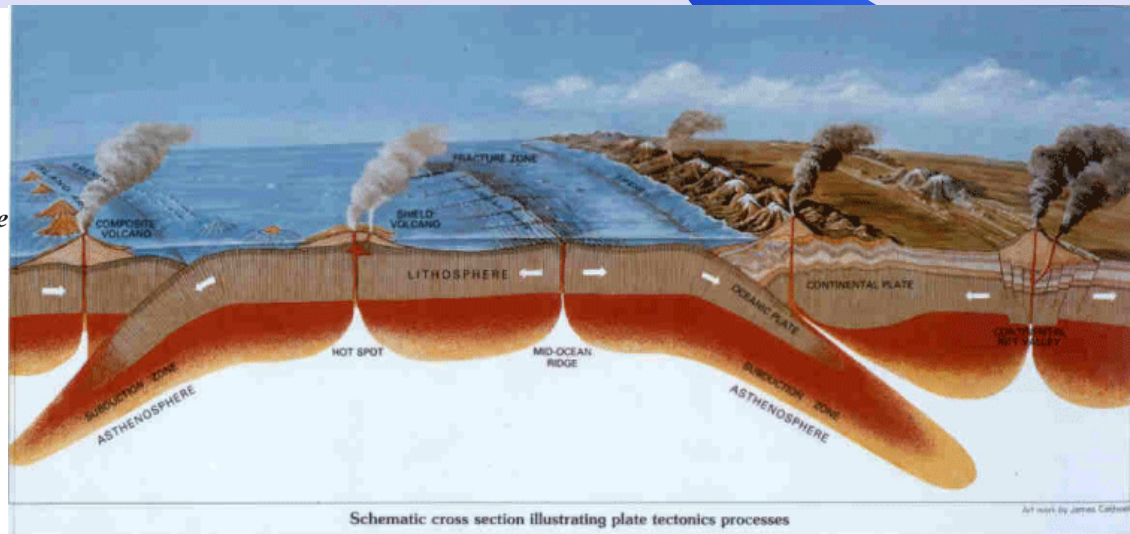
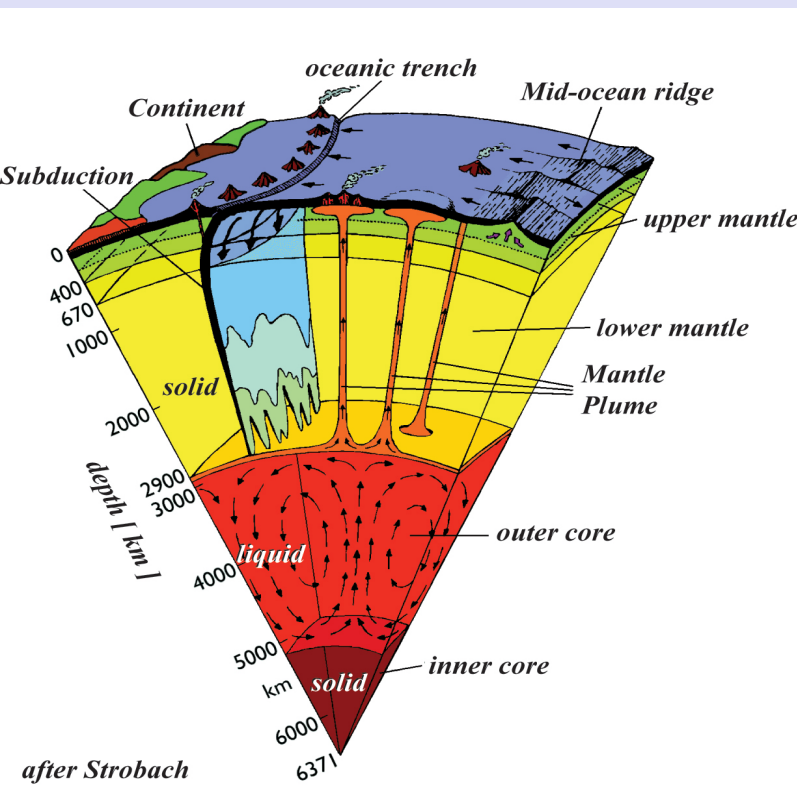


Plate Tectonics – Tectonics of lithosphere plates

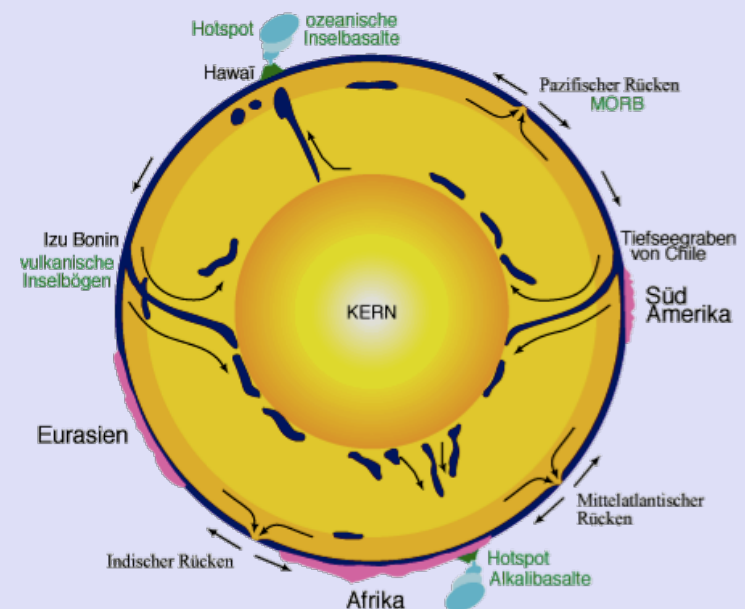
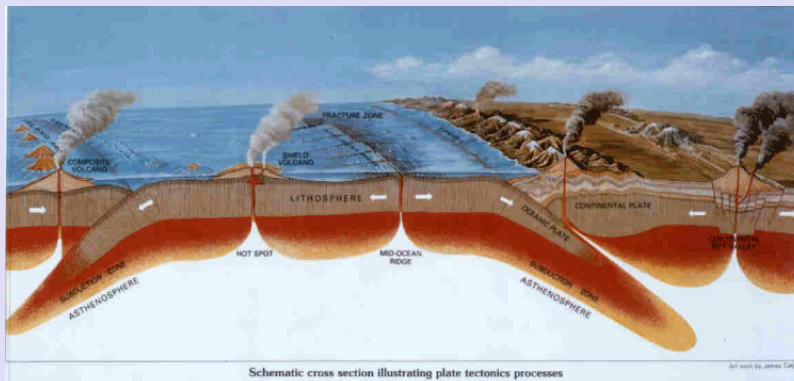
E. Kissling



Part 2

Inhalt: Plattentektonische Strukturen und Kräfte

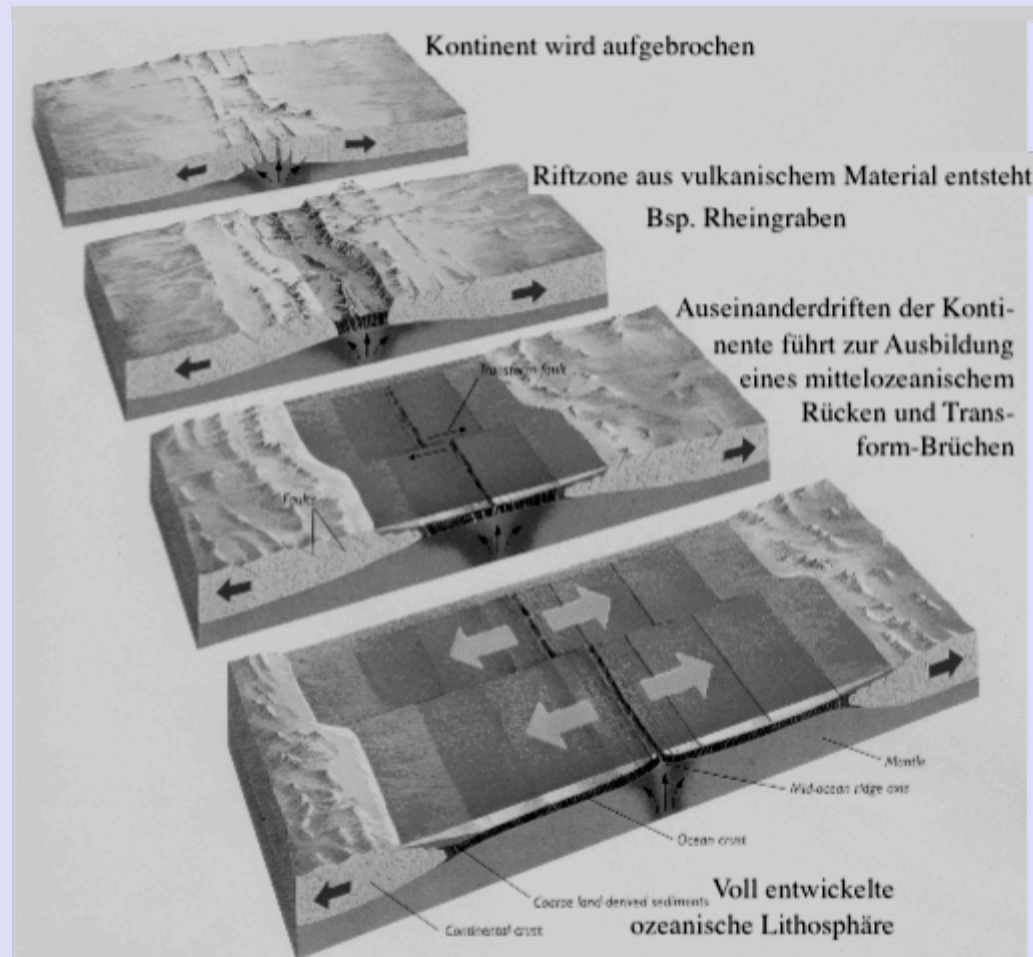
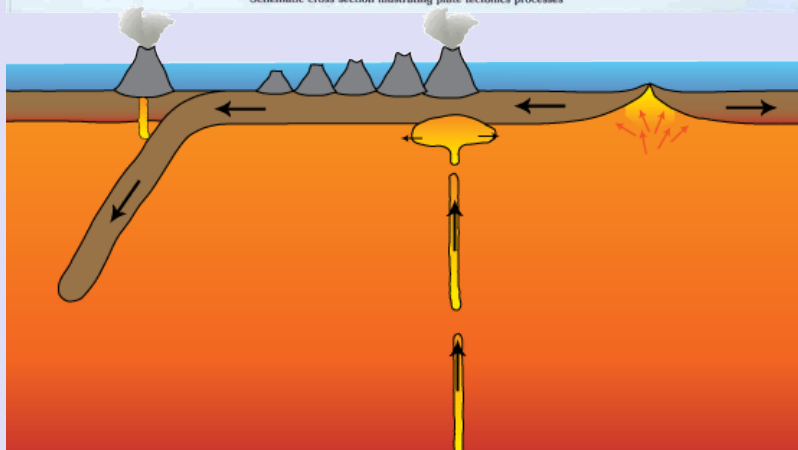
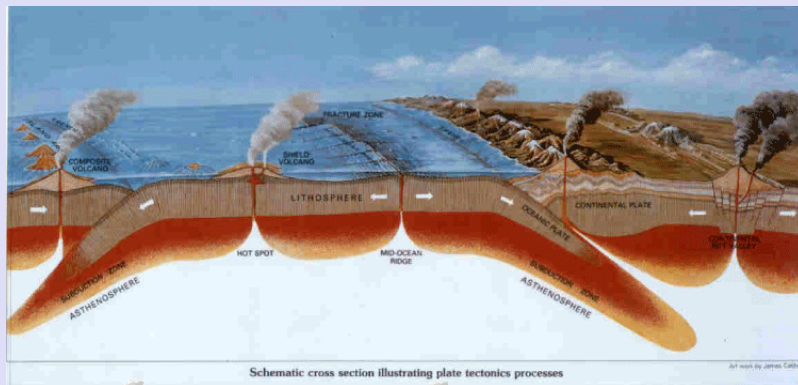
- Aufbau und Zustand der Erde ✓
- Lithosphäre als Mehrschichtenfestkörper ✓
- Zyklus der ozeanischen Lithosphäre
- Antriebsmechanismus der Plattentektonik
- Plattenränder und Kräfte an Lithosphärenplatten
- Wilson-Zyklus und kontinentale Gebirgsbildung
- Kinematik der Lithosphärenplatten



Kapitel 3

Zyklus der ozeanischen Lithosphäre

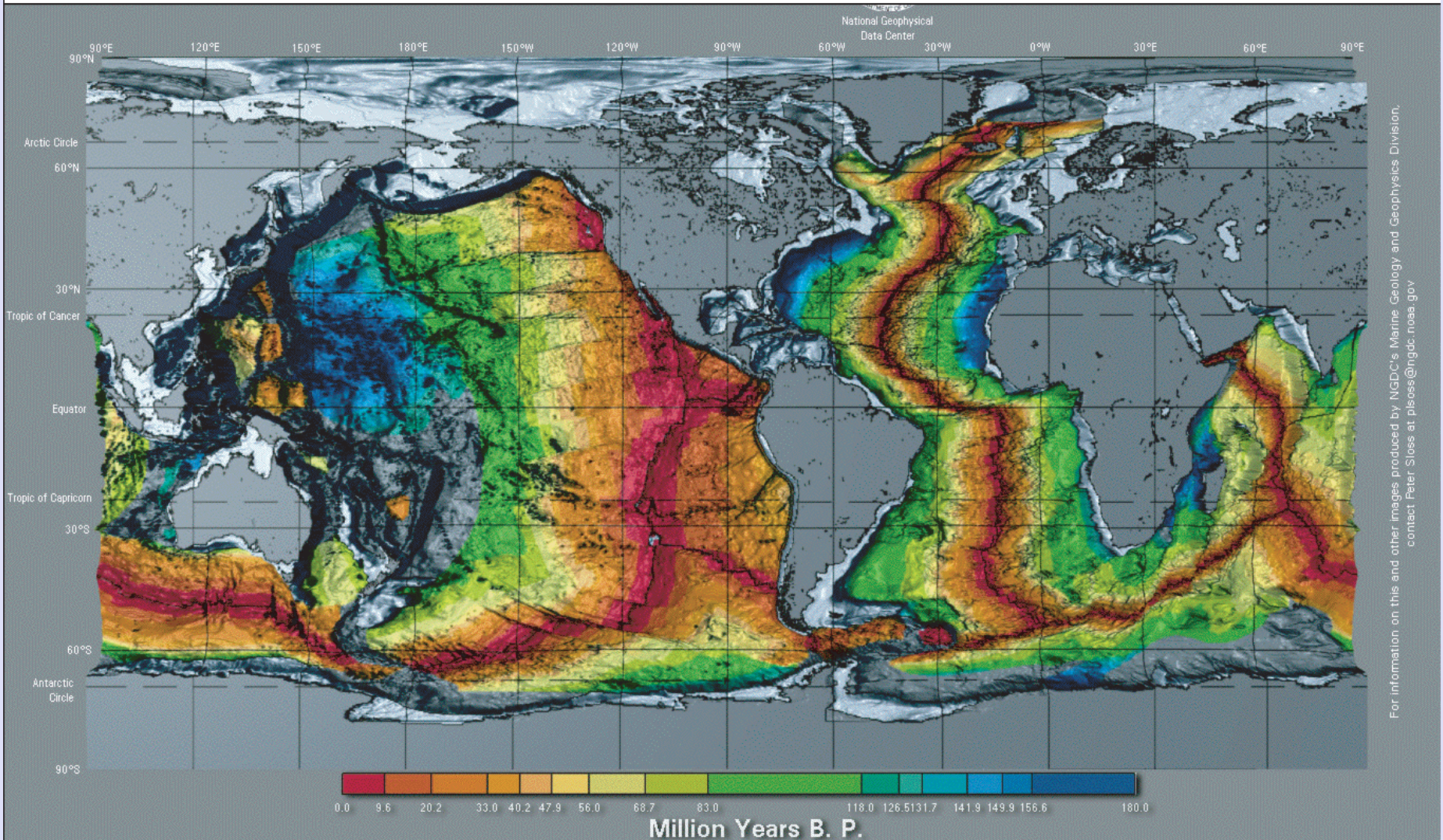
Entstehung ozeanischer Kruste und Mantellithosphäre, Recycling Mantelmaterial, wichtigste Plattenkräfte



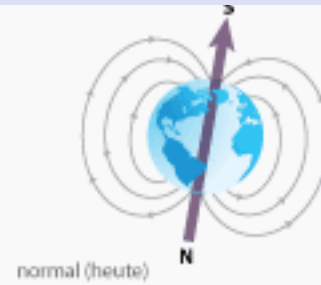
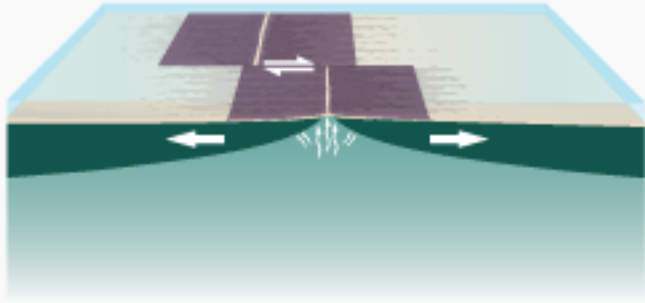
Kapitel 3

