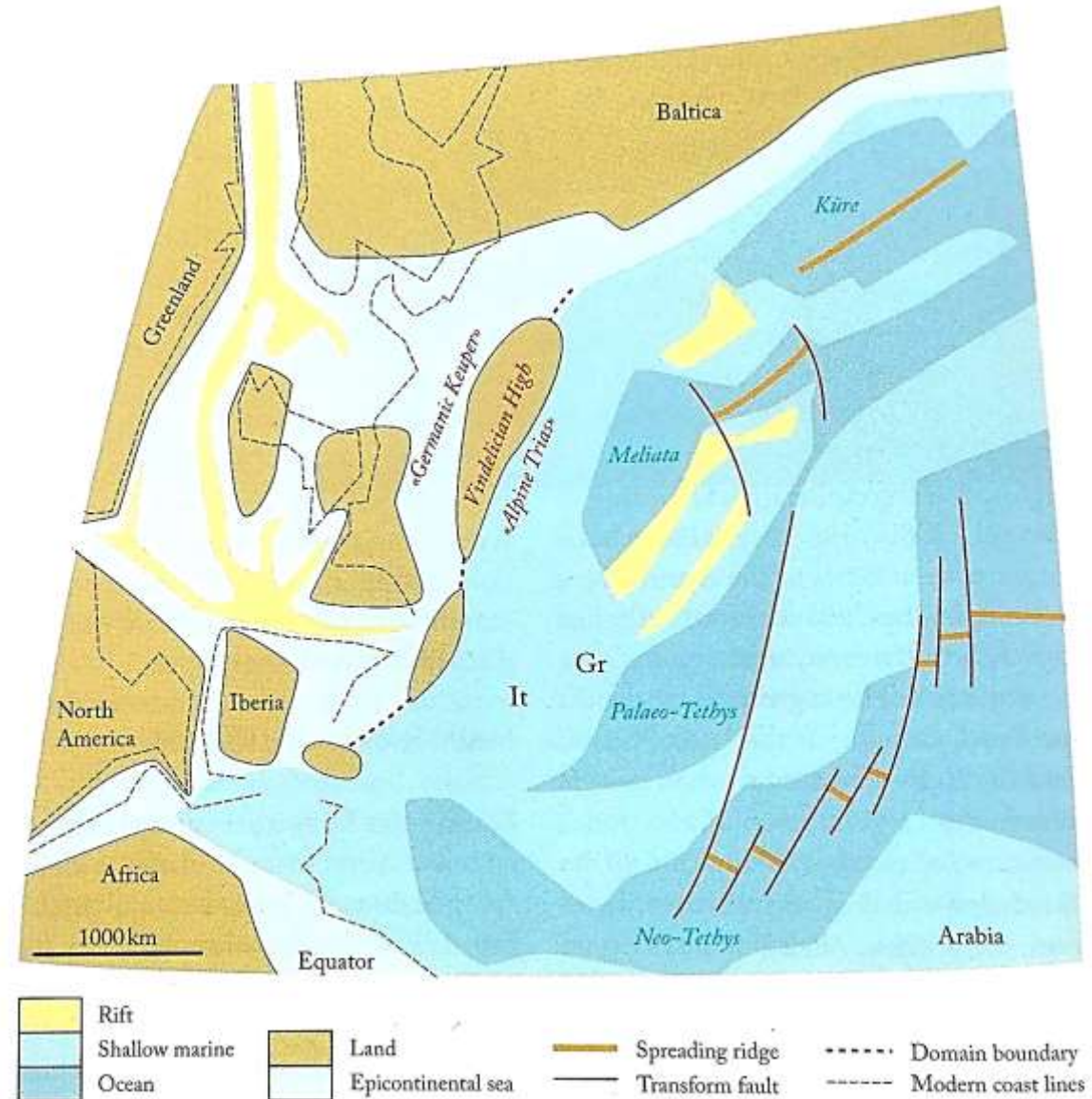
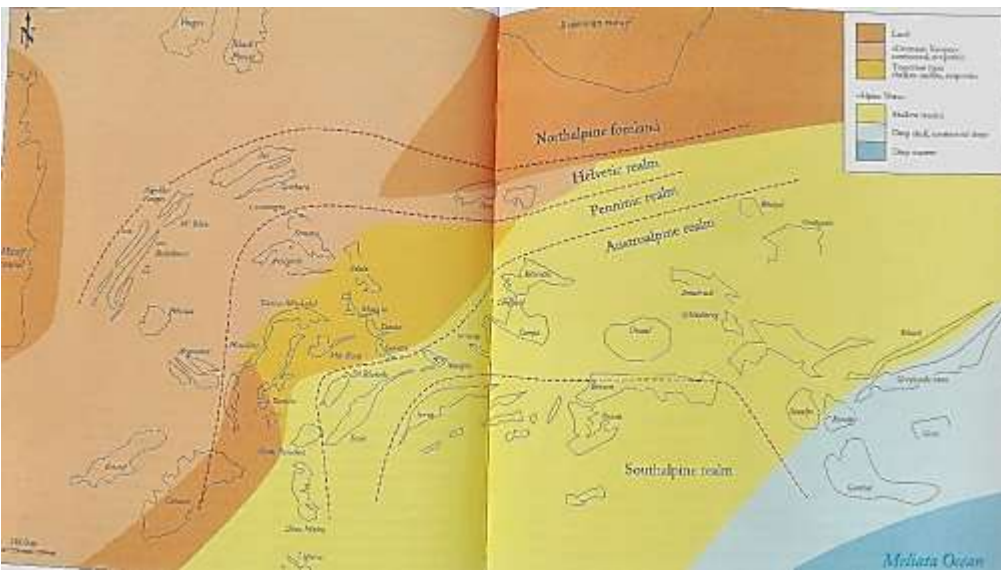
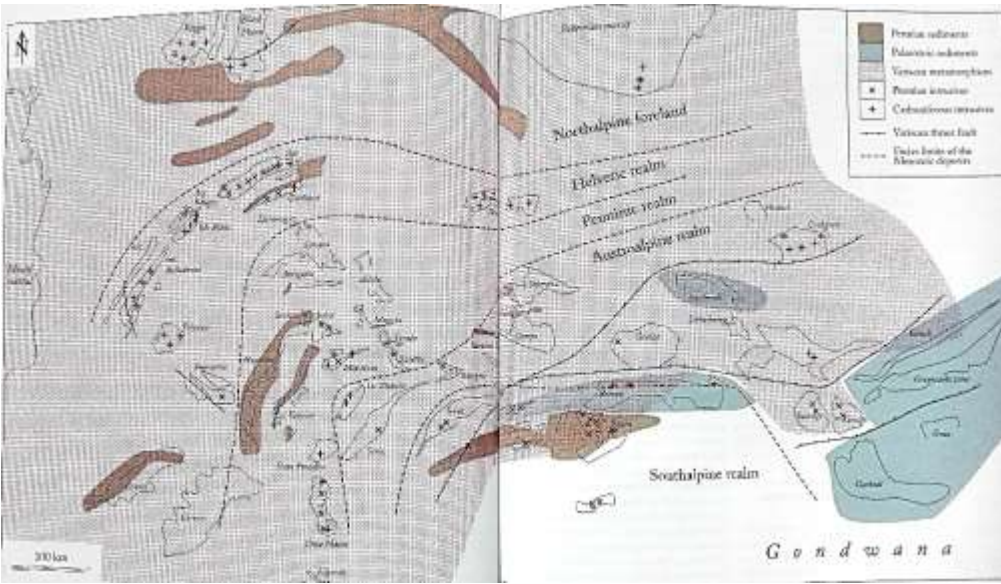


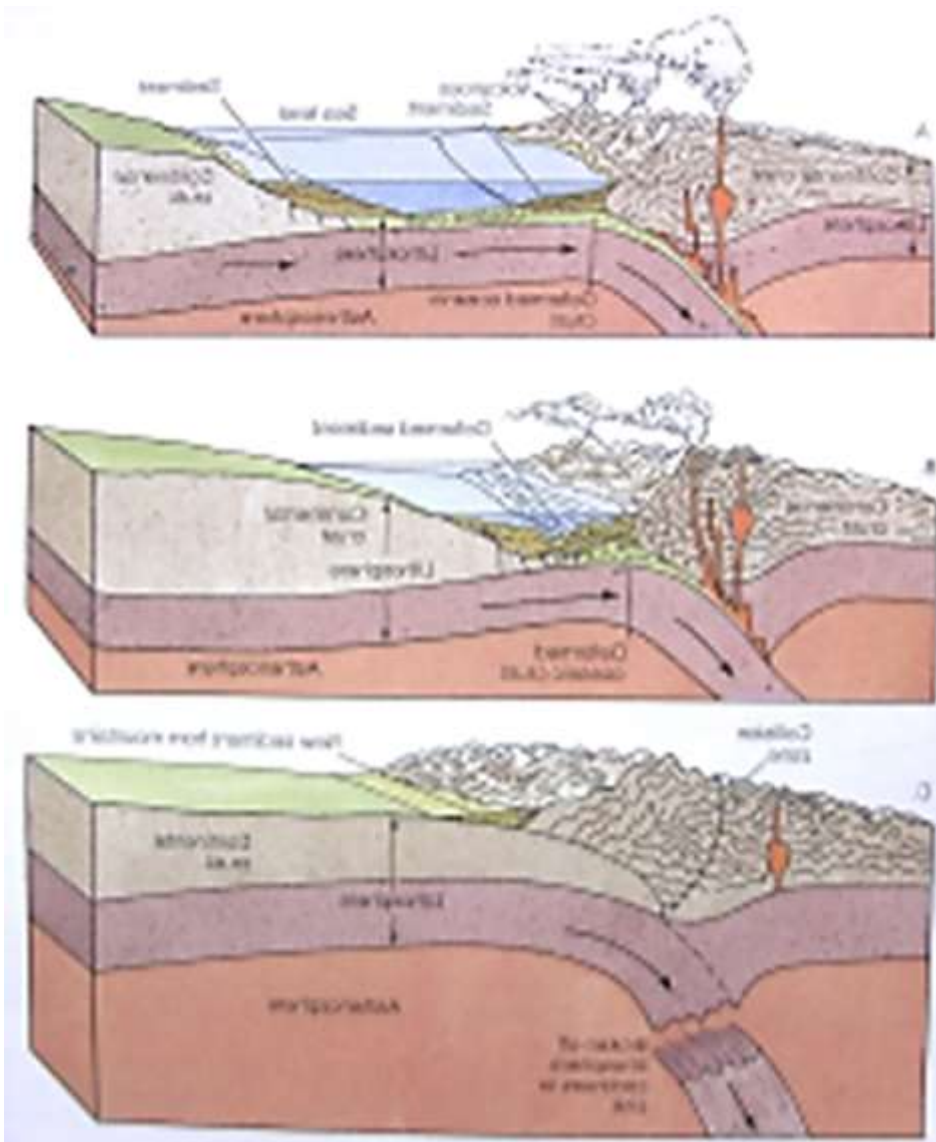
# Het begin, de pre-Trias ondergrond (1)