Zyklus der ozeanischen Lithosphäre

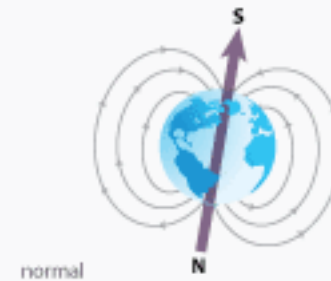
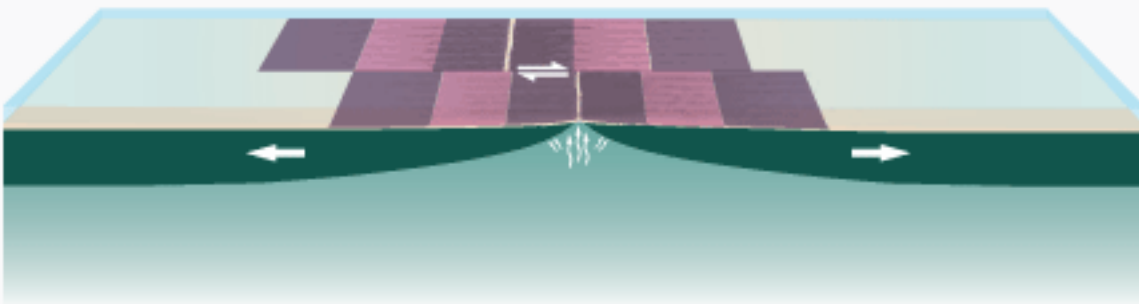
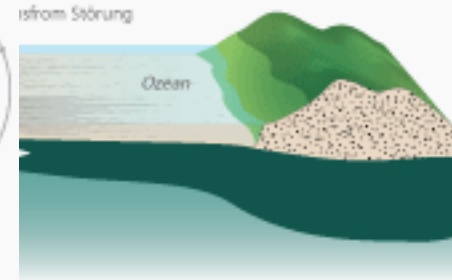
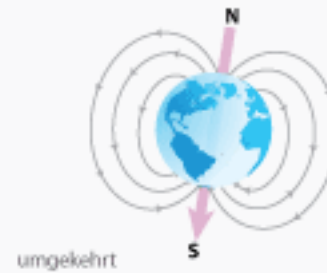
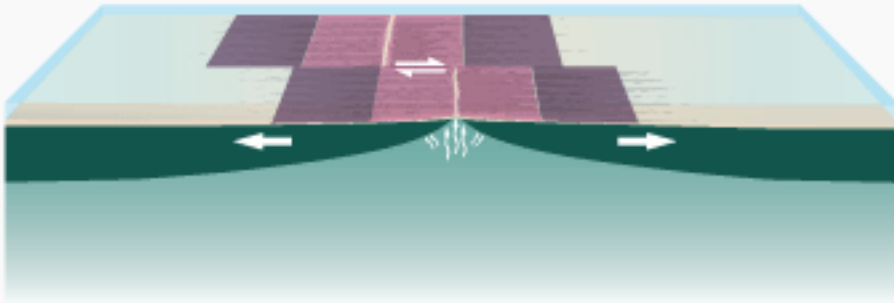
Age of Oceanic Crust



Entstehung des magnetischen Streifenmusters der ozeanischen Kruste am MOR (mittelozeanischer Rücken)

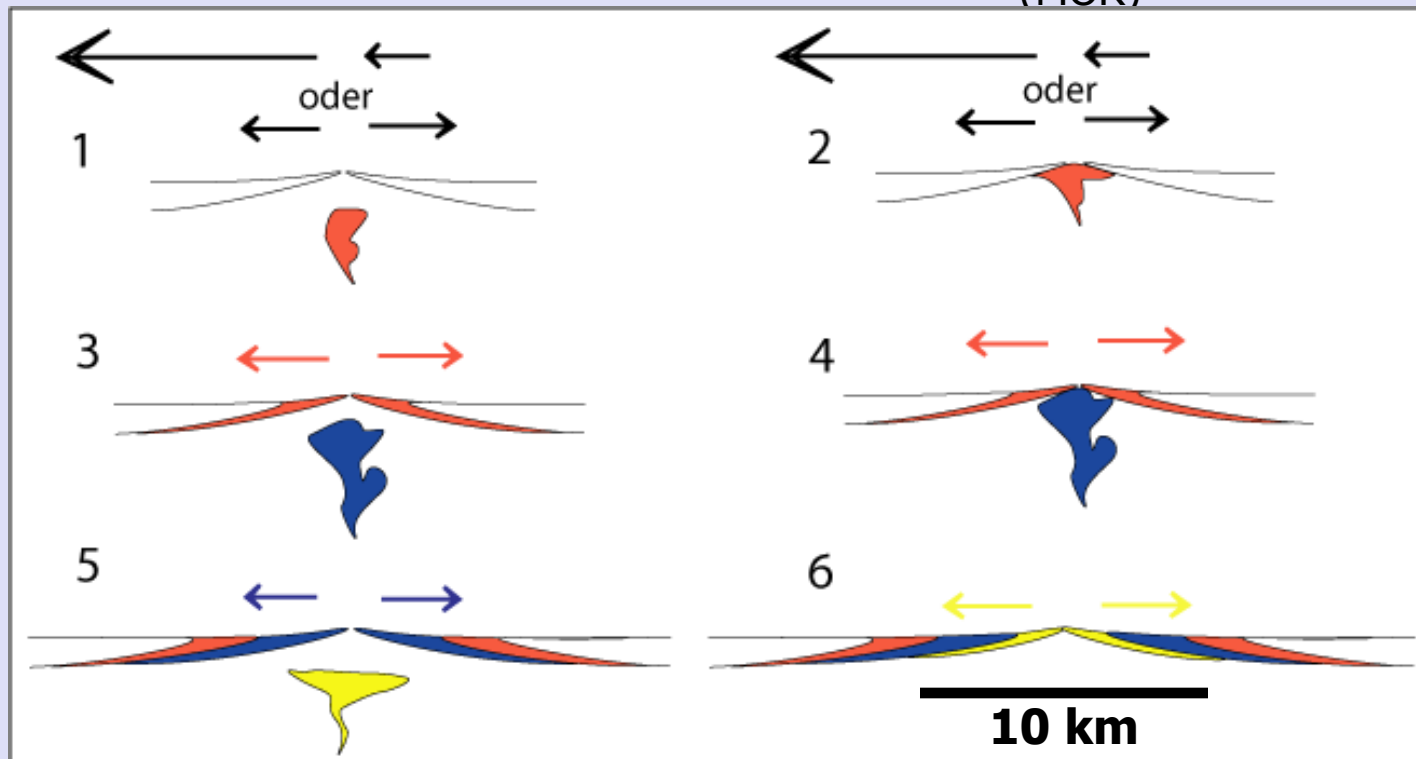


Merke:
Die (nicht-sedimentäre) ozeanische Kruste entsteht am MOR und wird nachher nicht mehr mächtiger!



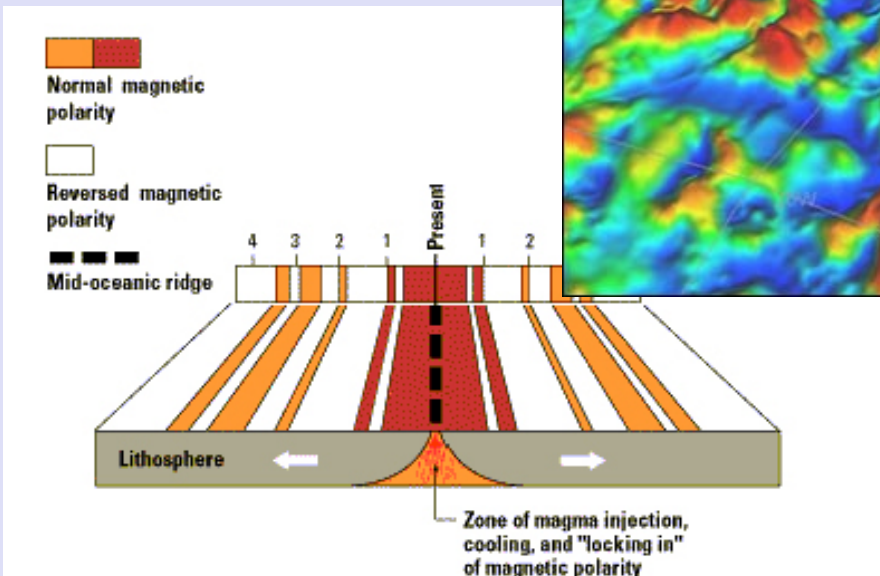
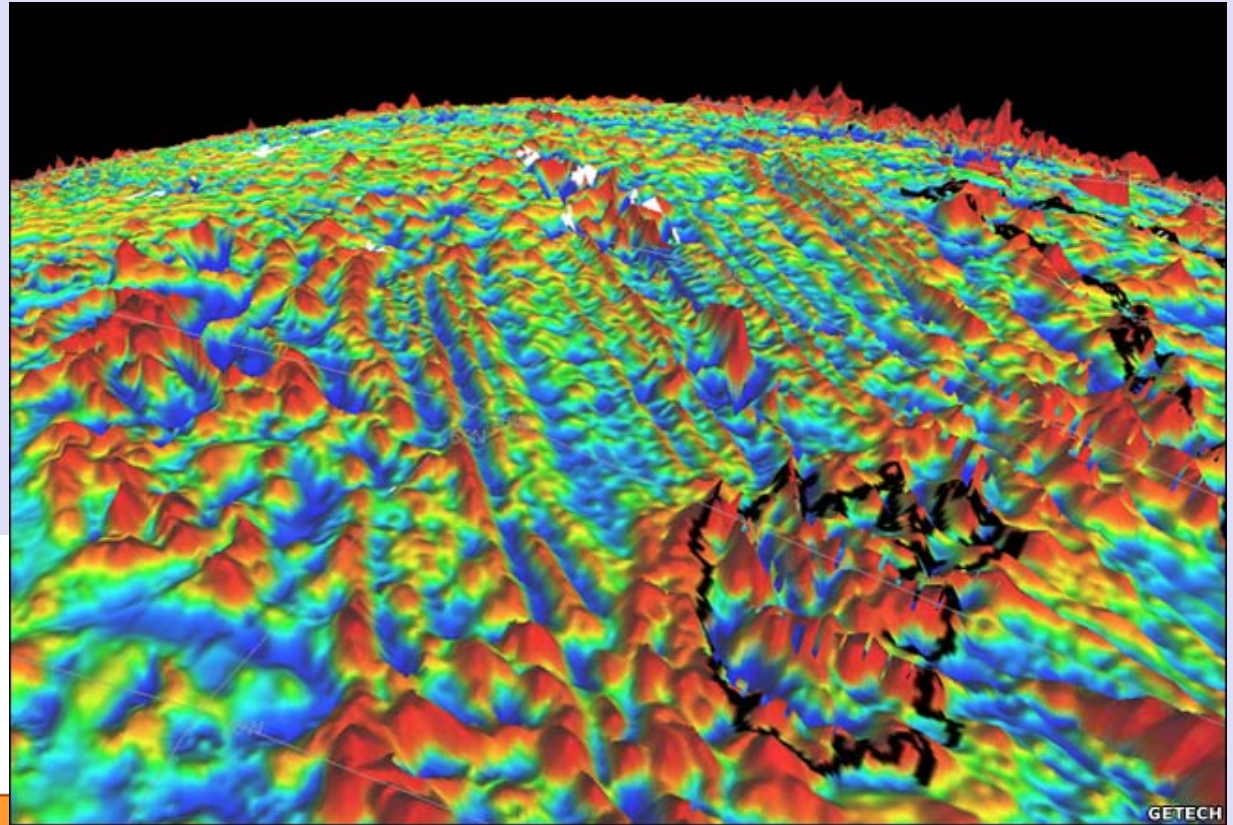
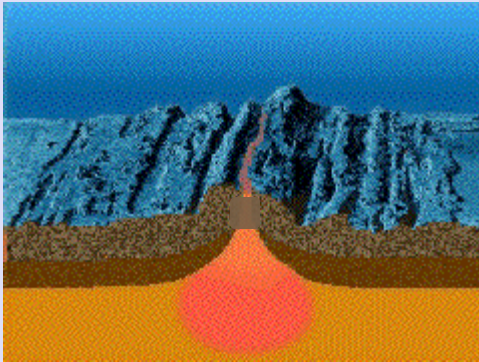
Entstehung des magnetischen Streifenmusters der ozeanischen Kruste am MOR

Mittelozeanischer Rücken
(MOR)



Merke: Die (nicht-sedimentäre) ozeanische Kruste entsteht am MOR und wird nachher nicht mehr mächtiger!

Streifenmuster im Ozeanboden



www.pbs.org, www.geolinde.musin.de

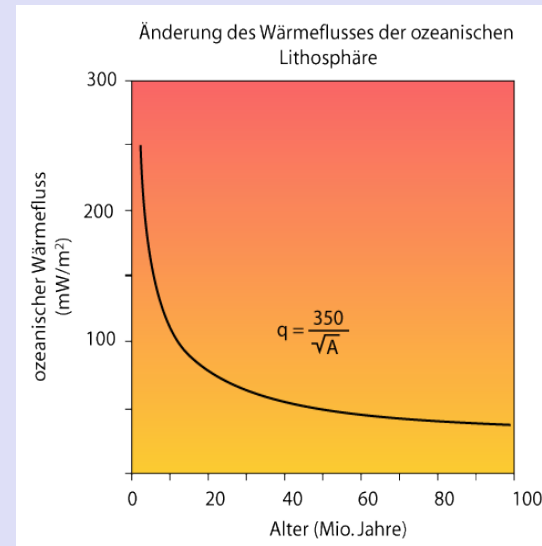
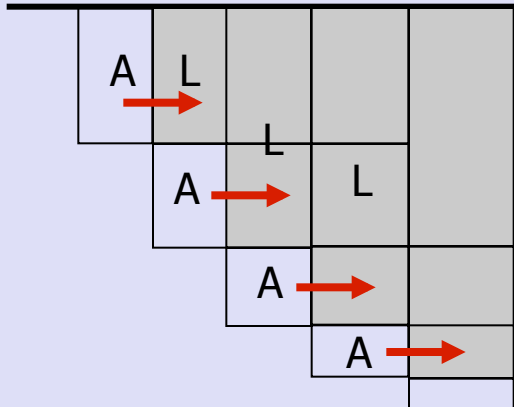
Ozeanische Lithosphäre (1)

Wie hängen Wärmefluss, Mächtigkeit der Lithosphäre und Meerestiefe zusammen?

A) Wärmefluss und Mächtigkeitszunahme

MOR

Distanz ab MOR



- Was passiert? Solidus $\sim 1300^{\circ}\text{C}$ unterschritten (vgl. 2)
- Wohin geht diese Energie?
- Warum immer weniger Wärmefluss mit grösserem Abstand?

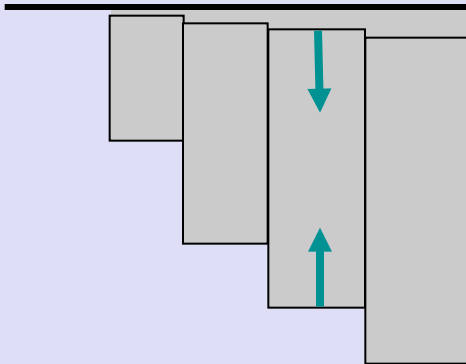
Ozeanische Lithosphäre (2)

Wie hängen Wärmefluss, Mächtigkeit der Lithosphäre und Meerestiefe zusammen?