Pfiffner 2014 fig. 2.1

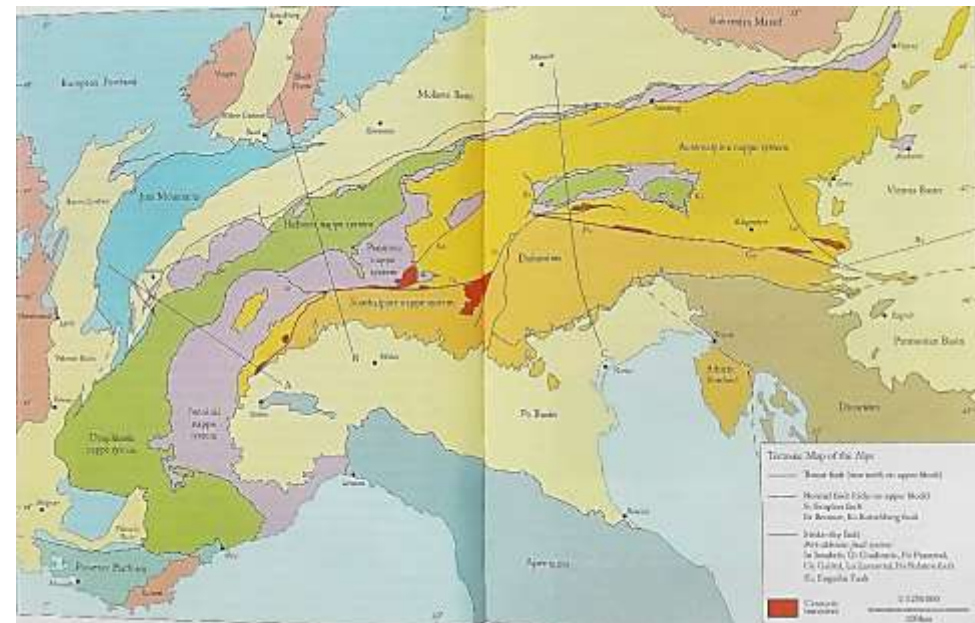
(pre-Trias, herhaling)



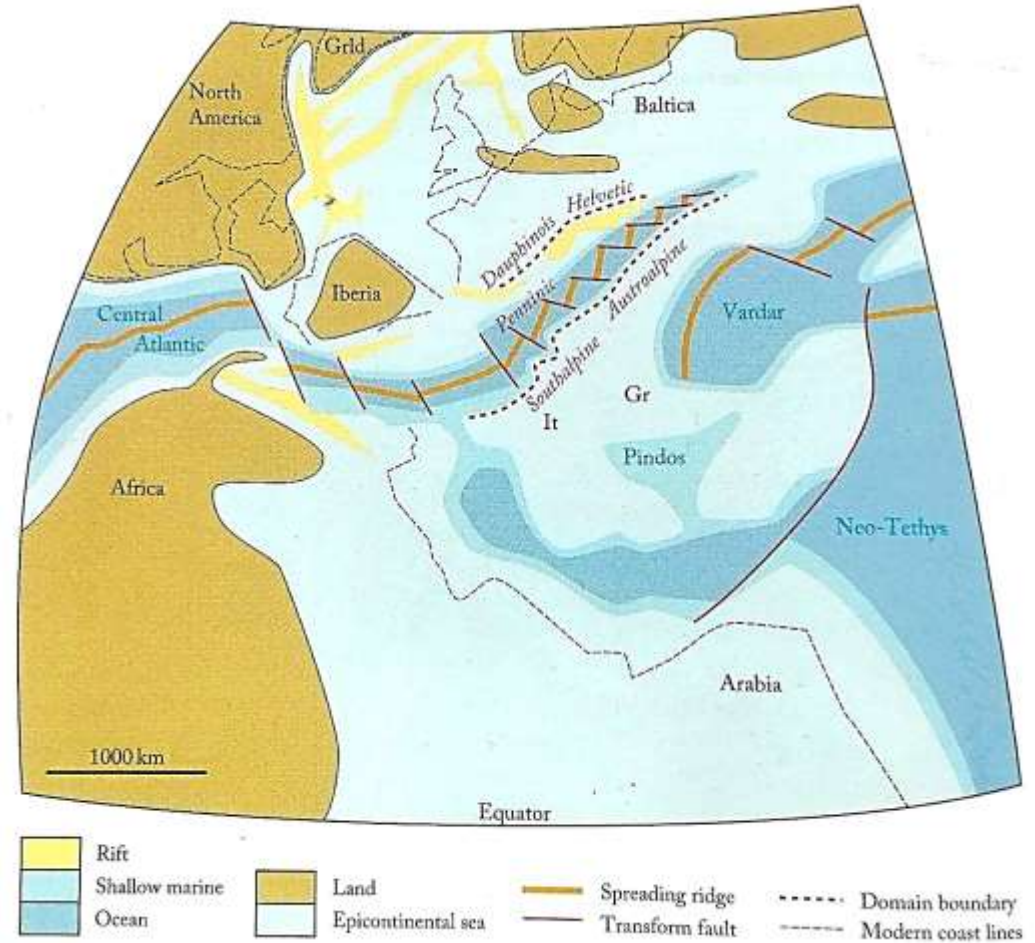
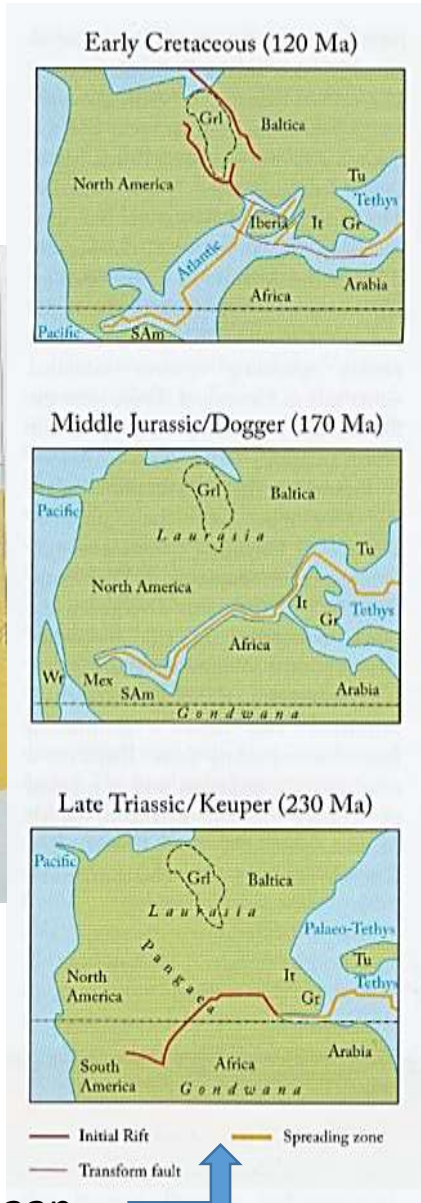
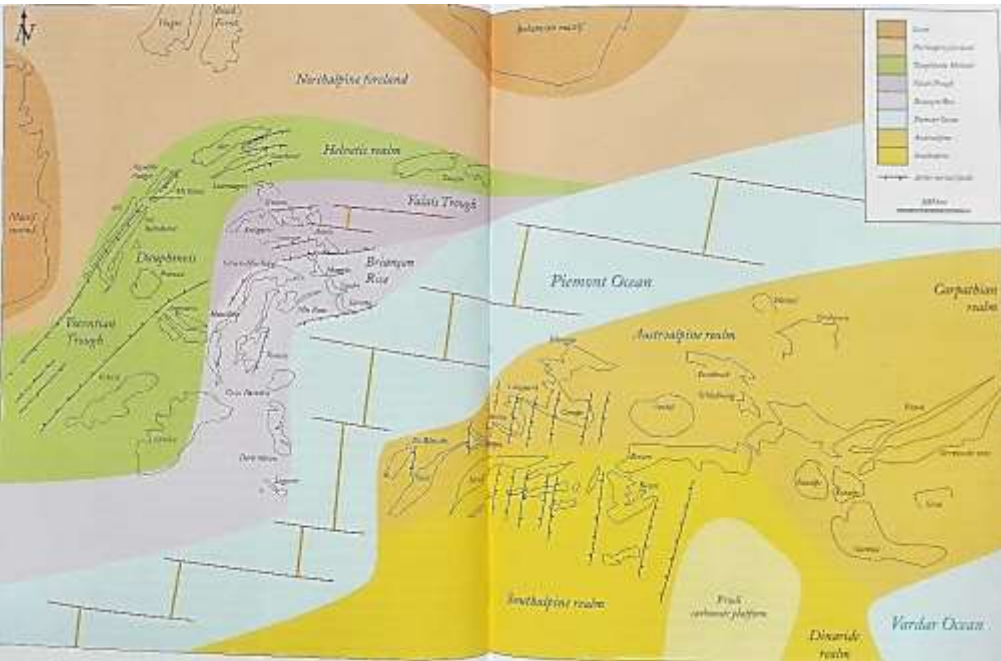


- Tijdens de aanloop naar de Alpenvorming vooral afzetting van sediment, het meest onder zeeniveau, afkomstig van de grote continentale platen.
- Dat schematisch afgebeeld in volgende dia's.
- Kleuren daarin die van de drie (toekomstige dekbladsystemen), groen, paars en geel

Schematische tektonische kaart  
Helvetische, Penninische en Austroalpiene dekbladen, etc.  
(ook als referentiekleuren voor latere plaatjes)



Laat-Jura - 154 m.j. Uiteendrijven Pangea en oceaanvorming



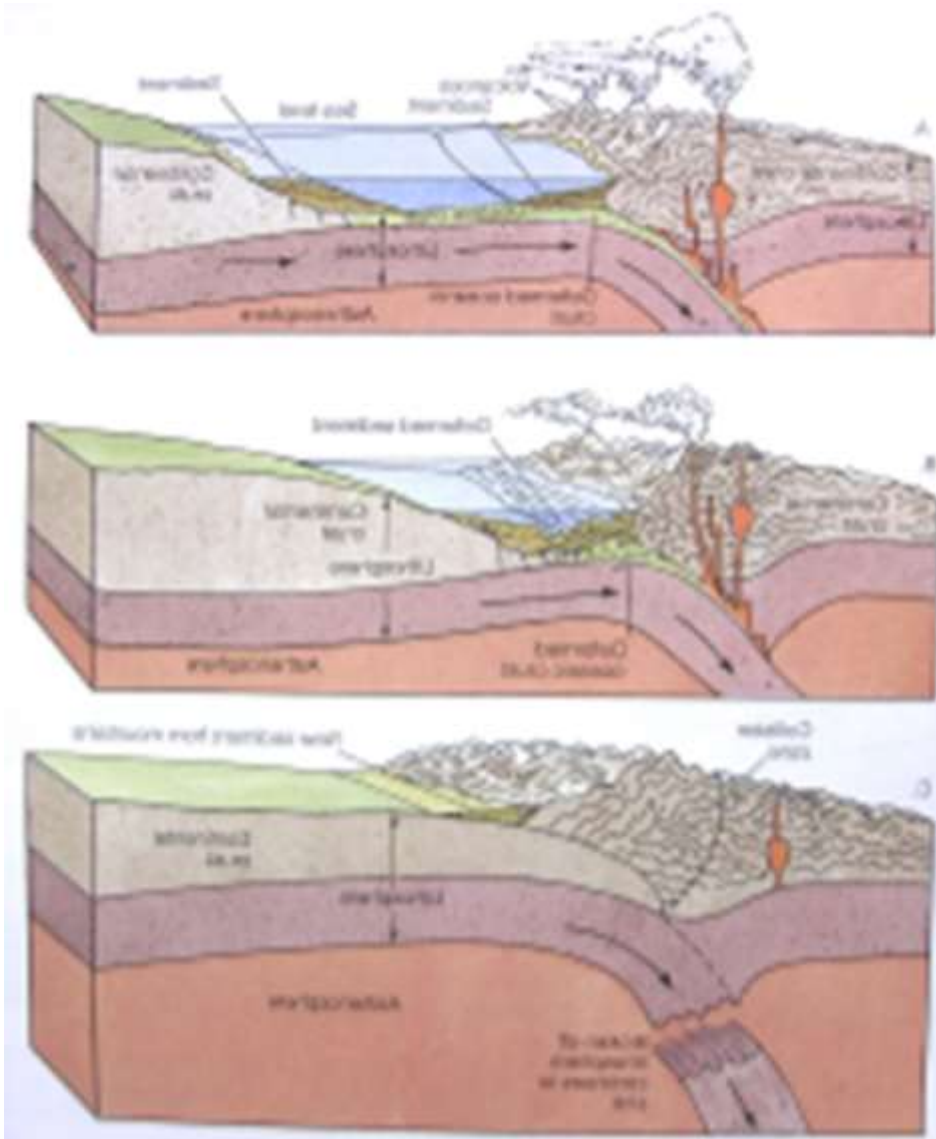
Opening Atlantische Oceaen

Pfiffner 2014 figs 3.16



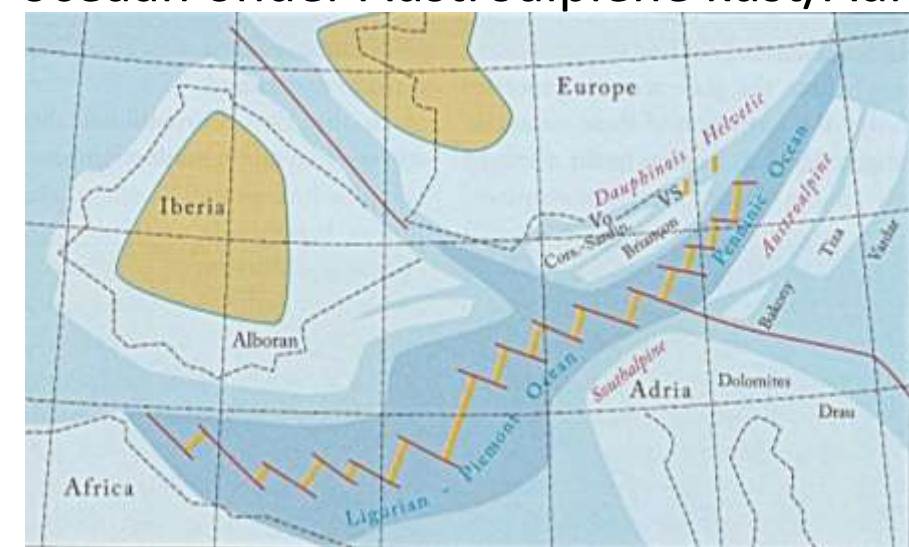
1.5

3.15

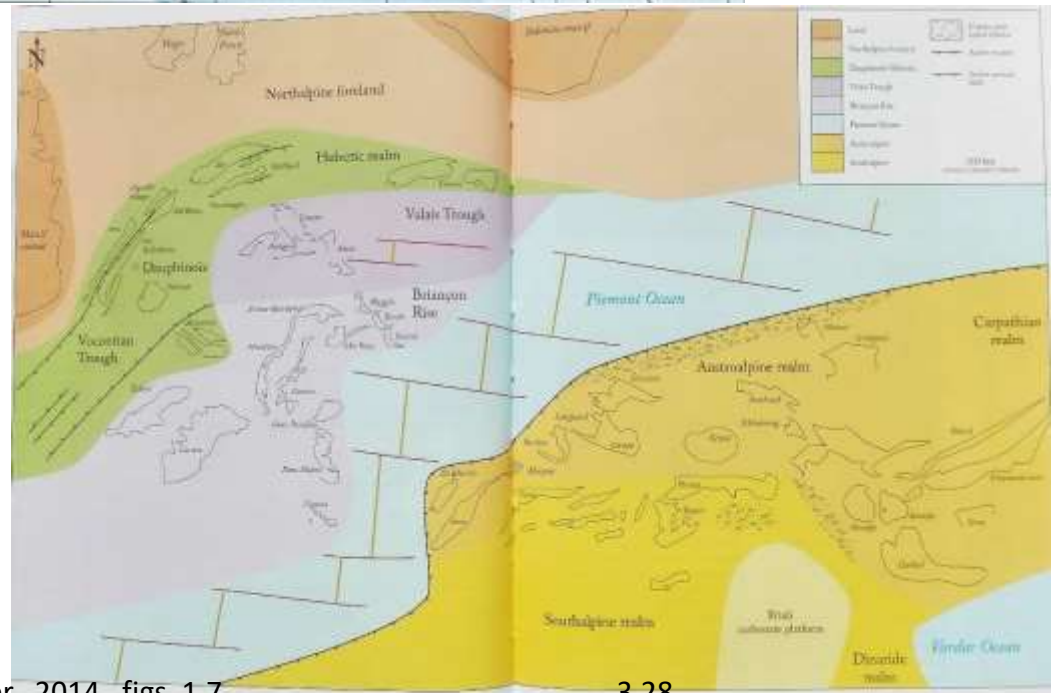
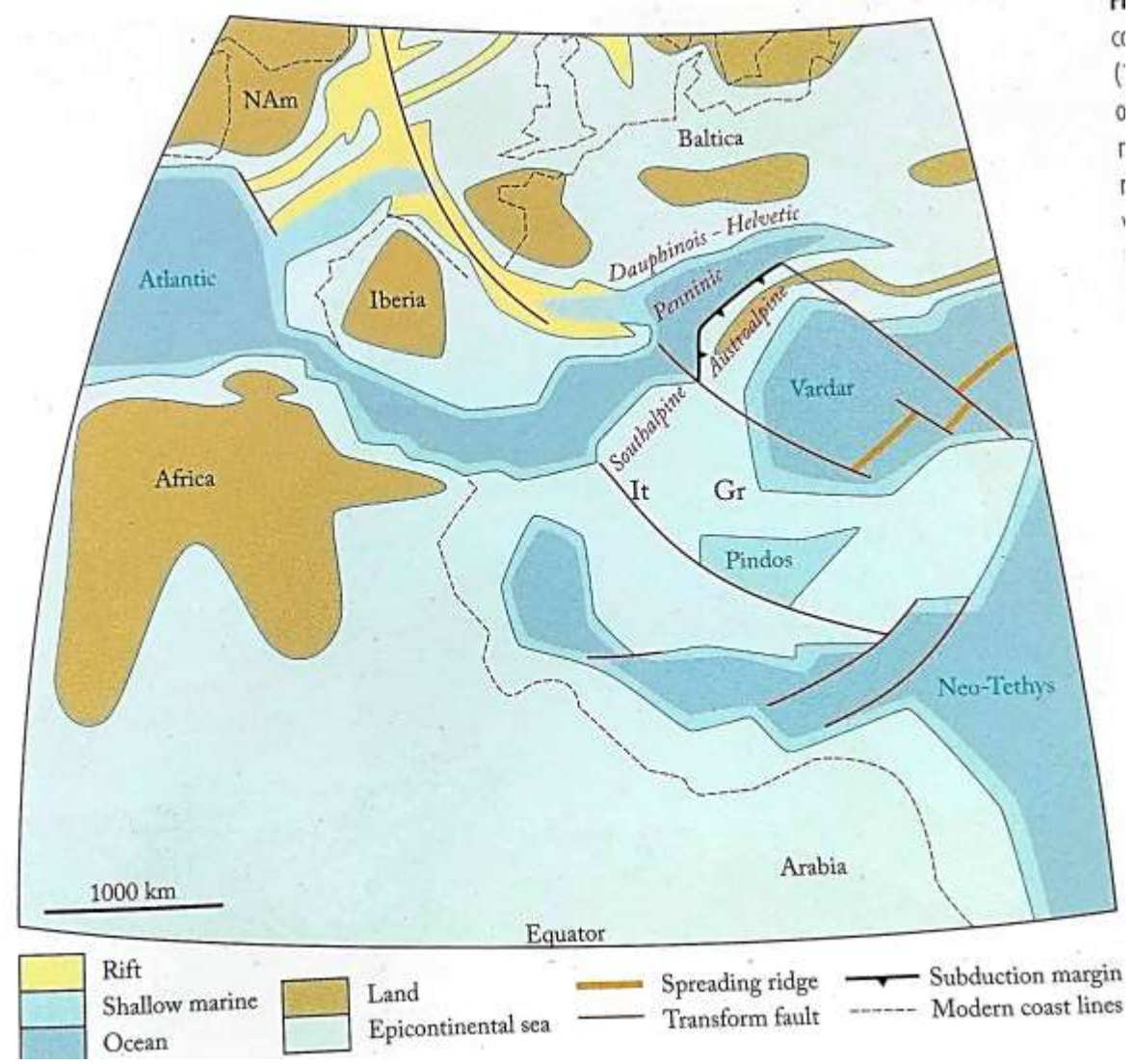