B) Wärmefluss und Meerestiefe

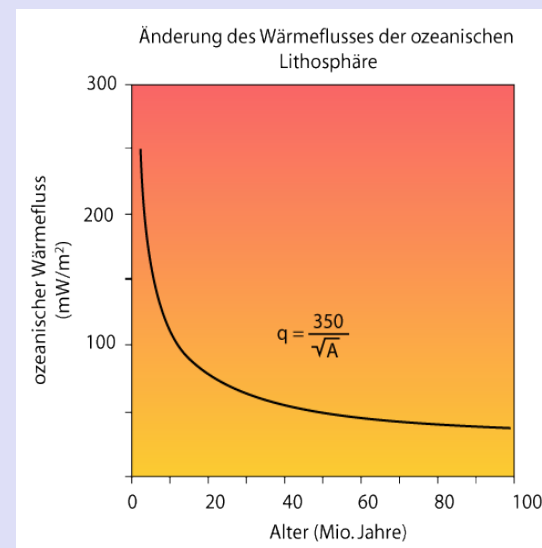
Weiteres Auskühlen der ozeanischen Lithosphäre nach Unterschreiten des Solidus

MOR



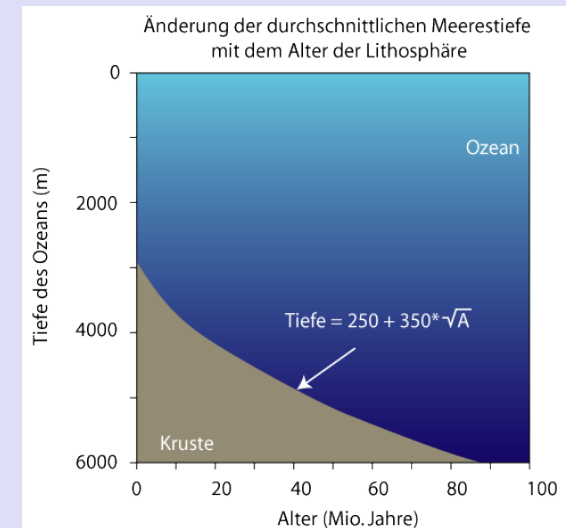
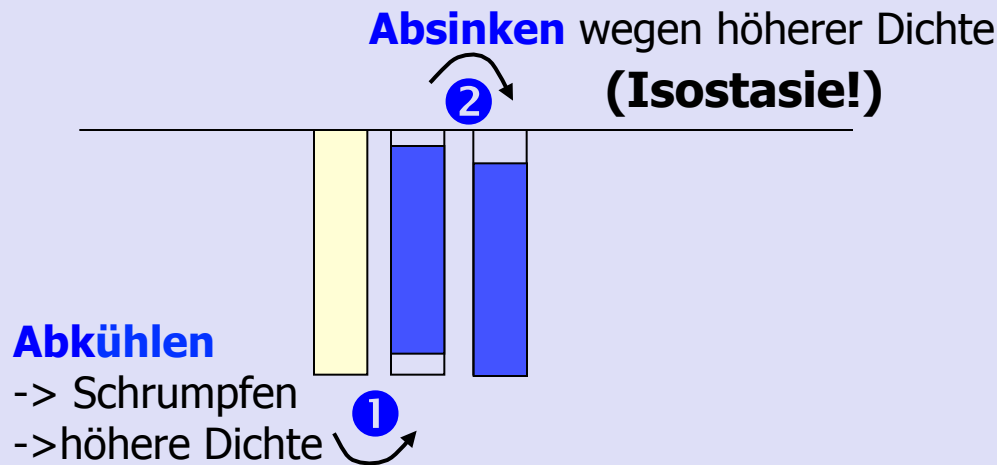
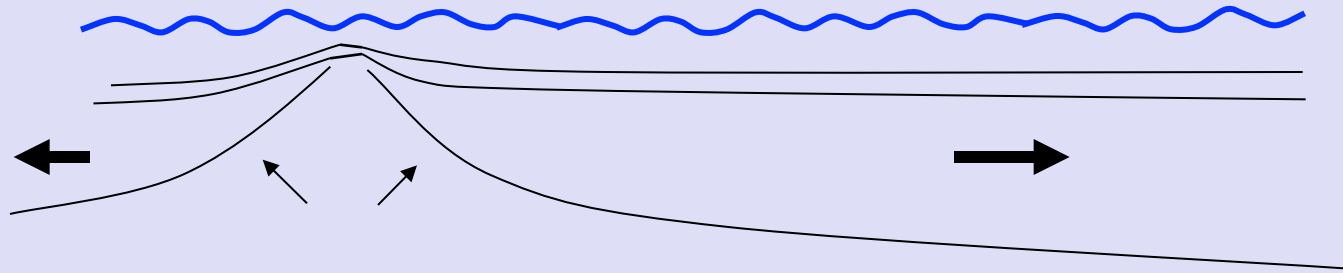
Was passiert beim Abkühlen eines Festkörpers?

Distanz ab MOR



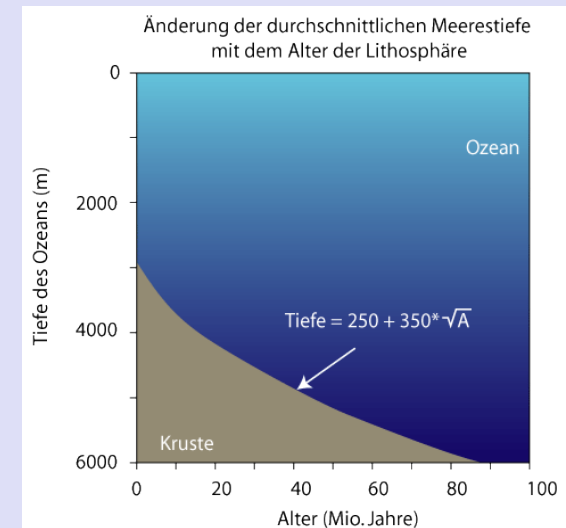
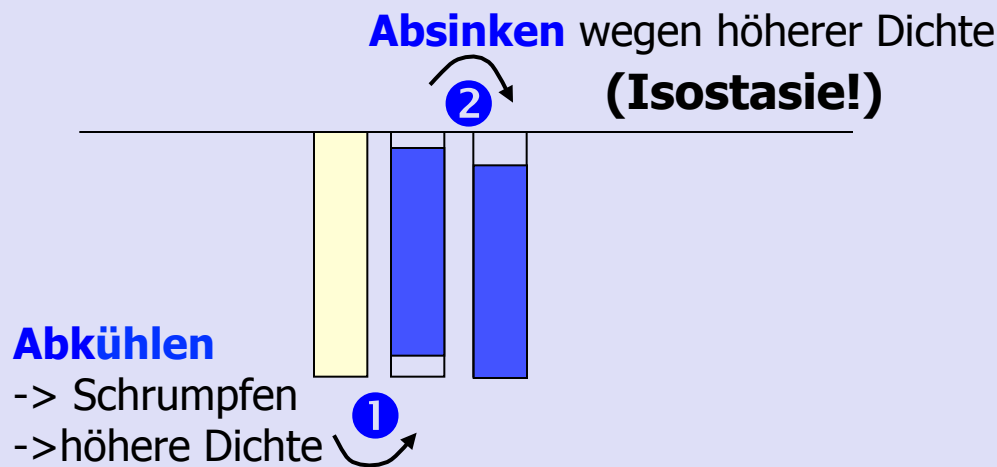
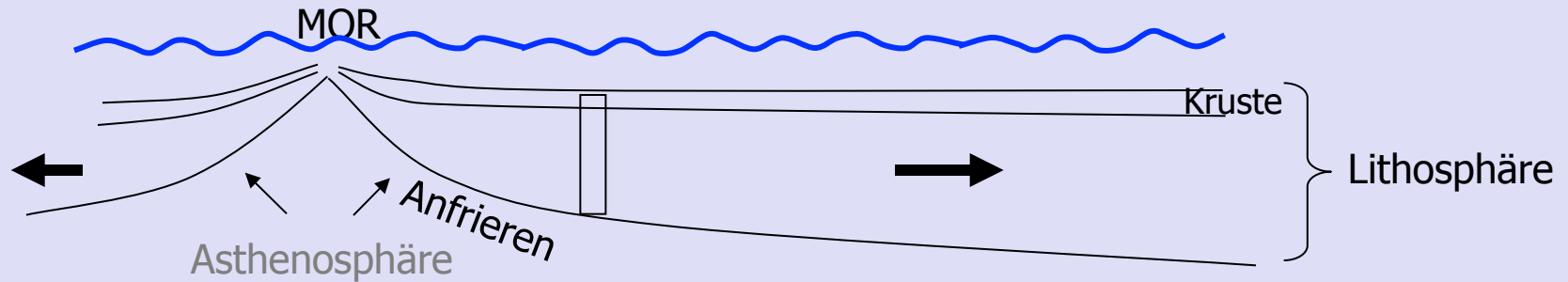
Ozeantiefe

Das Auskühlen der neu entstandenen ozeanischen Lithosphäre führt zum Schrumpfen und höherer Dichte, was ein Absinken zur Folge hat:



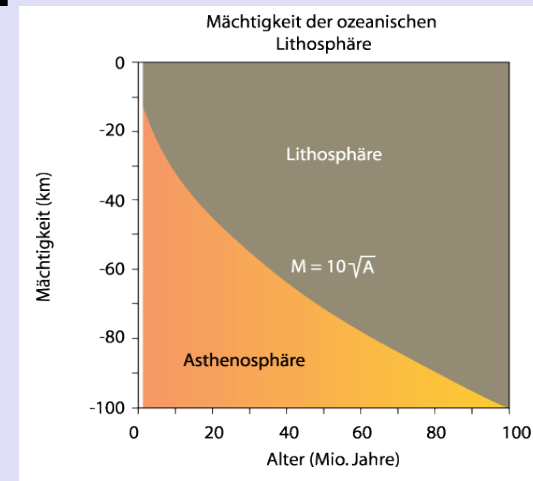
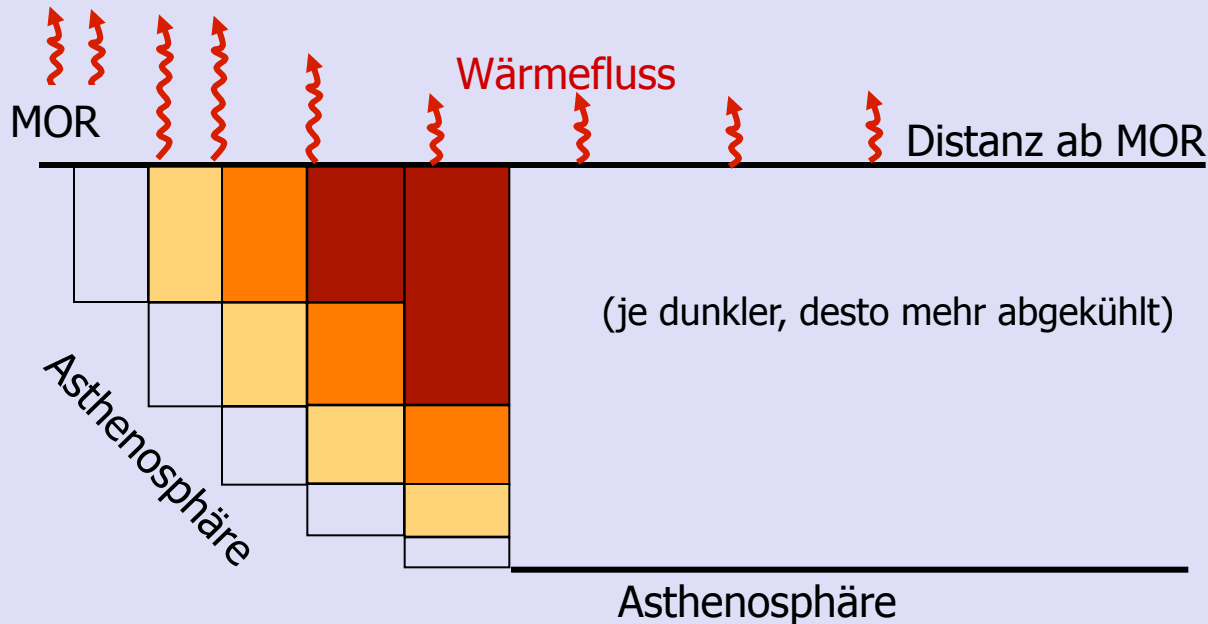
Ozeantiefe

Das Auskühlen der neu entstandenen ozeanischen Lithosphäre führt zum Schrumpfen und höherer Dichte, was ein Absinken zur Folge hat:



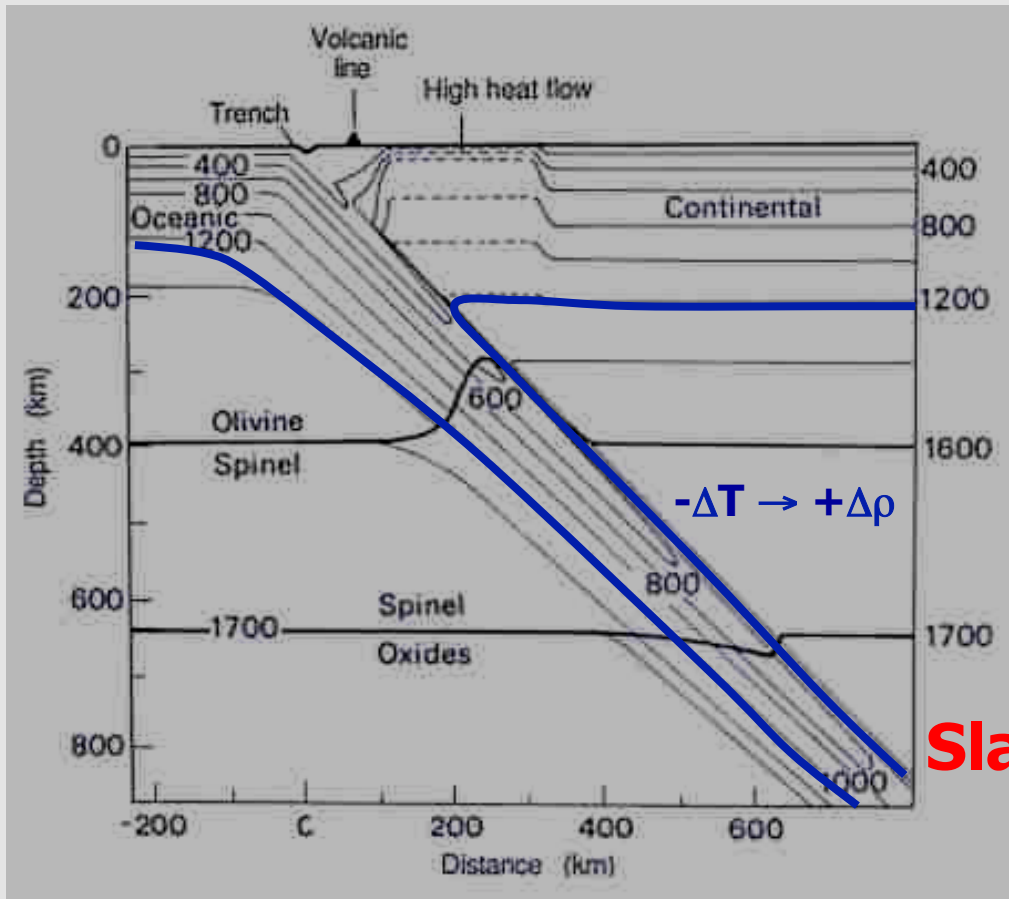
Ozeanische Lithosphäre (3)

Mächtigkeitszunahme in Funktion des Abstandes von MOR:
Die Lithosphäre wächst gegen unten durch Anfrieren von
Asthenosphärenmaterial.



Merke: Die ozeanische Mantellithosphäre gefriert unten an die ozeanische Kruste an und nimmt an Mächtigkeit zu bis sie ca. 80Mio Jahre alt ist.

Subduktionszonen: Kalter Rückfluss der Konvektion im Mantel

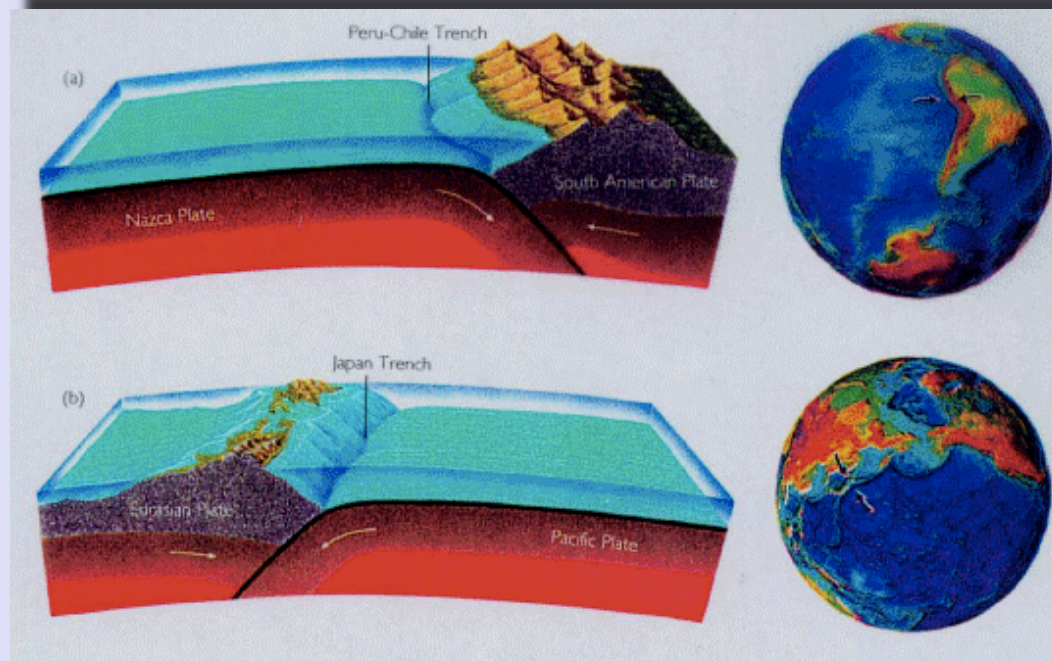


1200°C

Slab pull !

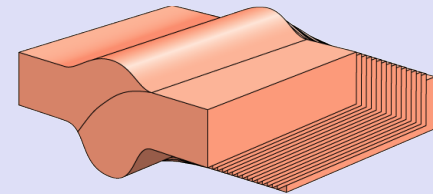
Kälter = dichter!

Ozeanische Lithosphäre wird subduziert!



**Unter ozeanischer oder
kontinentaler Lithosphäre**

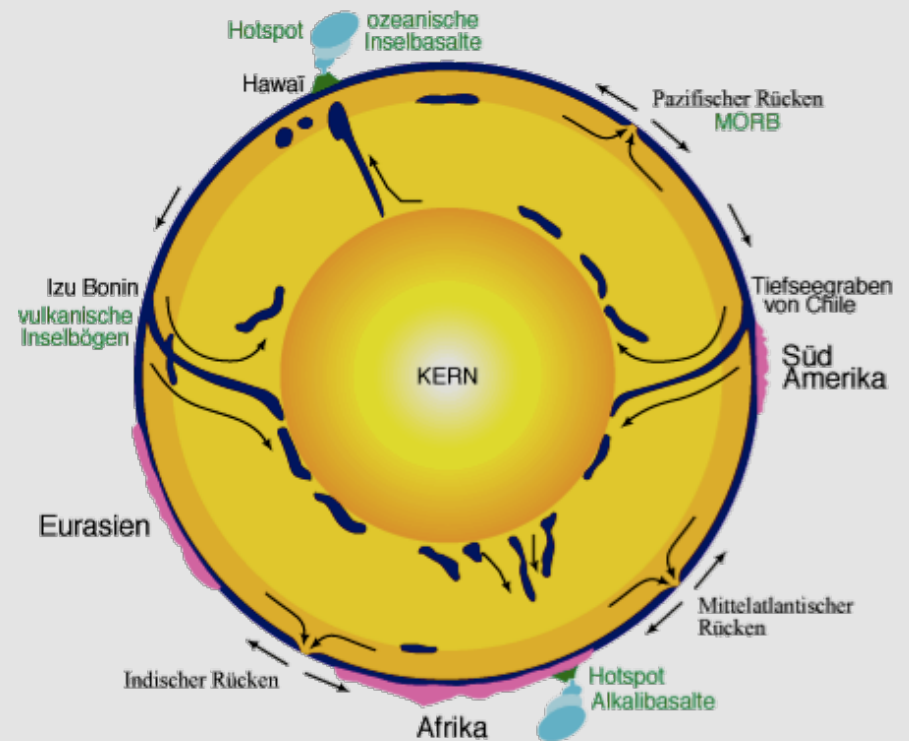
Warum?



**Weil sie schwerer
ist als die
Asthenosphäre!**

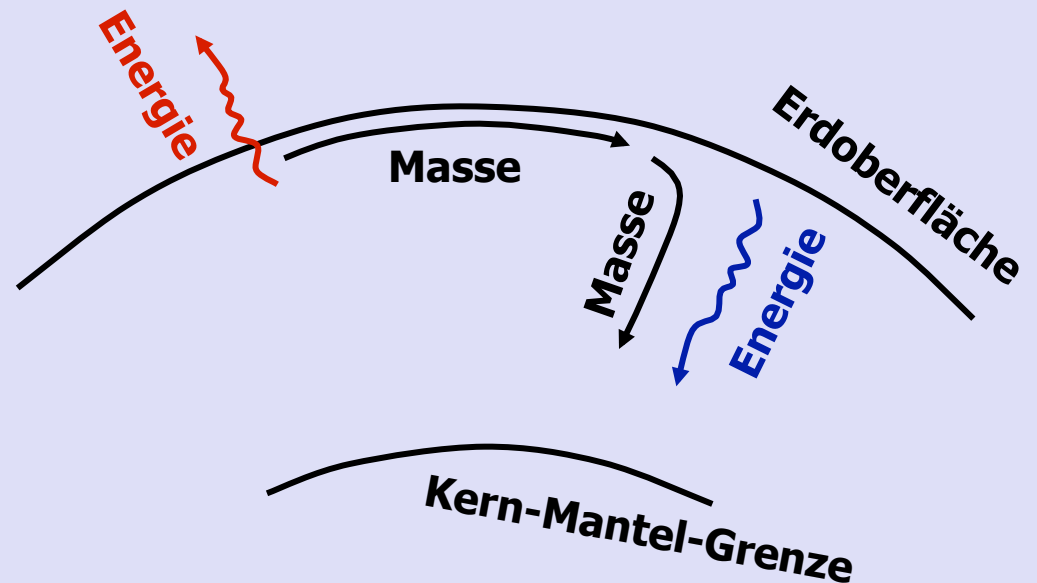
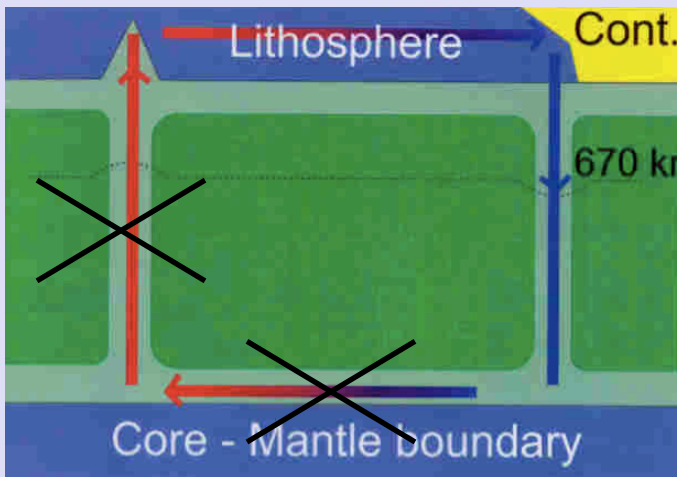
Kapitel 4

Antriebsmechanismus der Plattentektonik



Stabilität der ozeanischen Lithosphärenplatten

Recycling der ozeanischen Lithosphärenplatten ist Teil der Mantel-Konvektion



Volumen Lithosphäre = ca. 5% Volumen Mantel

Alter ozean. Lithosphäre max. 200 Mio Jahre, Alter der Erde ca. 4500 Mio Jahre.

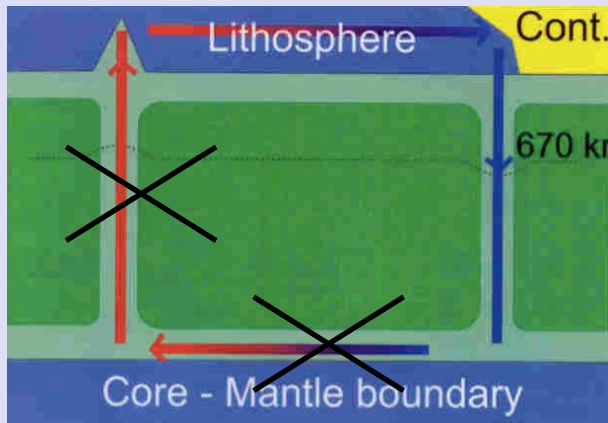
=> gesamtes bisheriges Volumen der ozean. Lithosphäre entspricht etwa dem Gesamtvolumen des Mantels!

Stabilität der ozeanischen Lithosphärenplatten

1

! Ozeanische Lithosphäre ist Teil der Mantel-Konvektion

2



Anschauliches Beispiel ist ein Magmasee in einem Vulkankrater:

Nach der Bildung einer durchgehenden Haut entstehen neue Schrumpfungsrisse und einzelne, kältere Lavaschollen werden wieder aufgeschmolzen und versinken. Dabei dringt flüssige Lava an die Oberfläche und kühlt aus, der Zyklus beginnt von Neuem.

Hypothese tiefreichende Aufströmungen am MOR und aktives Beiseiteschieben der Platten durch Konvektionsströme muss verworfen werden:

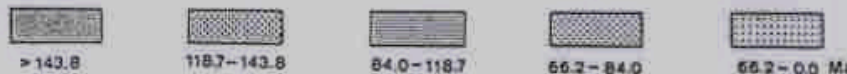
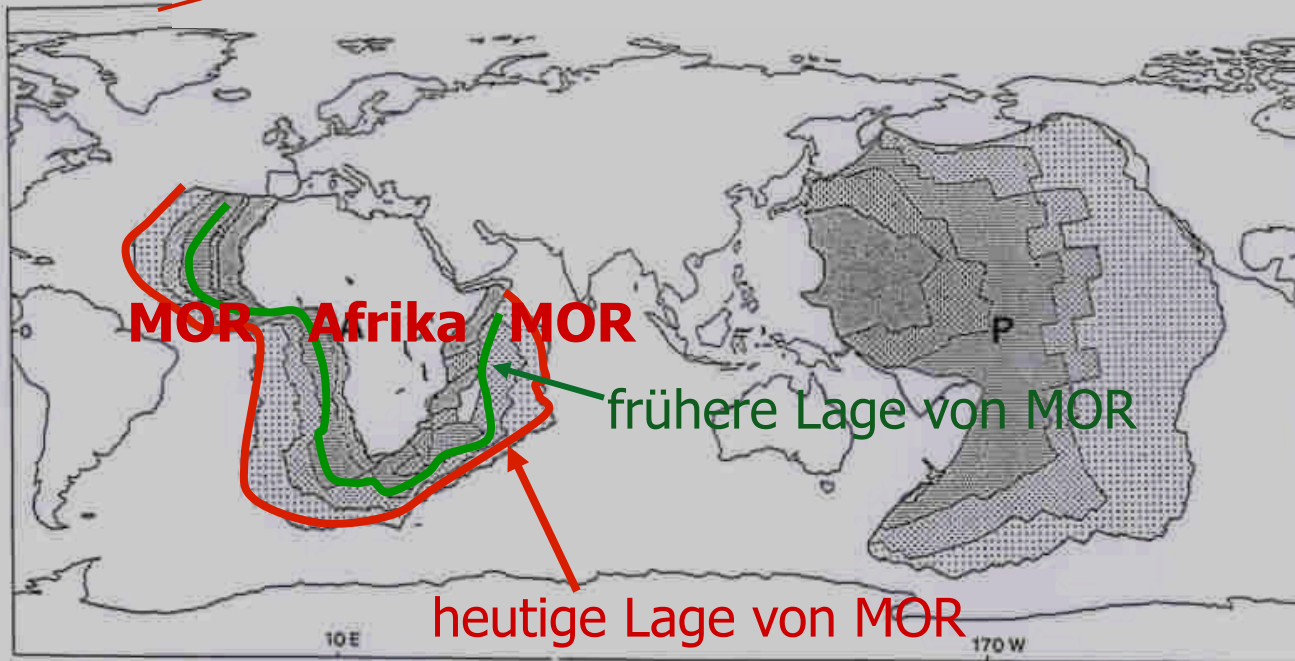
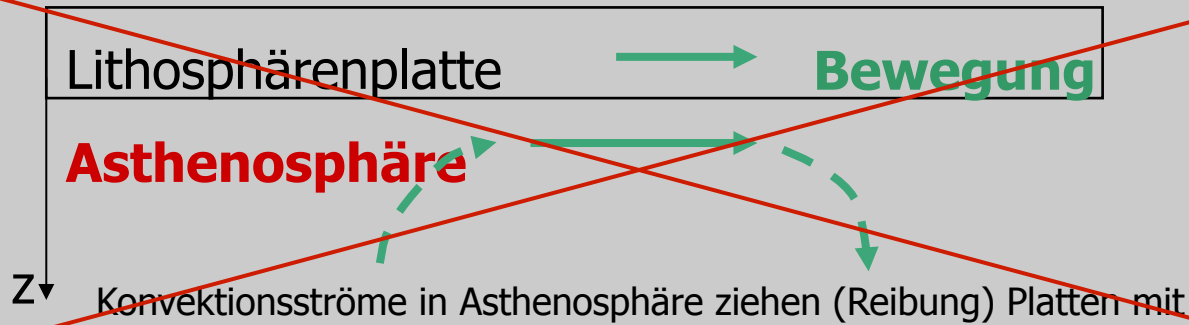
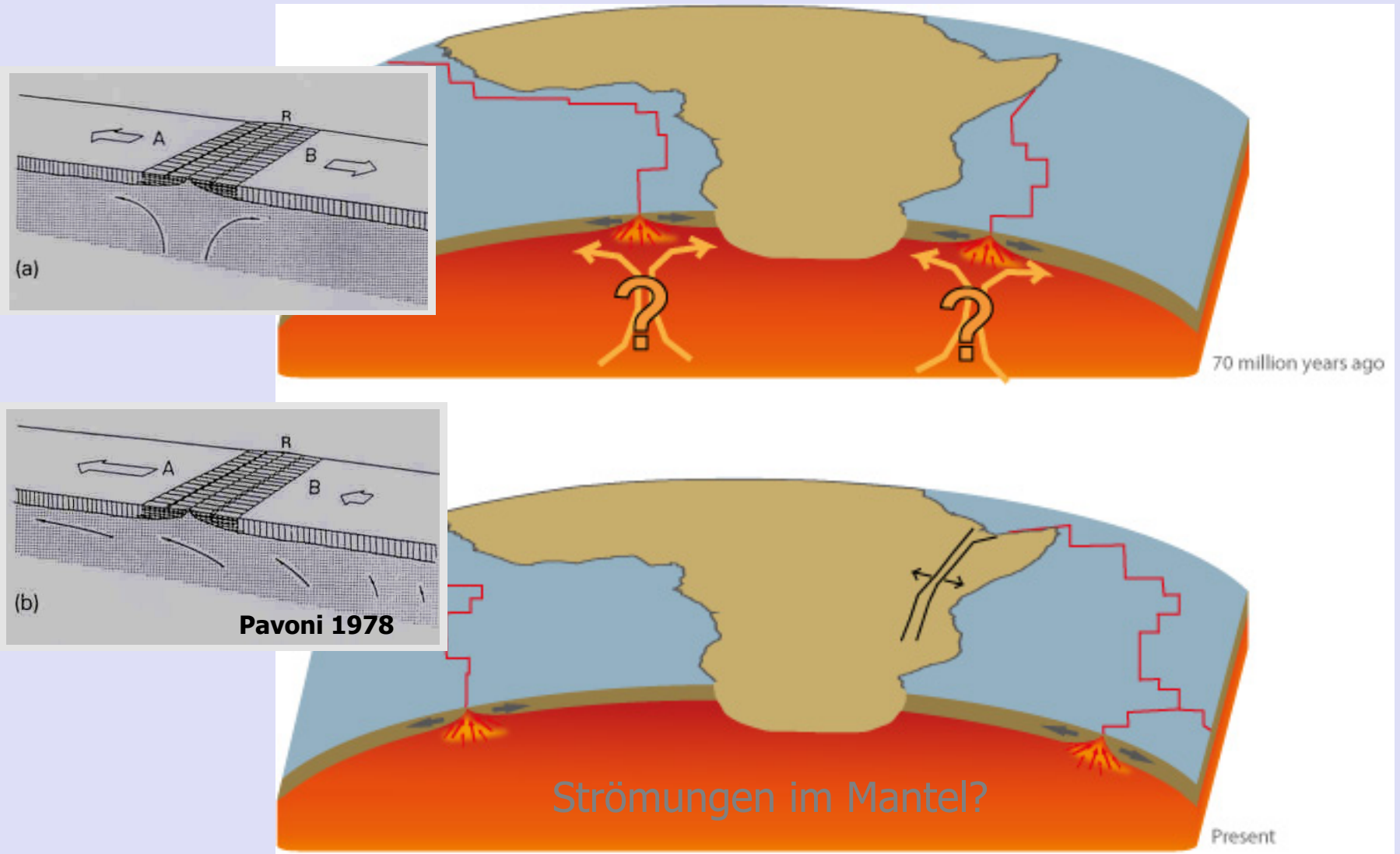


Fig. 7. Simultaneous growth of the African and Pacific plates during the last 180 Ma (after Scotese et al., 1988). Cylindrical, equidistant projection. A = African pole at 10°E/0°N. P = Pacific pole at 170°W/0°N. Herbstsemester 2017__ 18