- Tijdens de aanloop naar de Alpenvorming vooral afzetting van sediment, het meest onder zeeniveau, afkomstig van de grote continentale platen.
- Dat schematisch afgebeeld in volgende dia's.
- Omdat in ons geval de zee een oceaan wordt tussen convergerende grote platen, verdwijnt oceaانبodem met zijn sedimentbedekking in de subductie zone.

En nu de Alpen (27/35) Vroeg-Krijt - 125 m.j. Verder uiteendrijven Pangea, wijdere Atlantische Oceaan en oceaan in Penninisch gebied, ontstaan subductiezone Penninische oceaan onder Austroalpiene kust/Adriatische plaat, draaiing Afrika én Eurazië (zie referentiecontouren rechts)



referentiecontouren rechts

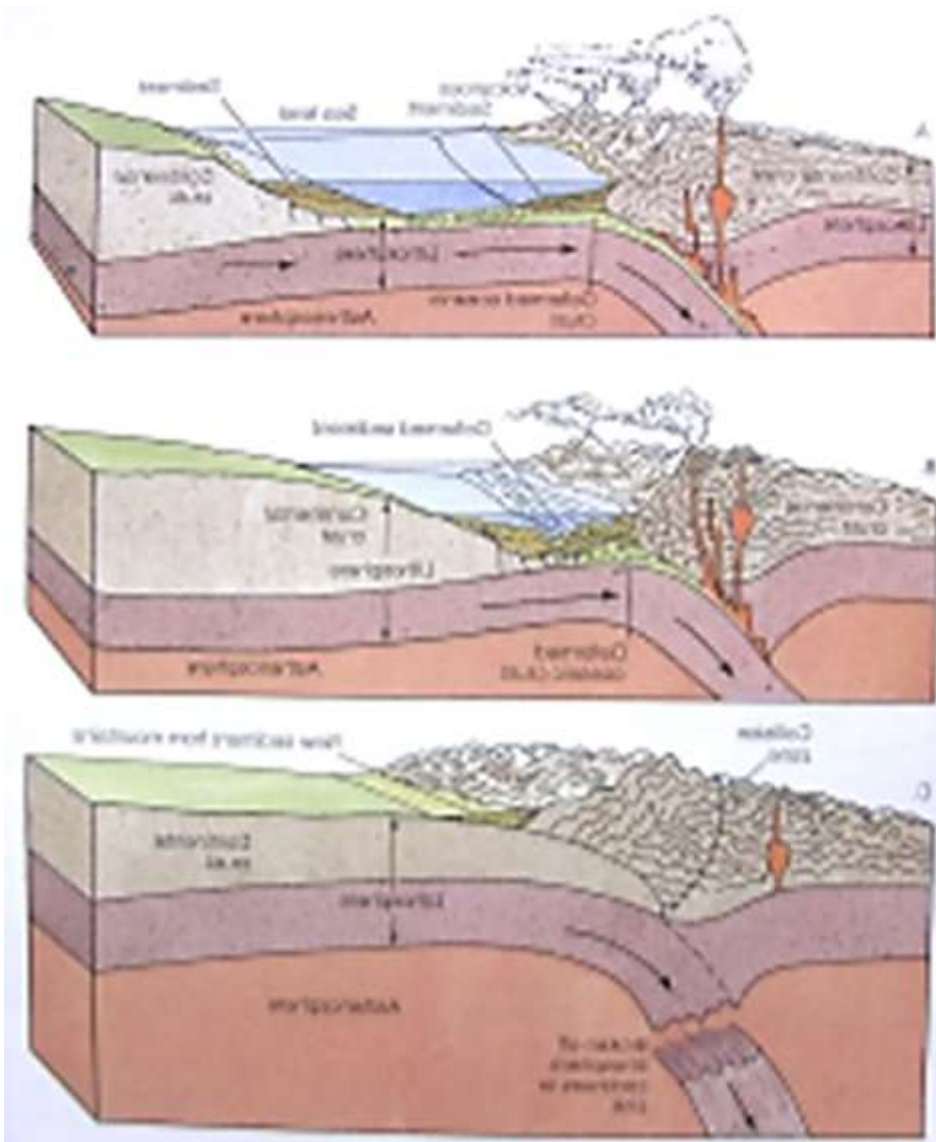


Pfiffner 2014 figs 1.7

3.28

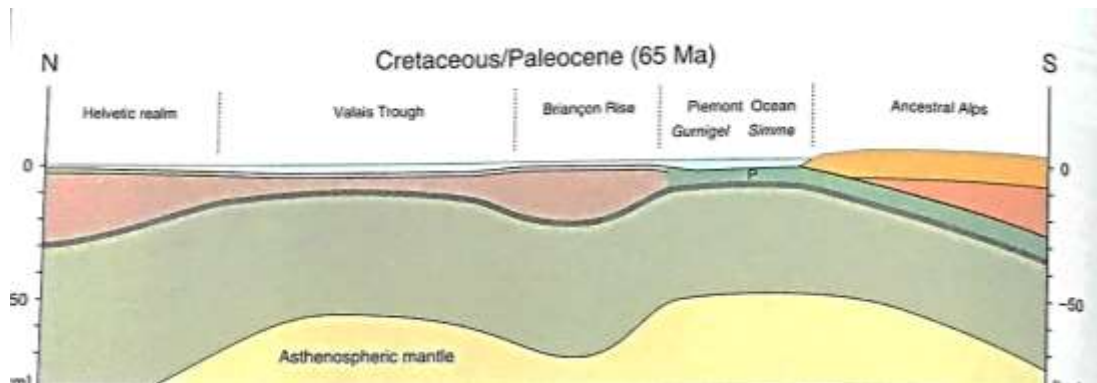
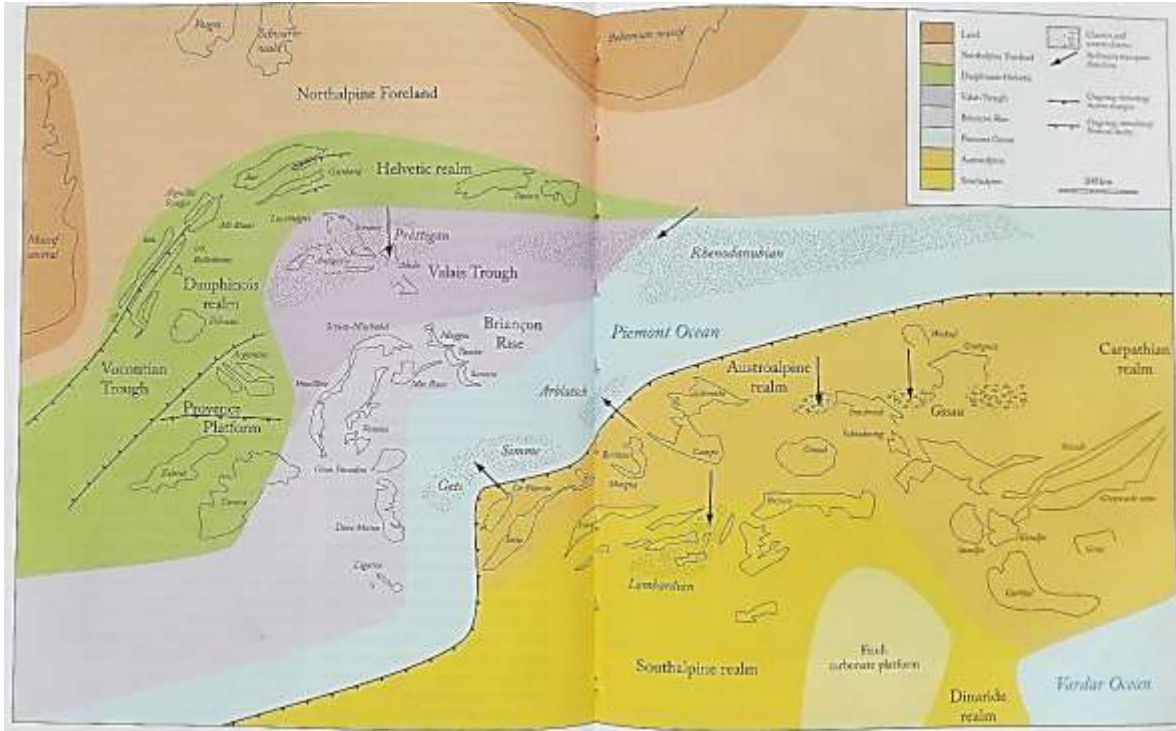
3.27