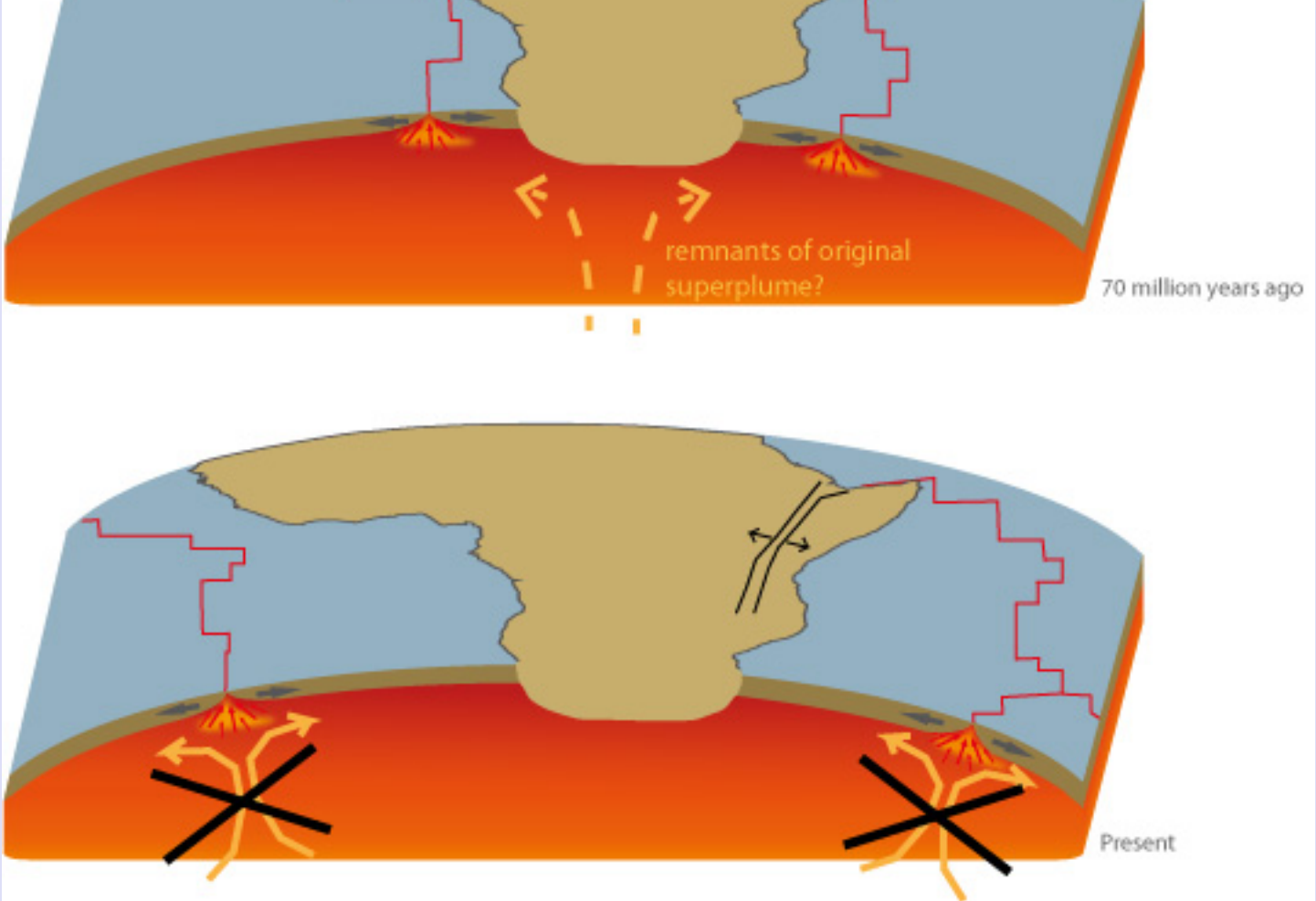
Vgl. Mantelkonvektion unter MOR

Bsp. MOR im Südatlantik und Indischen Ozean um Afrika

Problem mit symmetrischer Mantelströmung unter MOR: Beispiel von Afrika (1)

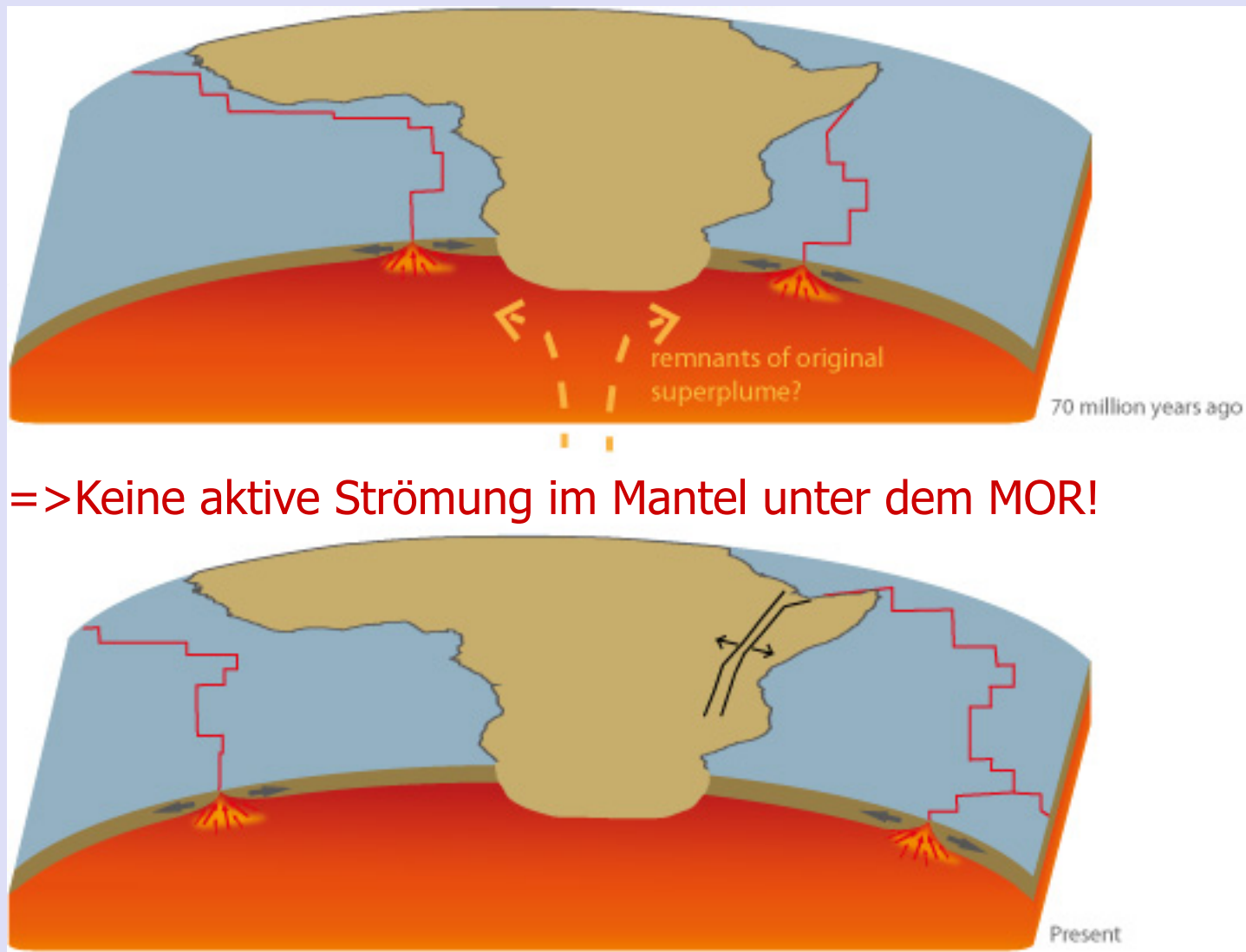


Problem mit symmetrischer Mantelströmung unter MOR: Beispiel von Afrika (2)

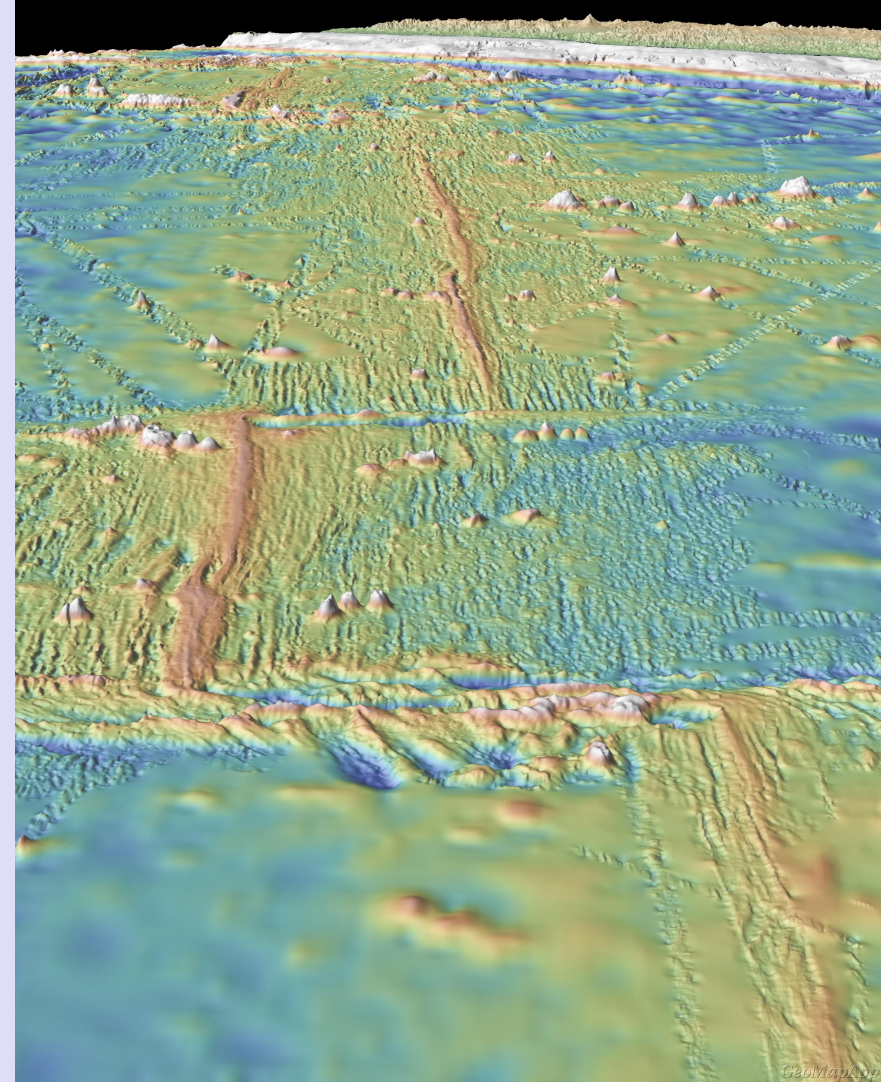
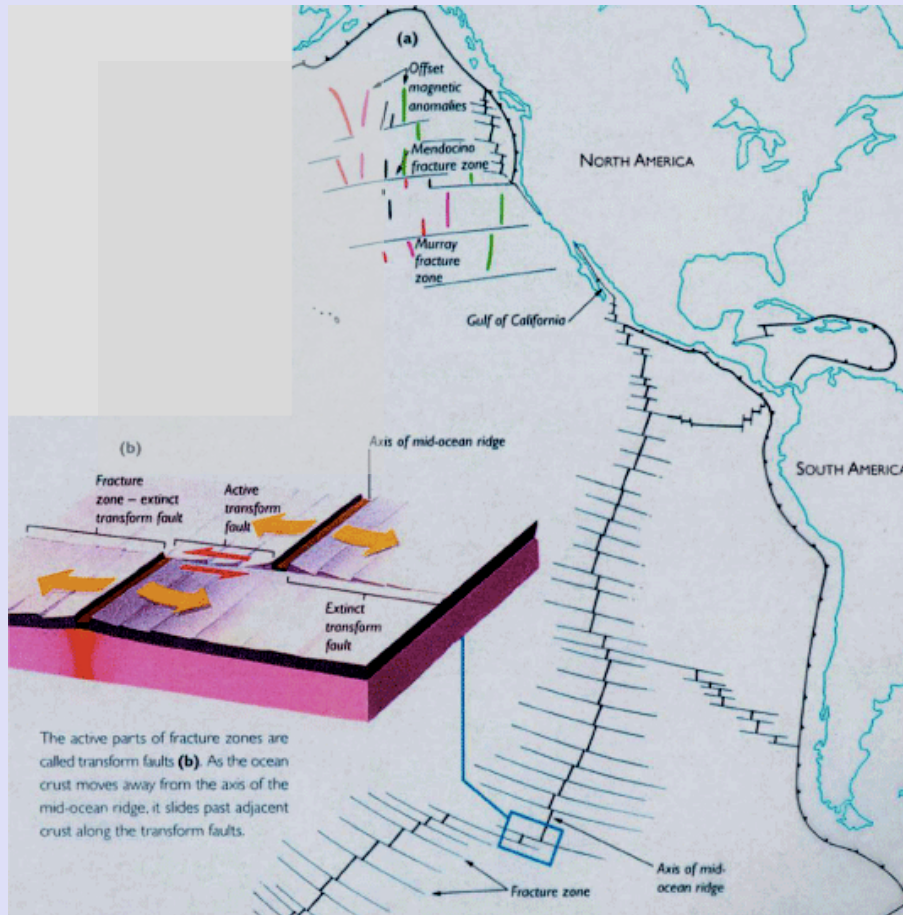


Symmetrische Konvektions-Strömung im Mantel unter dem MOR ist nicht möglich!

Problem mit symmetrischer Mantelströmung unter MOR: Beispiel von Afrika (3)



Problem mit symmetrischen Mantelströmungen bei Transformstörungen an mittelozeanischen Rücken: Beispiel Ostpazifik



Problem mit symmetrischen Mantelströmungen bei Transformstörungen an mittelozeanischen Rücken: Beispiel Ostpazifik

=> Keine aktive Strömung im Mantel unter dem MOR!



Ridge push ist die wichtigste Kraft an MOR und nicht die Mantelströmung!

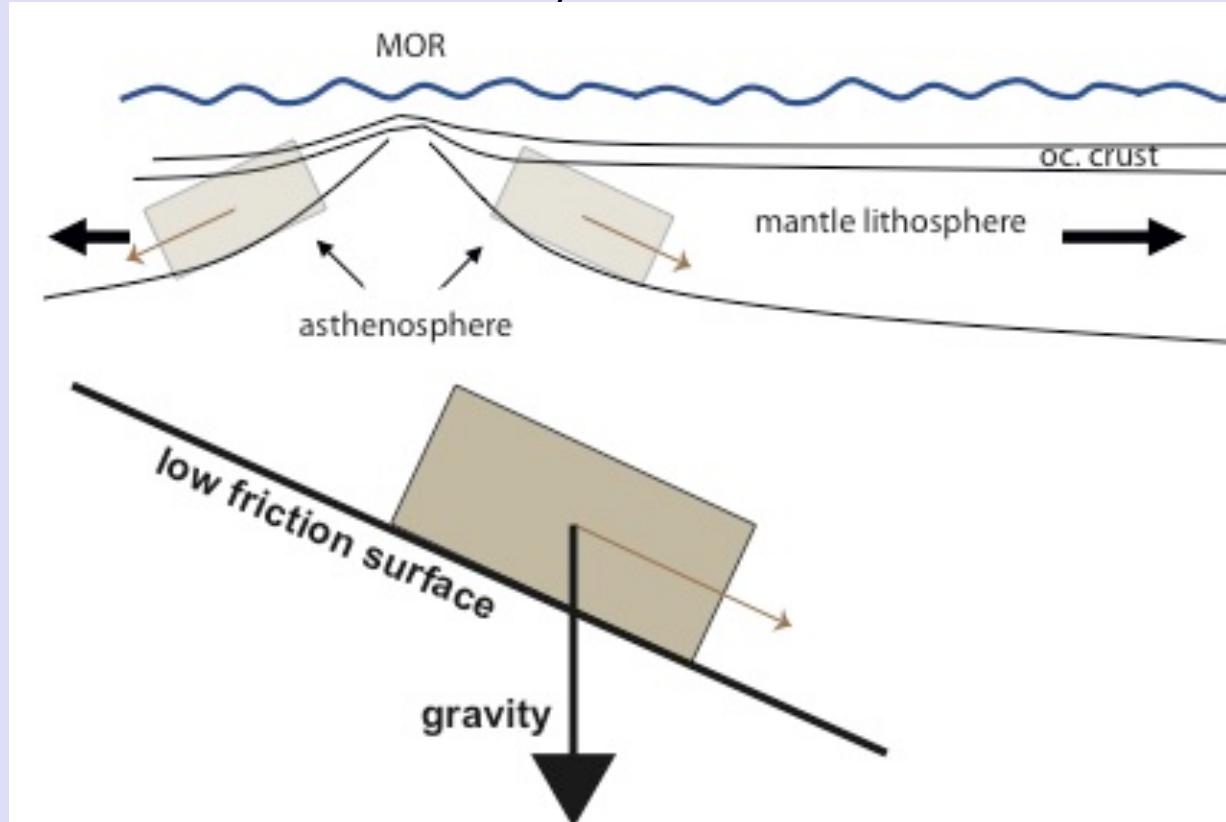


Gegenläufige Strömungen unterhalb von Transformstörungen???