## En nu de Alpen (28/35)



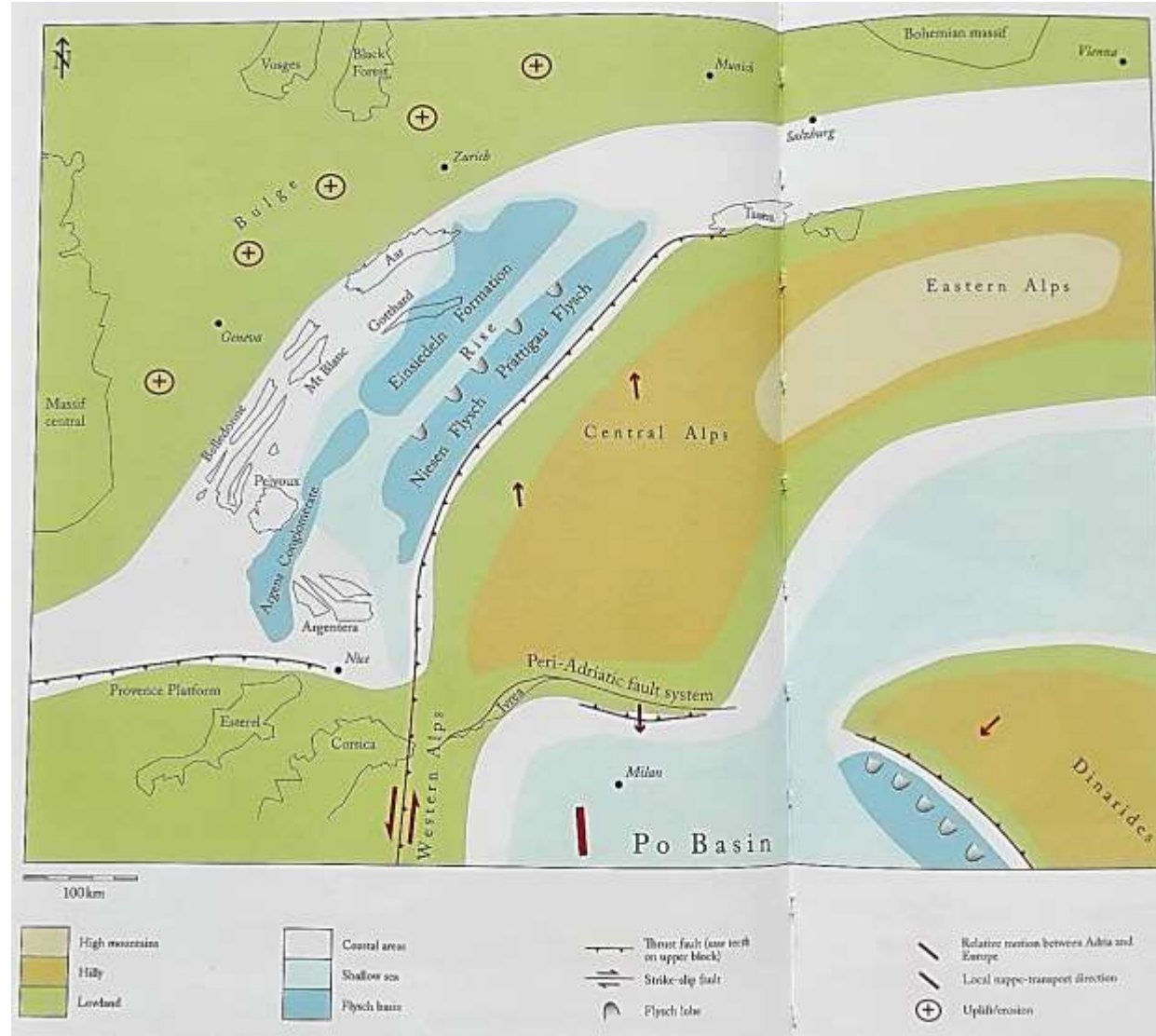
- Tijdens de aanloop naar de Alpenvorming vooral afzetting van sediment, het meest onder zeeniveau, afkomstig van de grote continentale platen.
- Omdat in dit geval de zee een oceaan is tussen convergerende grote platen, verdwijnt oceaانبodem met sedimenten er op in de subductie zone.
- Wanneer het voorland van beide platen elkaar nadert, wordt sedimentatie meer afbraakproduct van boven water komende landmassa's.
- Uiteindelijk stoten de platen met hun sedimentbedekking tegen elkaar, amper ruimte in de lengte, dus de hoogte in.
- Weergegeven gebied gelijk, drie plaatjes op volgende twee dias met andere legenda