Was genau ist „ridge push“? Wie stark?

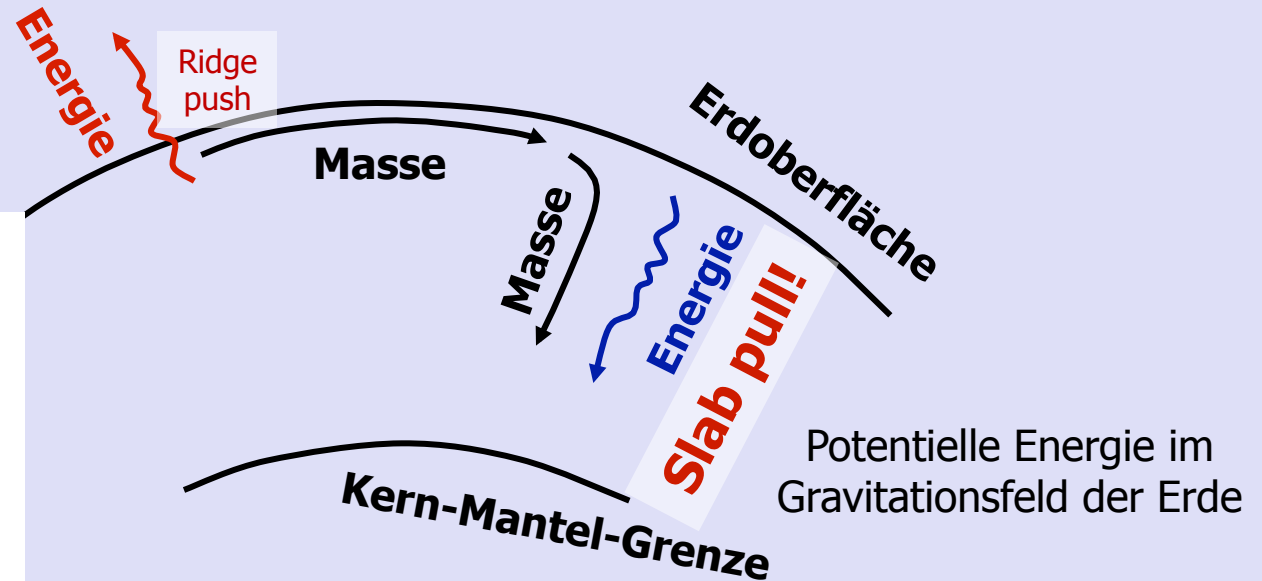
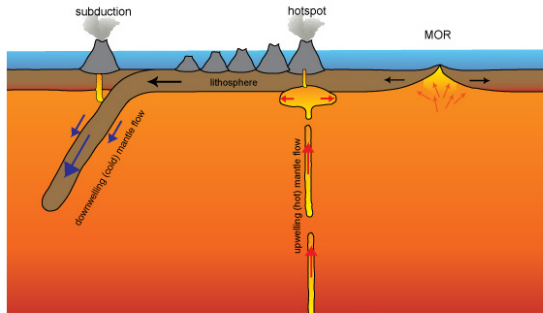
„Ridge Push“

sorgt dafür, dass Platten am MOR weiter auseinandergleiten, ausser sie treffen irgendwo an deren Aussenseite auf Widerstand, dann endet das Öffnen des Ozeans.



Keine symmetrischen Mantelströmungen unter MOR. Wenn Platten auseinanderbewegen, so fließt Asthenosphäre nach und steigt lokal auf. Dies wiederum führt zu Druckentlastung im astheno. Mantel und damit zur Bildung von Basalt. Dieser steigt auf und bildet ozean. Kruste. Darunter kann dann Mantellithosphäre anfrieren.

„Konvektion“ = Transport von Wärme durch bewegte Materie



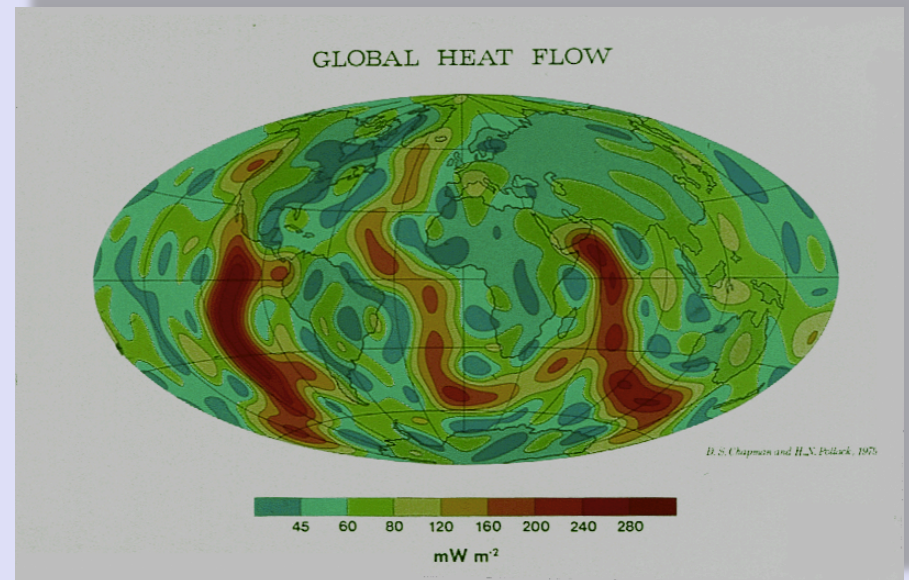
Motor der Plattentektonik:

Was treibt die (sich horizontal bewegenden) Platten an?

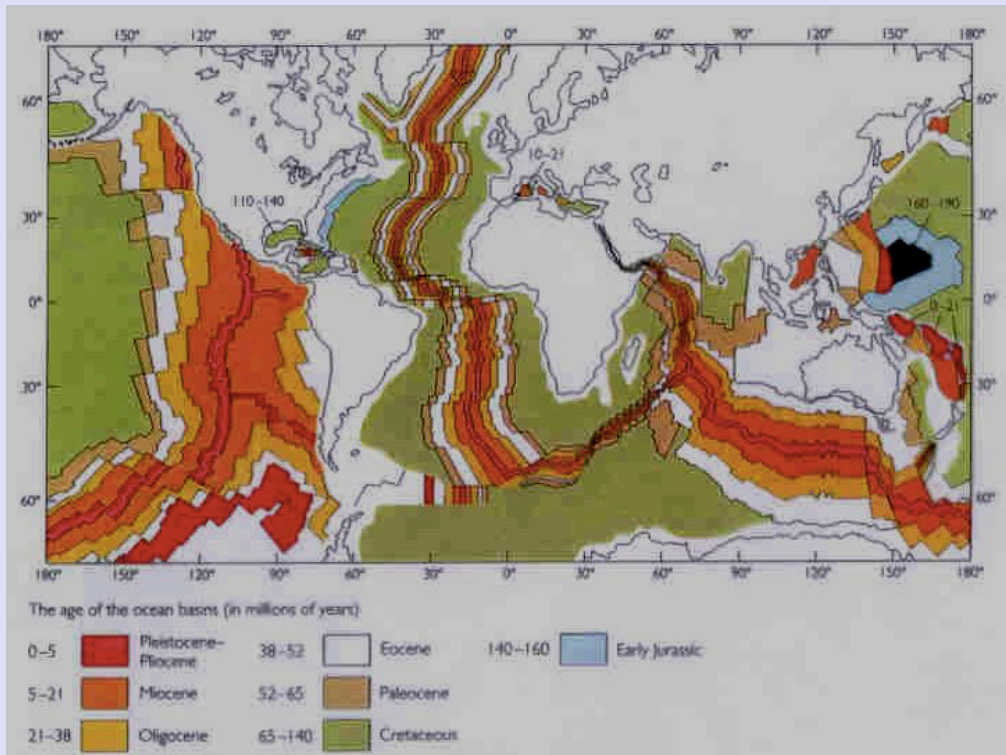
Evolution, Bewegung und Subduktion der ozeanischen Lithosphäre sind Teil der grossräumigen Mantelkonvektion

Motor der Plattentektonik ?

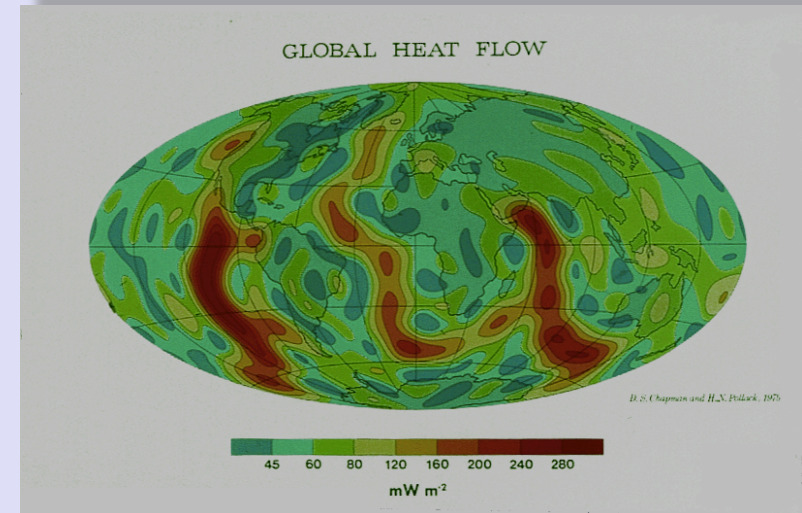
1. Konvektion im Erdmantel als Folge von Aufbau und Zustand des Erdinnern (Gravitationsfeld der Erde)
=> Slab pull ist mit Abstand die wichtigste Kraft
=> grossräumige, symmetrische, zirkuläre Mantelkonvektion (immer in Richtung MOR->Subduktion) kann ausgeschlossen werden
2. Zyklus ozeanische Lithosphäre ist Teil der Konvektion!
3. Die Erde verliert am meisten Wärme bei Bildung und Auskühlung der ozeanischen Lithosphäre!
(Oberflächenwärmefluss)



Wärmefluss durch junge ozeanische Lithosphäre = 60% des globalen Wärmeverlustes



Abkühlung primär der jungen
ozeanischen Lithosphäre!



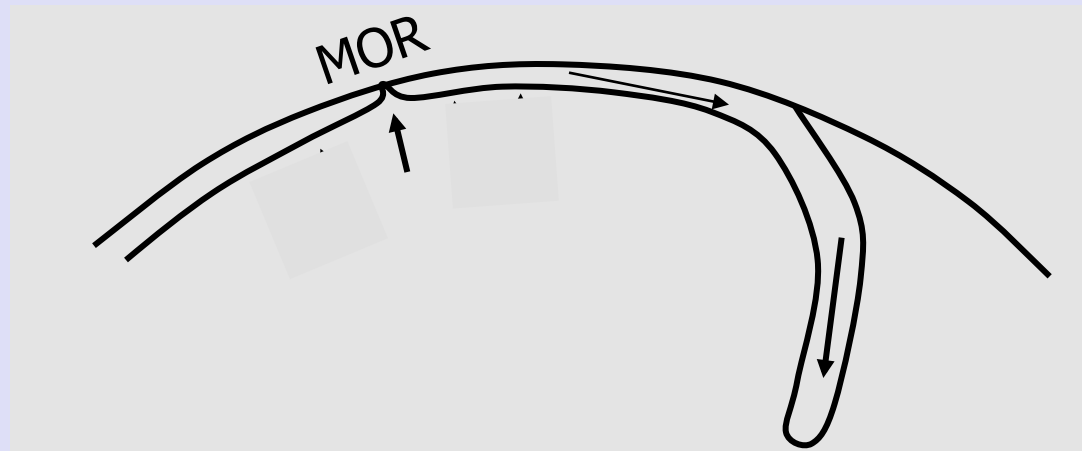
Regionen <40 My alt:

- ca. **60%** des **globalen** Oberflächenwärmeflusses
- ca. **75%** des Wärmeverlustes aus **Erdmantel**

Gesamtwärmefluss der Erde und Mantelkonvektion

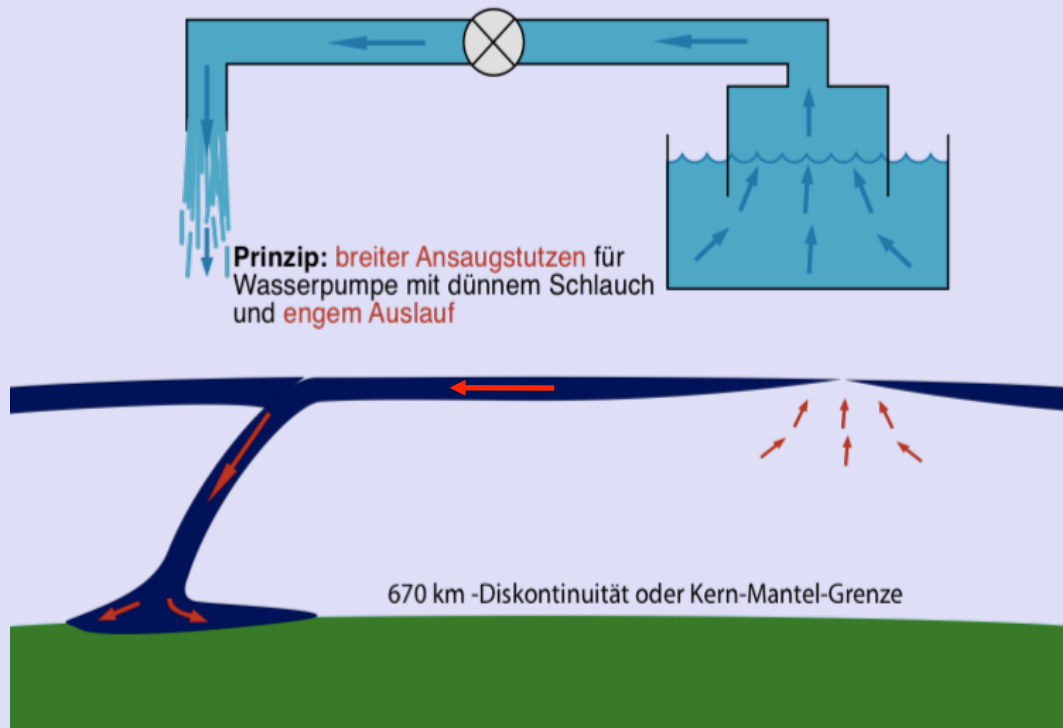
Diese 60% sind grösstenteils auf die Regionen um die MOR + 40 My beschränkt (vgl. Globale Wärmeflusskarte)

Grossräumige langzeitliche Konvektions-Strömung von Mantelmaterial ist geprägt durch kalte, abtauchende Strömung und das Gefrieren von Asthenosphärenmaterial zu junger ozeanischer Lithosphäre.



Basal drag durch subhorizontale Strömungen ist die Ausnahme, nicht die Regel.

Langfristige kontinuierliche Konvektionsströme in der Erde sind **asymmetrisch und nicht-zirkulär**



Das absinkende Material „kümmert“ sich nicht um den zum Massenausgleich nötigen Gegenfluss!

Im Gegenteil: Es reißt Nachbarmaterial mit!

Die Strömungsentwicklung ist jedoch stark geprägt von der Interaktion des „slab“-Endes mit der 670km- Diskontinuität oder der Kern-Mantel-Grenze!