- 90 m.j. Austroalpiene gebergtevorming



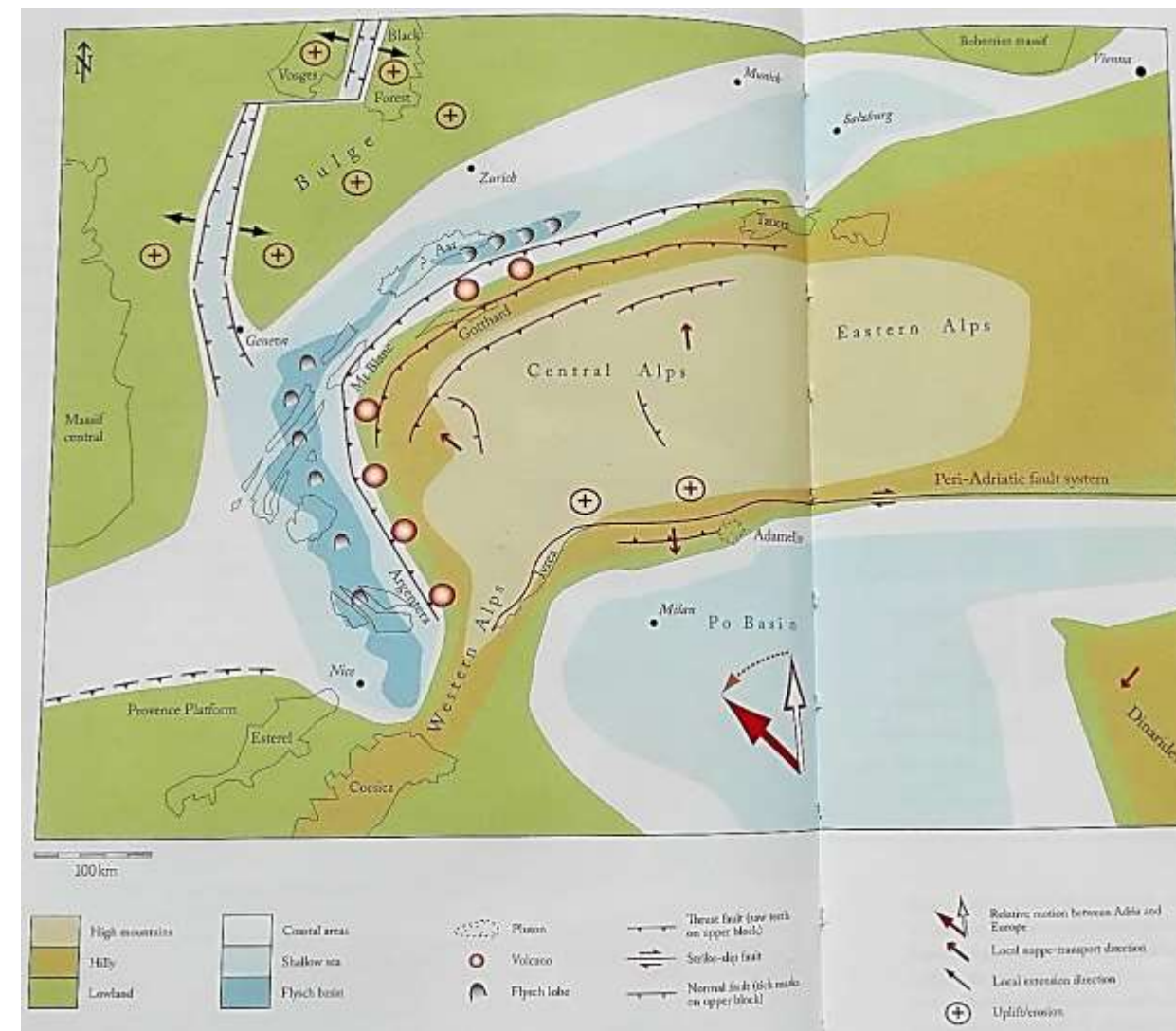
Pfiffner 2014 figs 4.11  
3.16

- 55 m.j. Voortgezette subductie in C en W Alpengebied



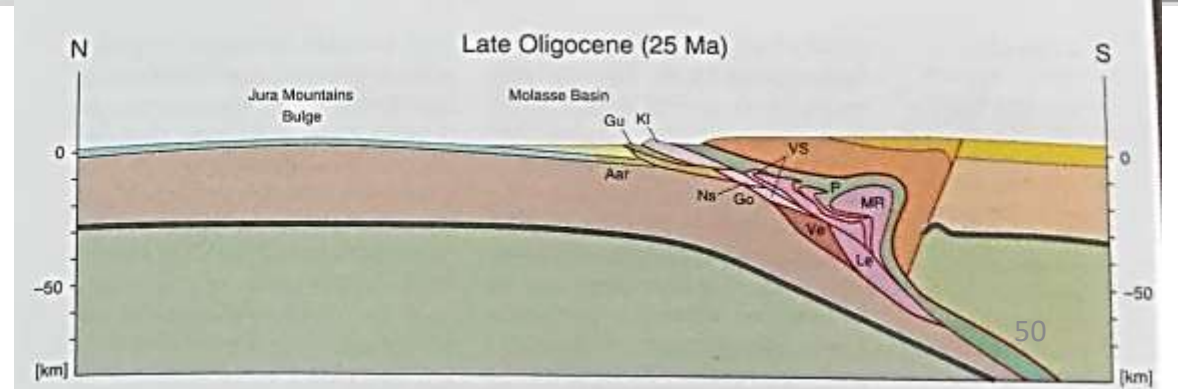
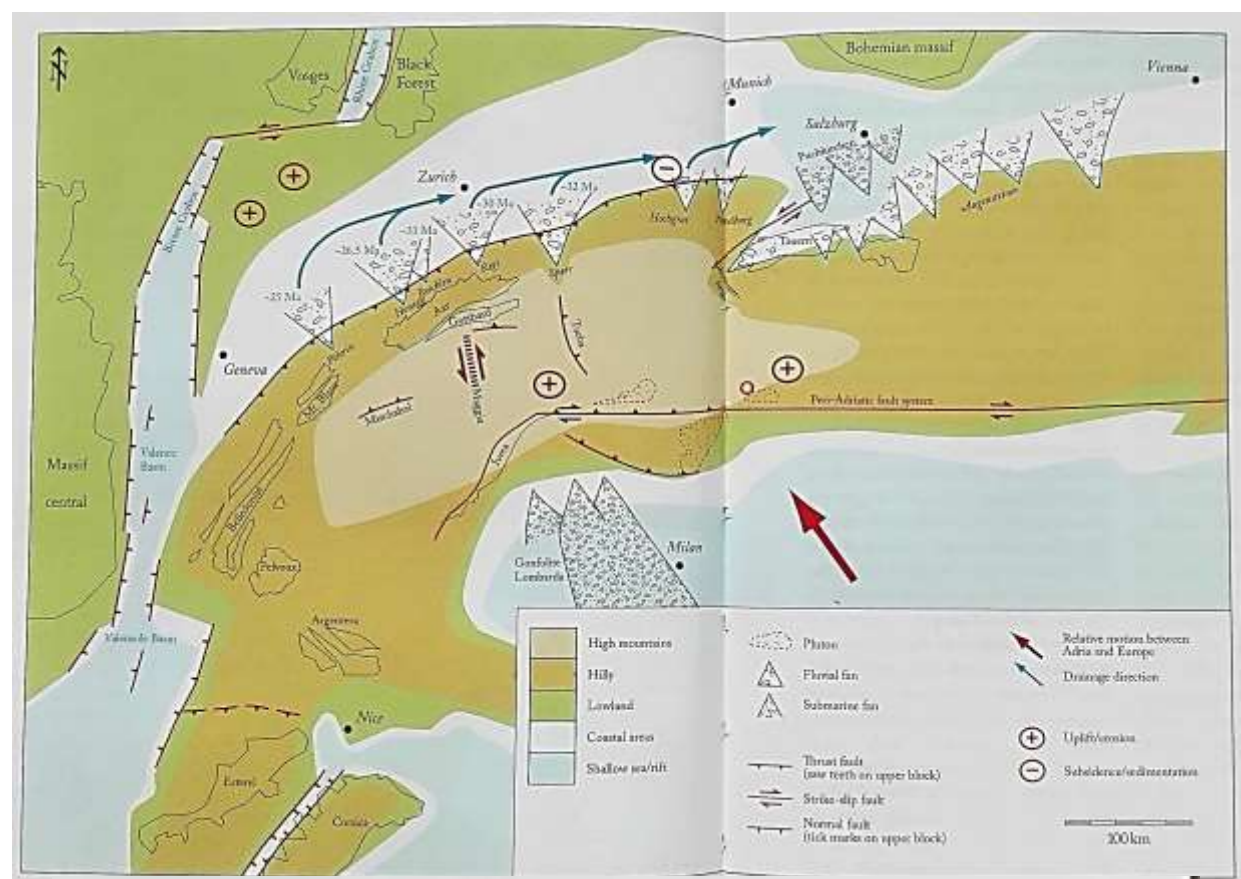
4.12

West Alpen Centrale Alpen

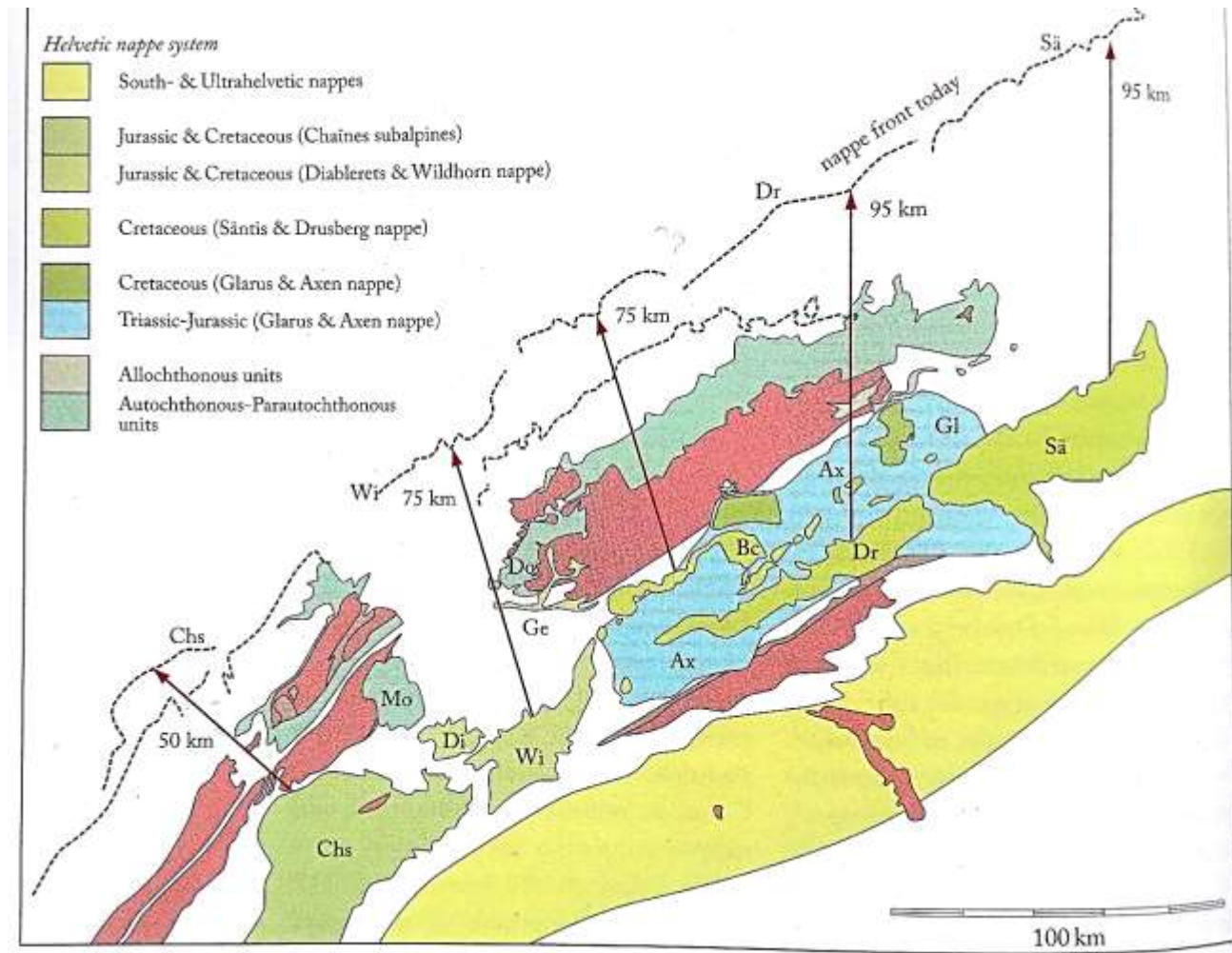
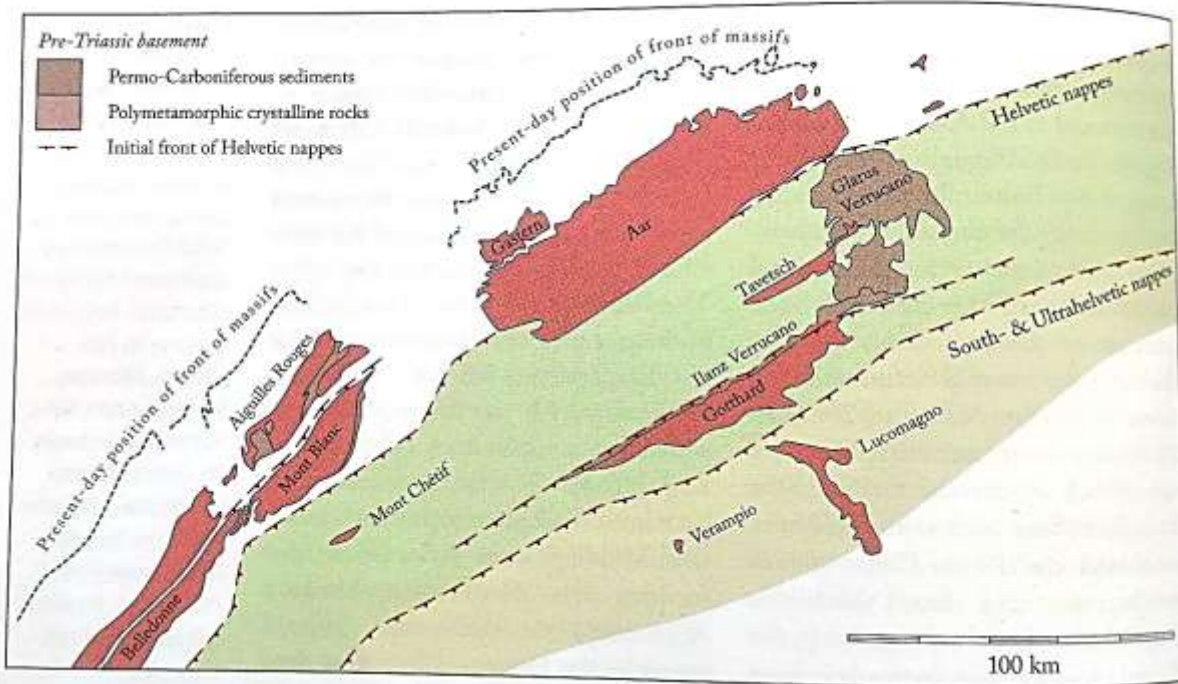