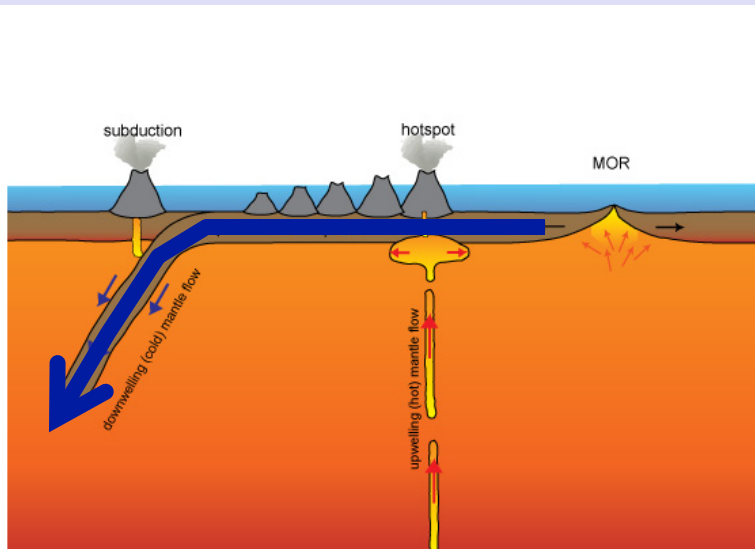
Strömungen im Erdmantel (1)

Anstelle der oft angenommenen kontinuierlichen, grossräumig zirkulären und relativ zu den MOR symmetrischen Strömungszellen in weiten Bereichen des Erdmantels haben die Strömungen folgende Eigenschaften:

- grossräumige, langzeitliche, asymmetrisch, nicht-zirkulär, relativ kontinuierliche Strömungen

Es handelt sich dabei um die sich bewegenden und subduzierenden **ozeanischen Lithosphärenplatten** (passiv mitgeführt die Kontinente) sowie das dabei wegen der Reibung mitgezogene Mantelmaterial. Mit „Strömungen“ ist deshalb hier sowohl festes wie flüssiges Material gemeint. **Diese Strömungen sind ausschliesslich horizontal entlang der Erdoberfläche* und subvertikal abwärts gerichtet.**

*stark beeinflusst von Oberflächenstrukturen & Oberflächenprozessen



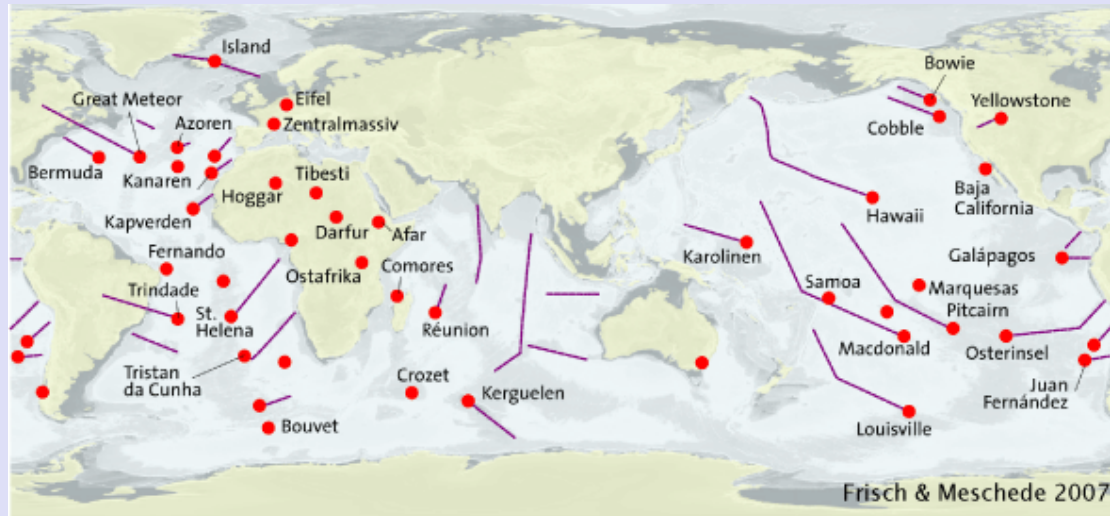
Bsp. Pazifische Platte:

Entstehung am südostpazifischen Rücken aus lokalem Asthenosphären-Material, Auskühlen und Bewegung mit ca. 10cm/y gegen NW, Subduktion entlang den Tiefseegräben von Izu-Bonin bis Alaska.

Strömungen im Erdmantel (2)

Welche Rolle spielen die **Hot Spots und Plumes**?

- b) Kleinräumige (lokale), langzeitliche, kontinuierliche (oder in wiederholten Episoden), aufwärts gerichtete heisse Strömungen

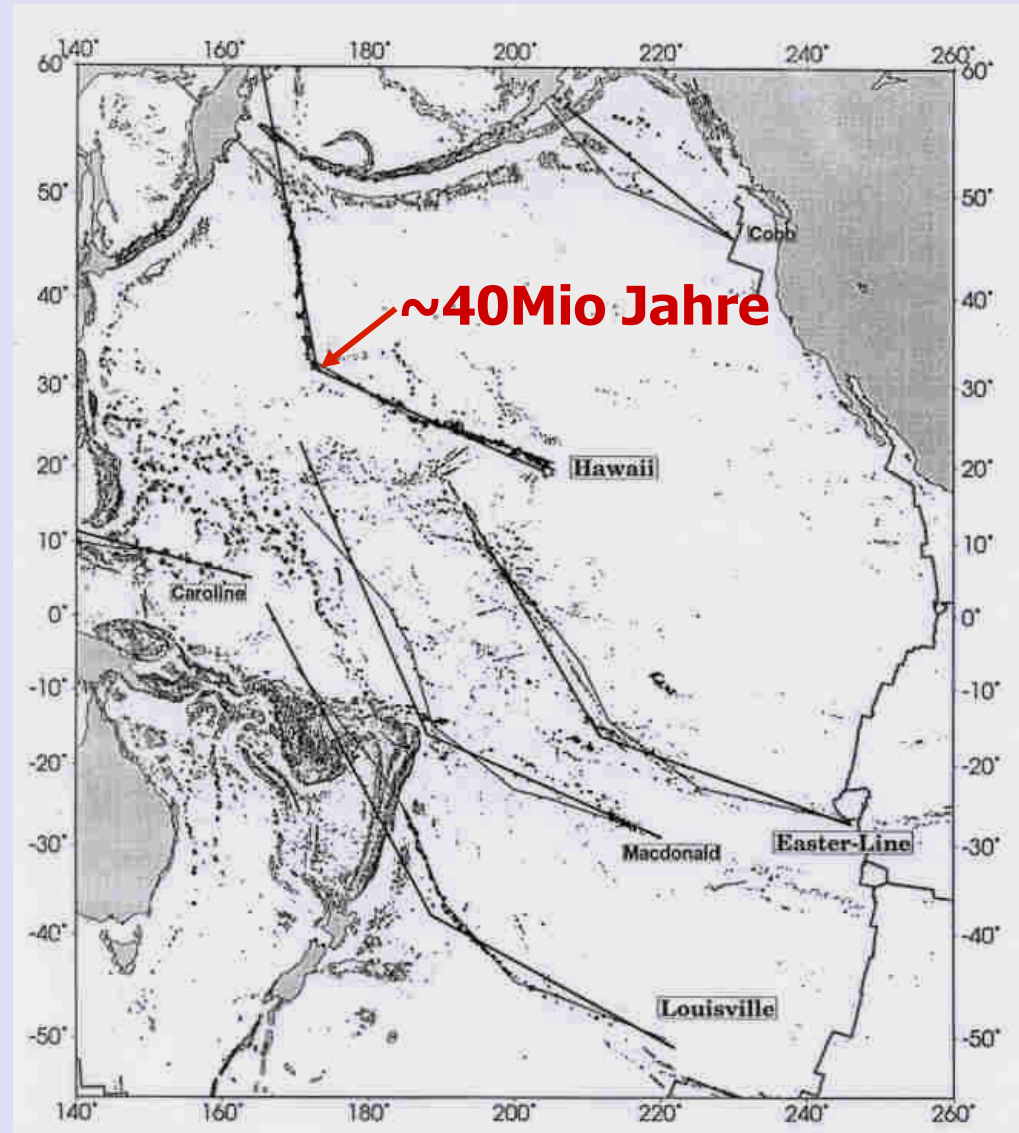
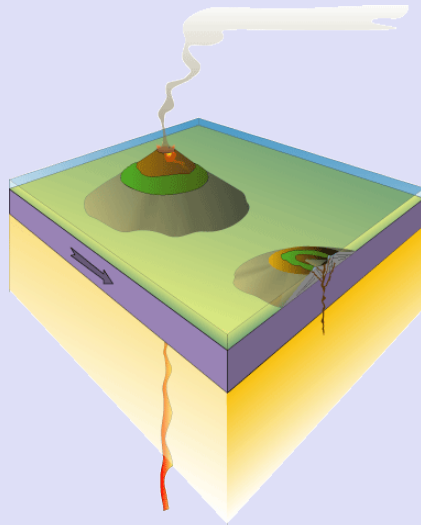


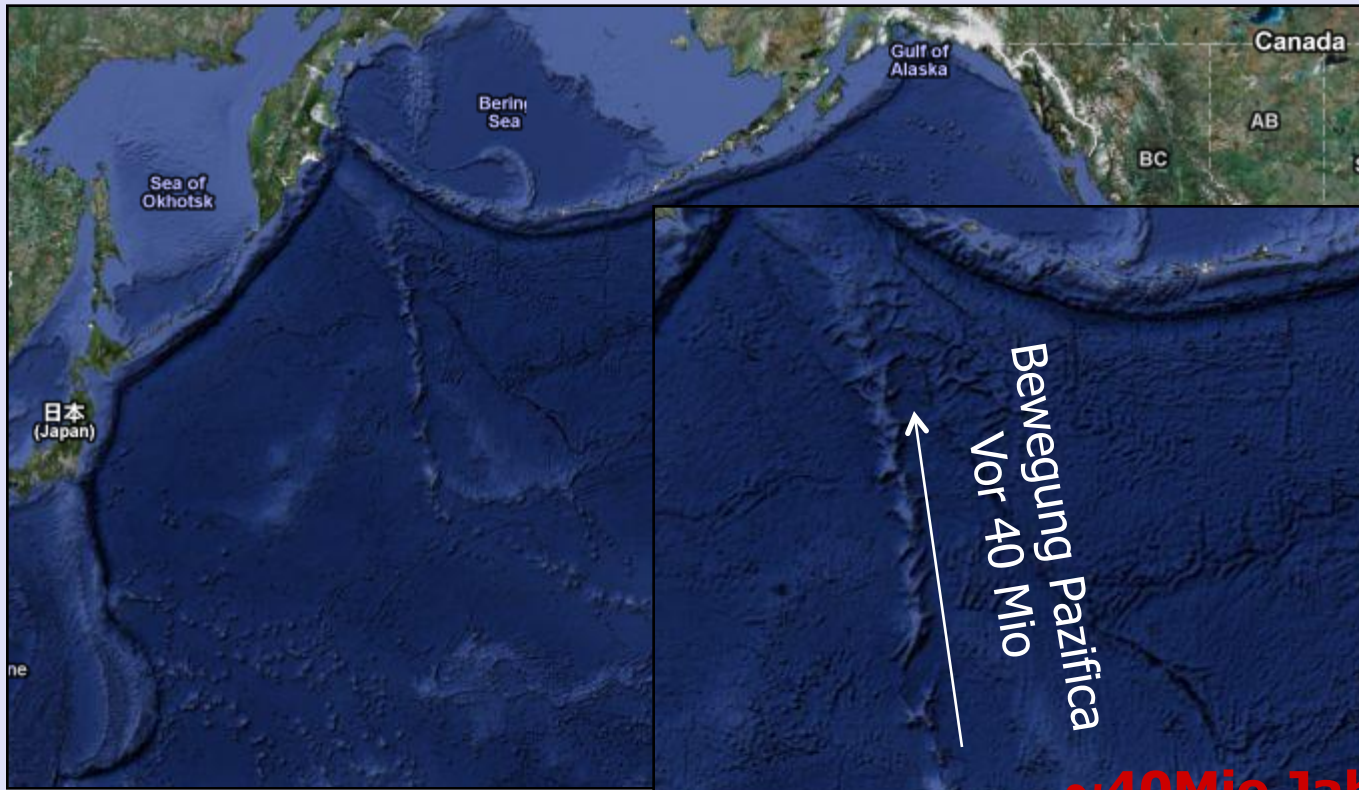
Diese Strömungen entstehen durch Instabilitäten als Folge von Wärmezufuhr entweder an der Kern-Mantel-Grenze oder an der 660-km Diskontinuität. Die Strömungen sind primär vertikal aufsteigend mit mehr oder weniger (lokalen) Wirbelströmungen und radialer Ausbreitung bei Erreichen der Unterkante der Lithosphäre. Beispiel...

Hot spot tracks

Beispiel: Hot-spot Plume
unter der Hawaii-
Emperor Seamount
Inselkette

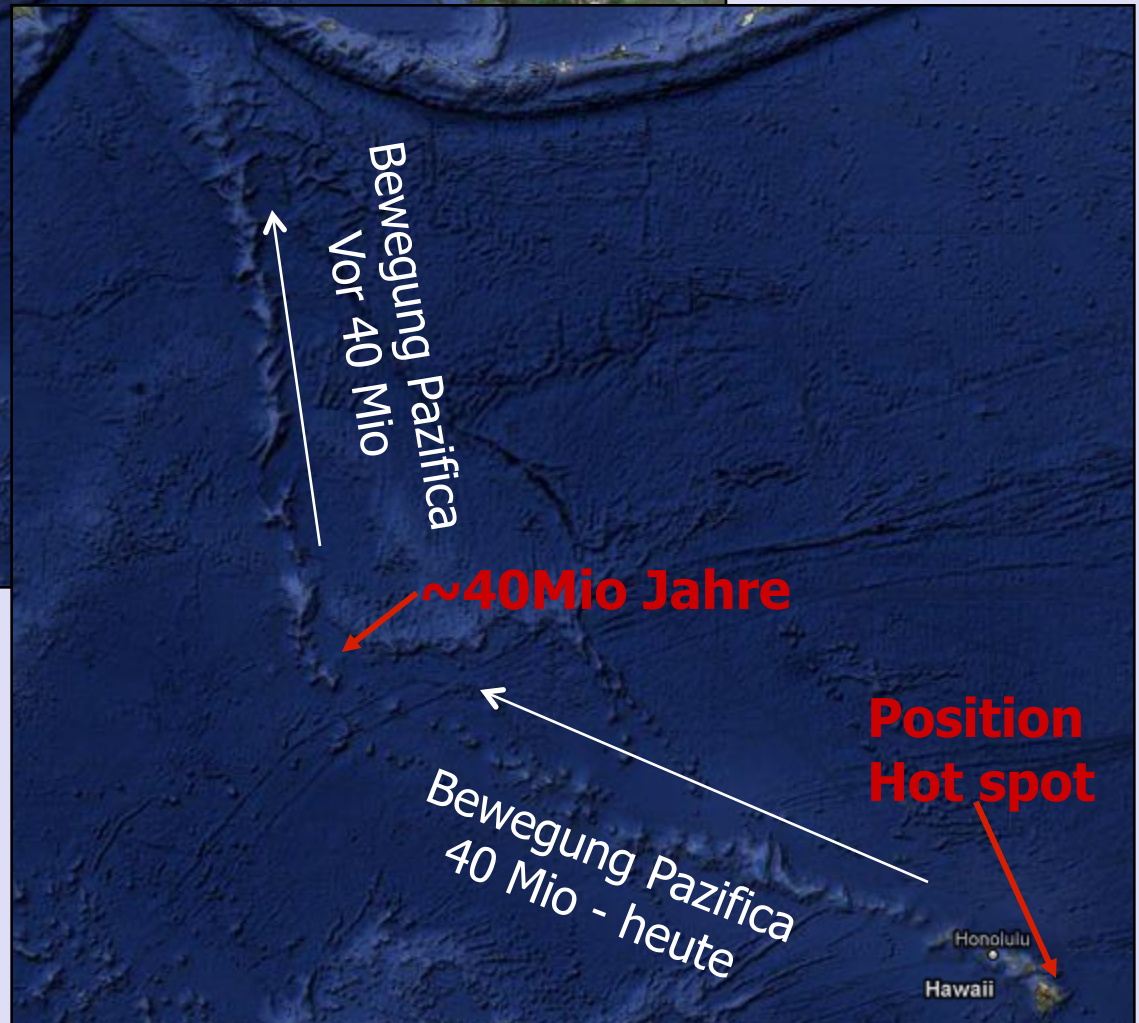
- kleinräumig
- langfristig
- quasi-kontinuierlich





Google Earth ©

=> keine grossräumig aktive Strömung im Mantel unter Pazifica!