Pfiffner 2014 figs 4.13

4.14  
6.17

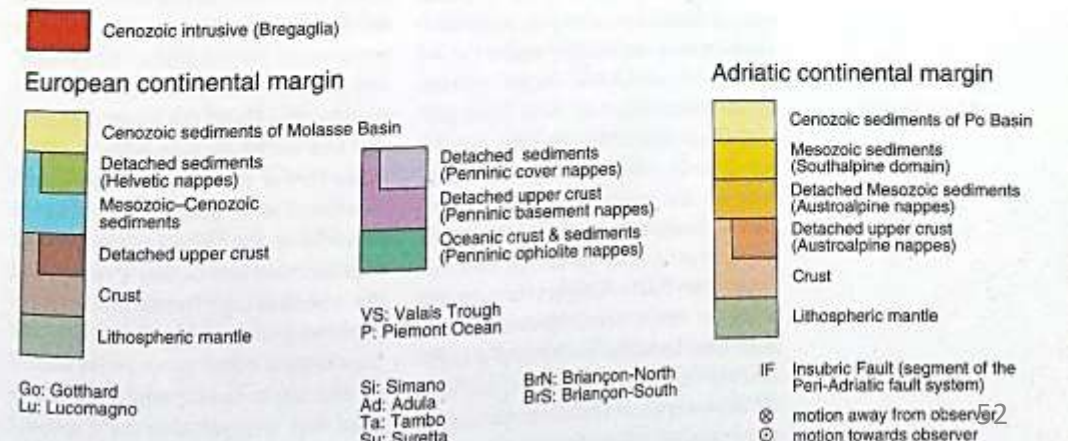
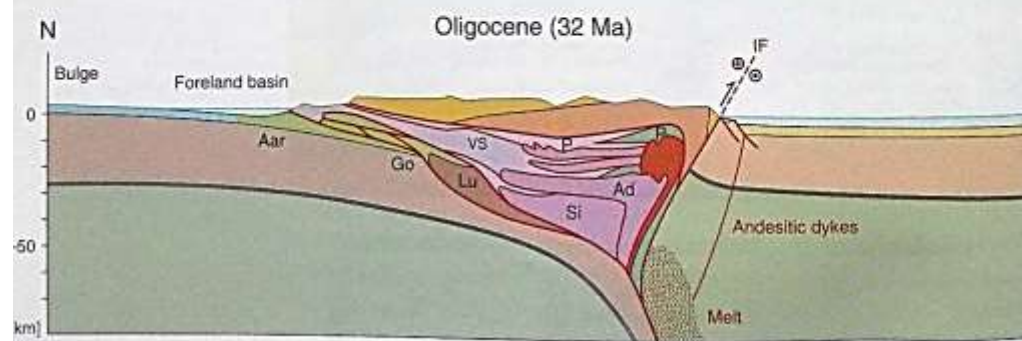
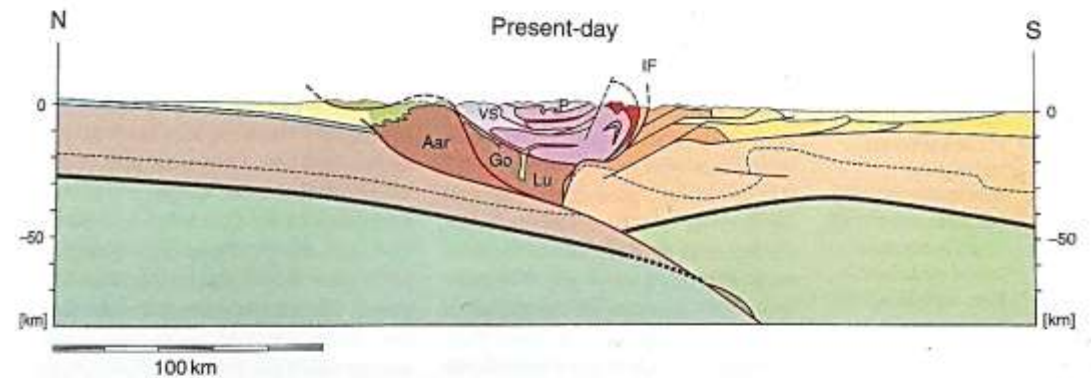
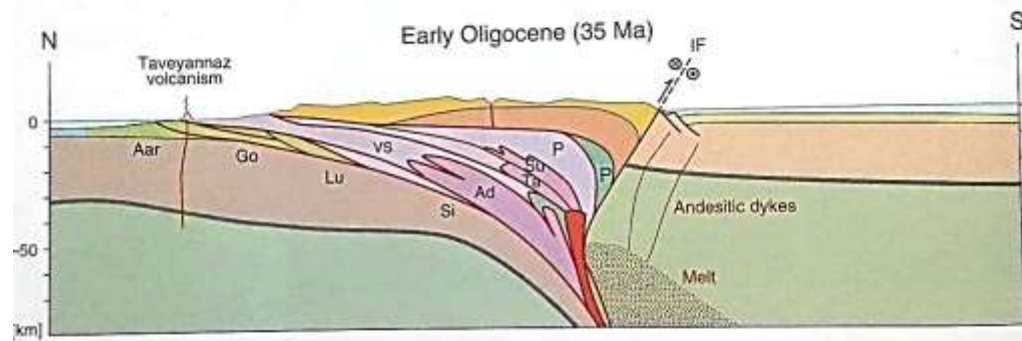
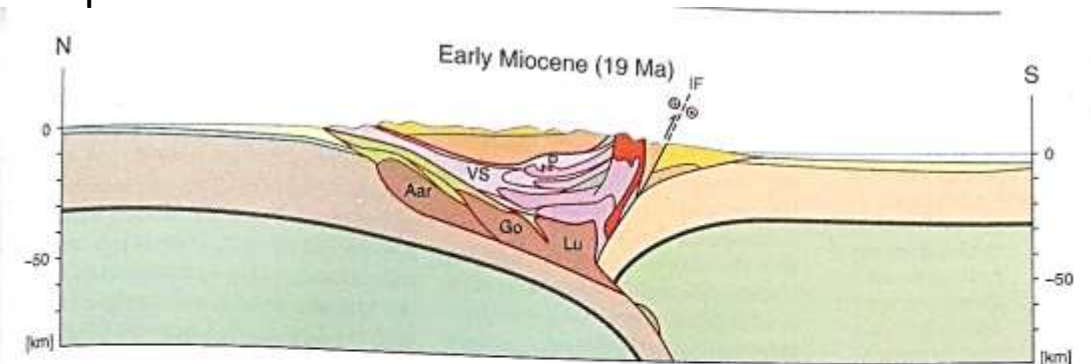
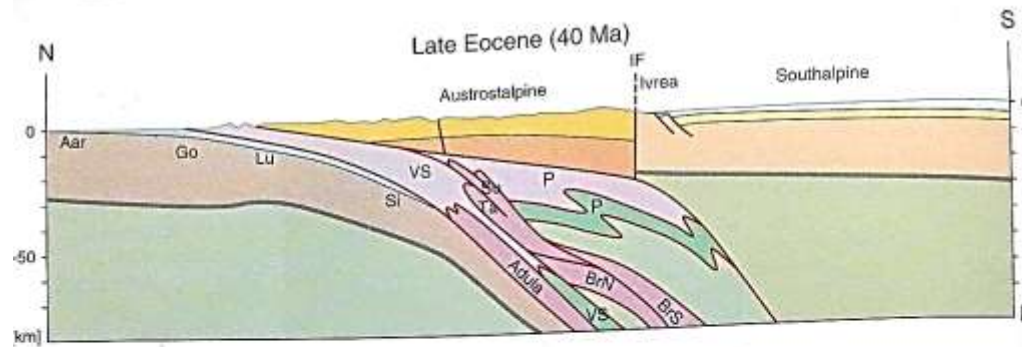


# Overschuiving Helvetische sedimenten vanuit zuidelijk afzettingsgebied->noorden: Helvetische dekbladen

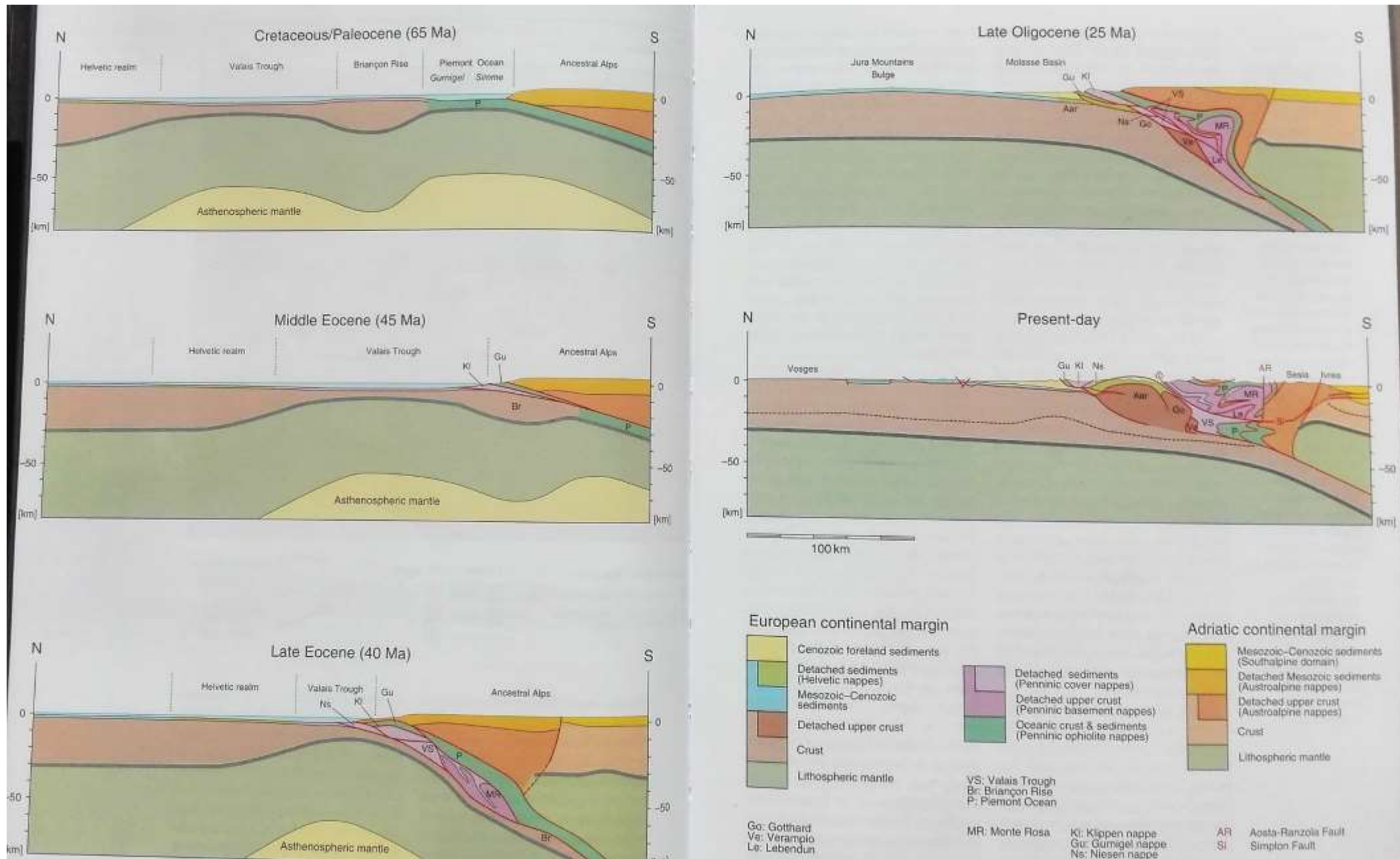


Pfiffner 2014 fig 5.2-15

Vergelijk met profielen, volgende dias



Pfiffner 2014 fig. 6.17



Pfiffner 2014 fig. 6.12

En nu de Alpen (34/35 )

A De vier domeinen van de Europese Alpen, huidige situatie

B Pre-mesozoische grondgebergte-eenheden, bijvoorbeeld (Helvetisch domein:)

GL Glarus  
AG Aar-Gotthard  
AR-MB Aig R-M Blanc  
(Penninisch domein:)

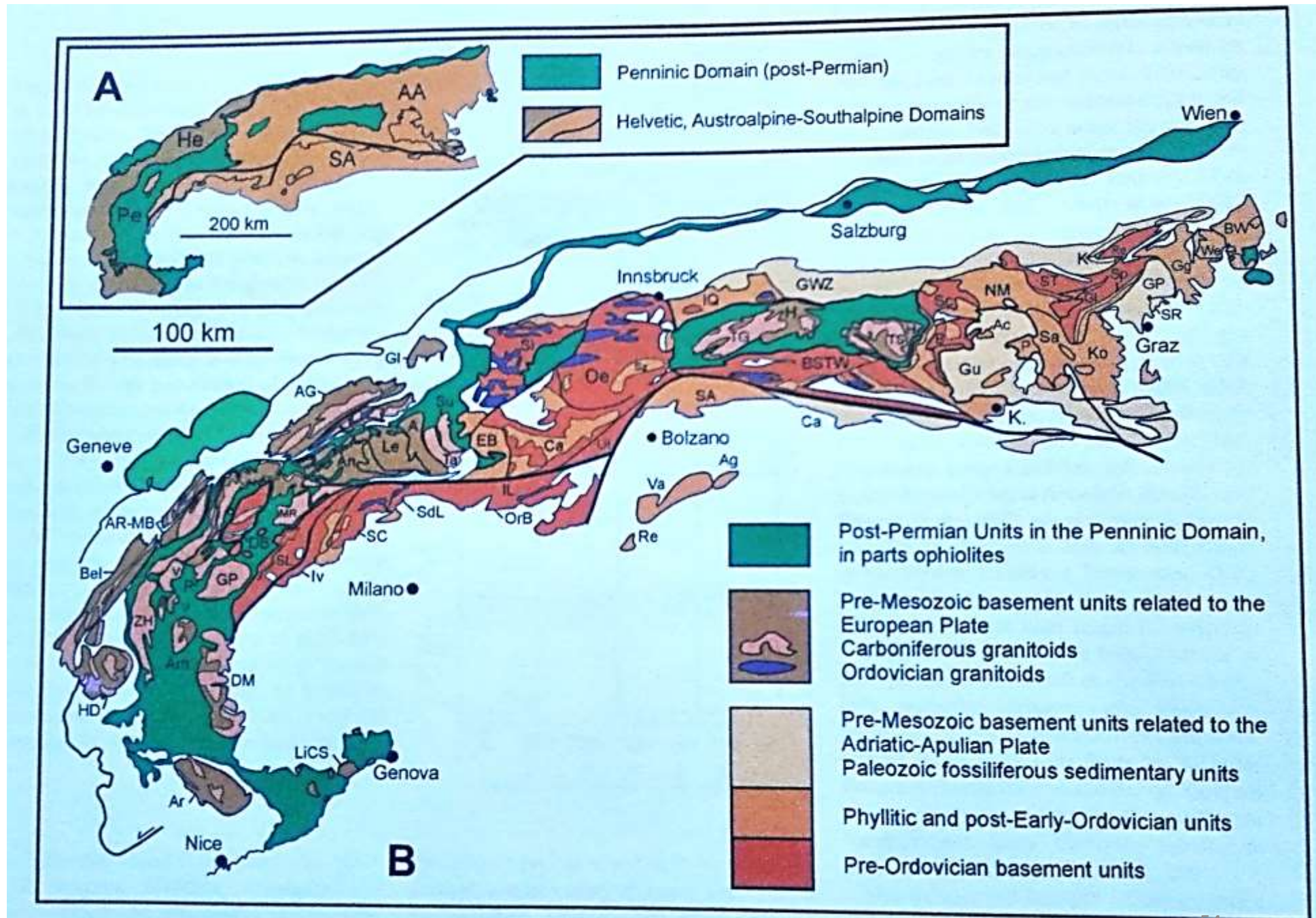
TG Tauern  
grondgebergte venster  
L Lepontinische dekbl.  
(o.a. Maggia)

MR Monte Rosa  
GP Gran Paradiso  
(Austroalpien domein:)

SL Sesia-Lanzo zone  
DB Dent Blanche  
EB Err-Bernina

OE Ötztal  
(Zuidalpien domein:)

IV Ivrea zone  
SA Zuidelijke Alpen



## Speelveld van grote continentale platen