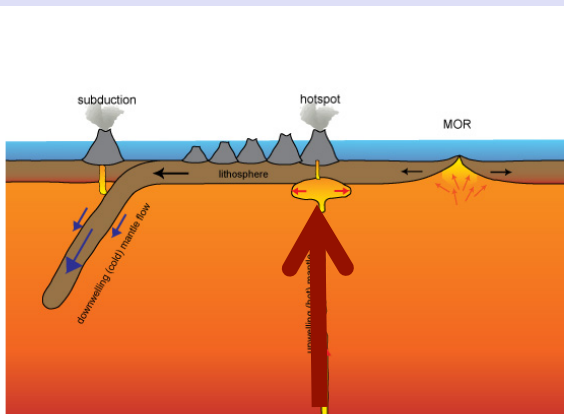
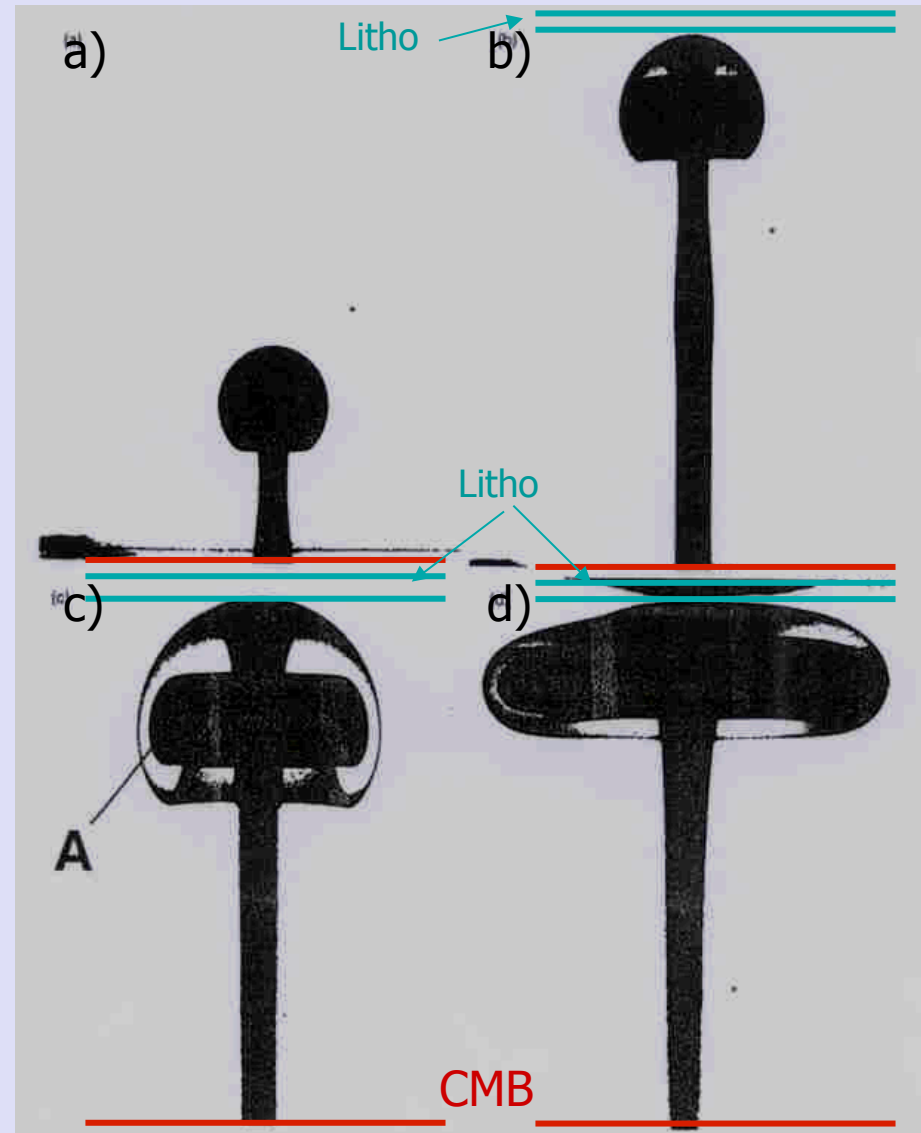


Zeitliche Entwicklung eines Plumes

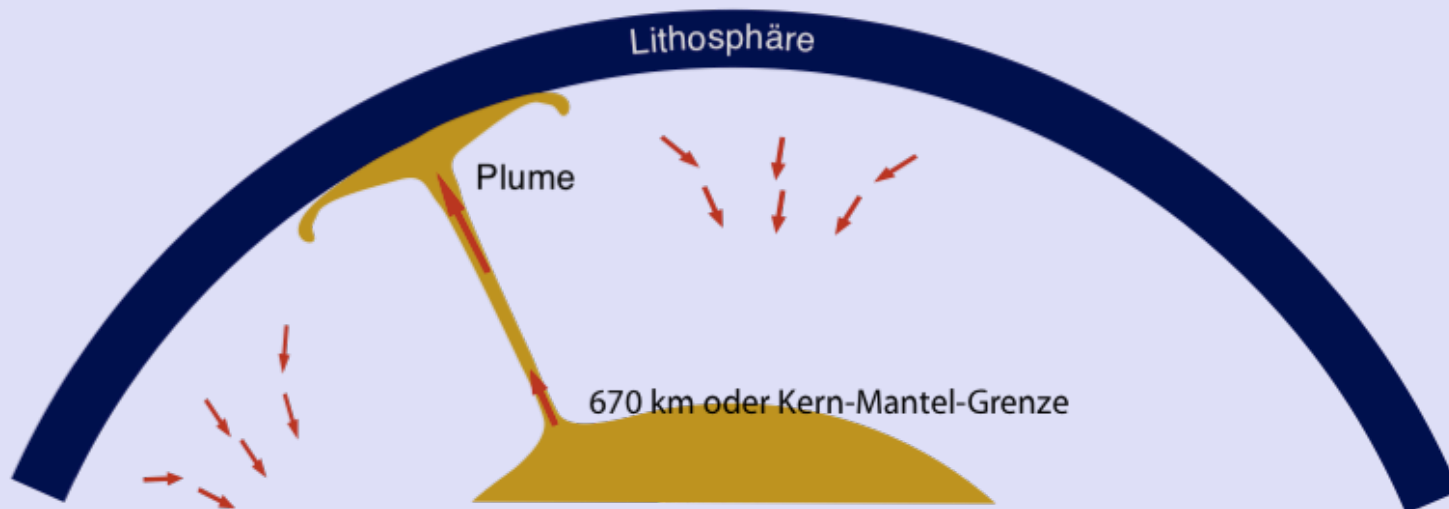
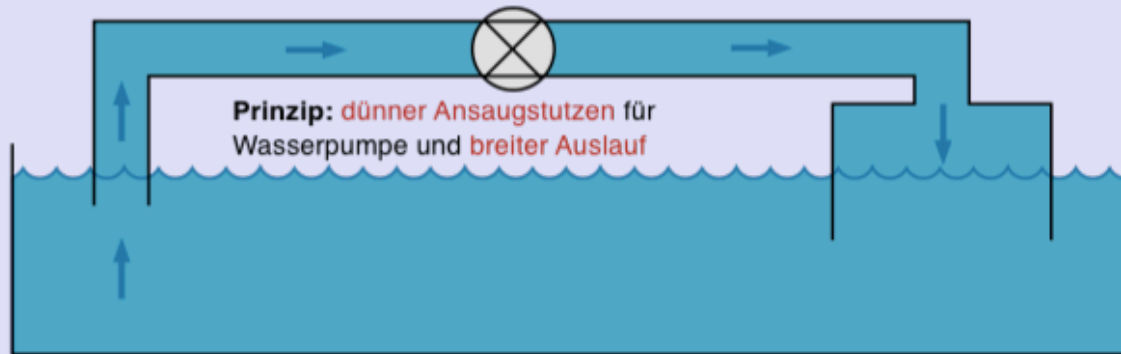
Das aufsteigende Material „kümmert“ sich nicht um den zum Massenausgleich nötigen Gegenfluss!

Im Gegenteil: Es reißt Nachbarmaterial mit!

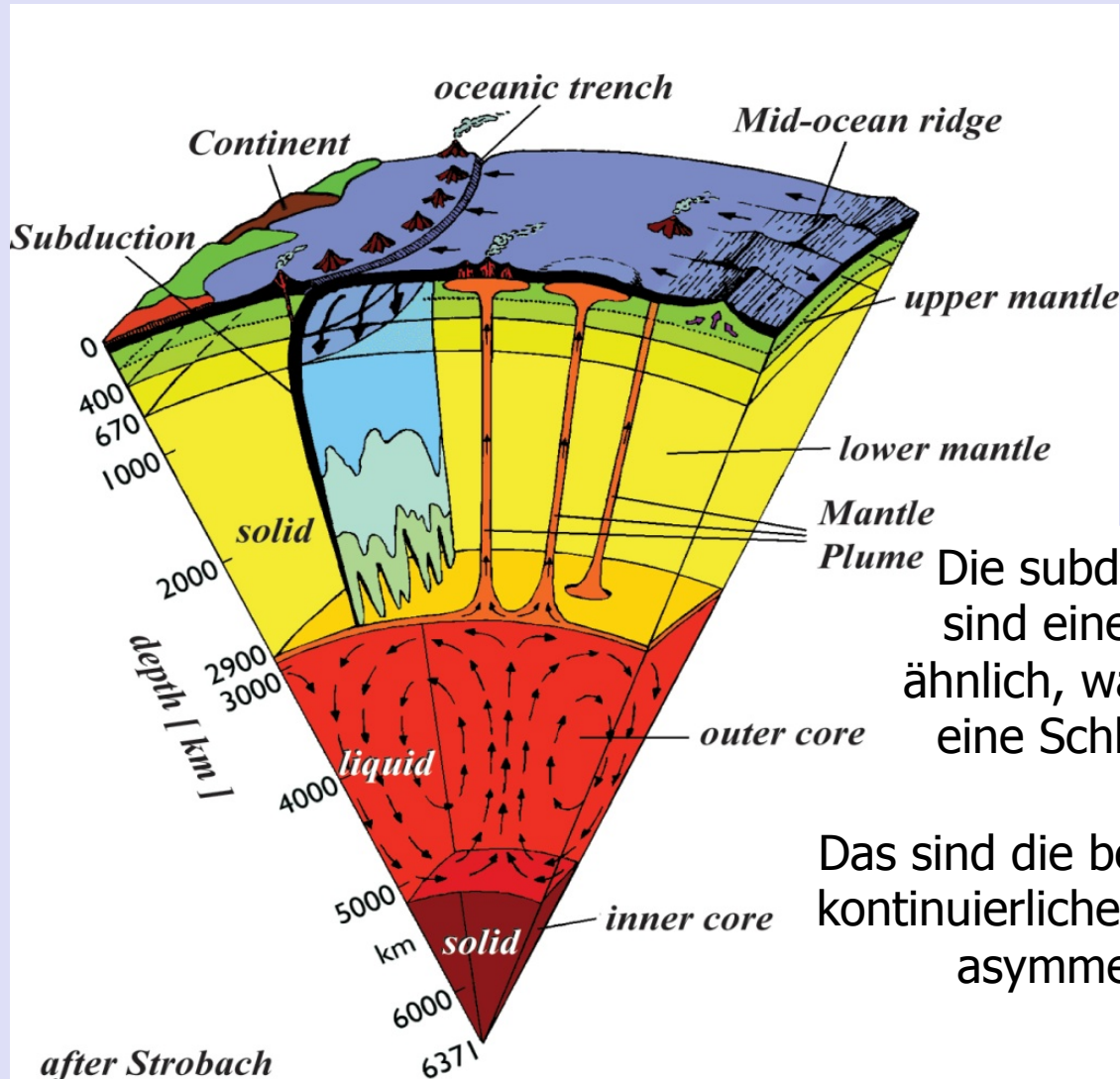
Die Strömungsentwicklung ist jedoch stark geprägt von der Interaktion des „Pilzkopfes“ mit der Lithosphäre!



Langfristige kontinuierliche Konvektionsströme in der Erde sind asymmetrisch und nicht-zirkular



Motor der Plattentektonik: 2 Arten von langfristigen Mantelströmungen



Die subduzierenden Lithosphärenplatten sind einem herunterhängenden Teppich ähnlich, während die aufsteigenden Plumes eine Schlauchform mit Pilzkopf besitzen.

Das sind die beiden Formen von langfristigen, kontinuierlichen Mantelströmungen. Beide sind asymmetrisch und nicht-zirkulär!

Motor der Plattentektonik: Zusammenspiel in Raum und Zeit von 3 Arten von Mantelströmungen

(als Gesamtheit mit „Konvektion“ bezeichnet)

1

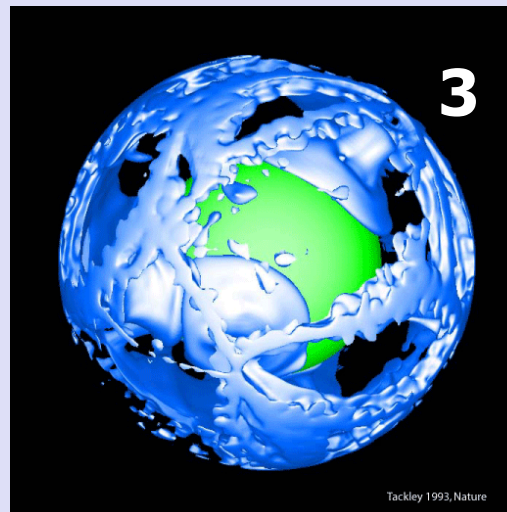
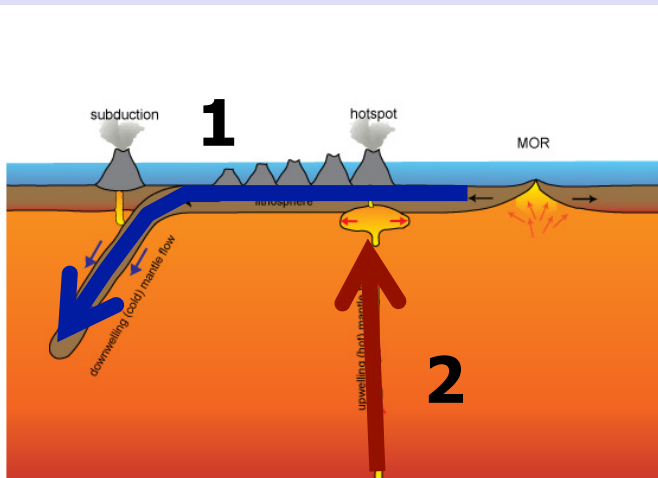
ozean.
Litho

2

Hot Spots
Plumes

Grossräumige und kleinräumige (lokale), langfristige und kontinuierliche Mantelströmungen sind asymmetrisch und nicht-zirkulär.

3 → grossräumige episodenhafte Strömungen:
Mega Plumes und Avalanches

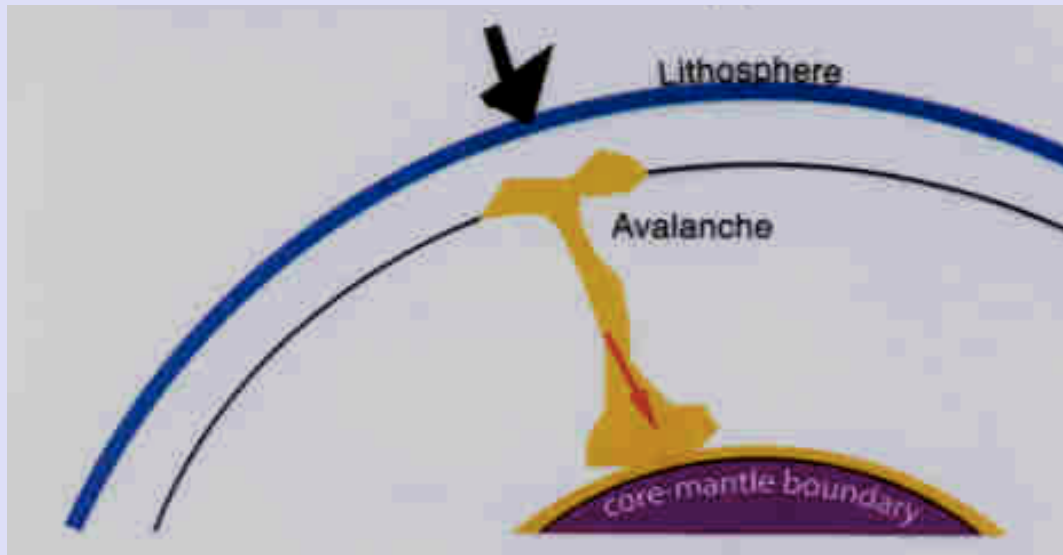


Strömungen im Erdmantel (3a)

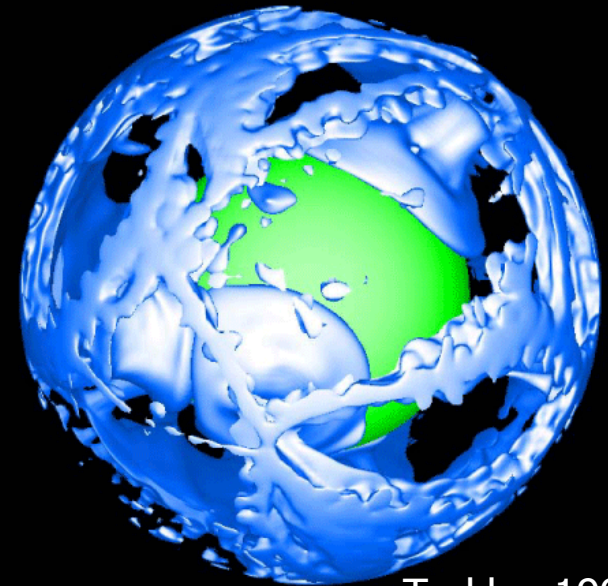
- c) grossräumige (evtl. auch nur grossräumiger Einfluss), episodenhafte Strömungen

Dabei handelt es sich um **Megaplumes** (episodenhafte grosse Aufströmungen) und **Avalanches** (Lawinen, episodenhaftes Entleeren von subdiziertem Material, welches an der 660km Diskontinuität eine Weile hängen geblieben ist), welche in unregelmässigen Zeitabständen auftreten und das Strömungssystem im Mantel kurzfristig dominieren können.

Avalanche



Slab – Lawine ab 670km



Tackley 1993
Tackley 1993, Nature

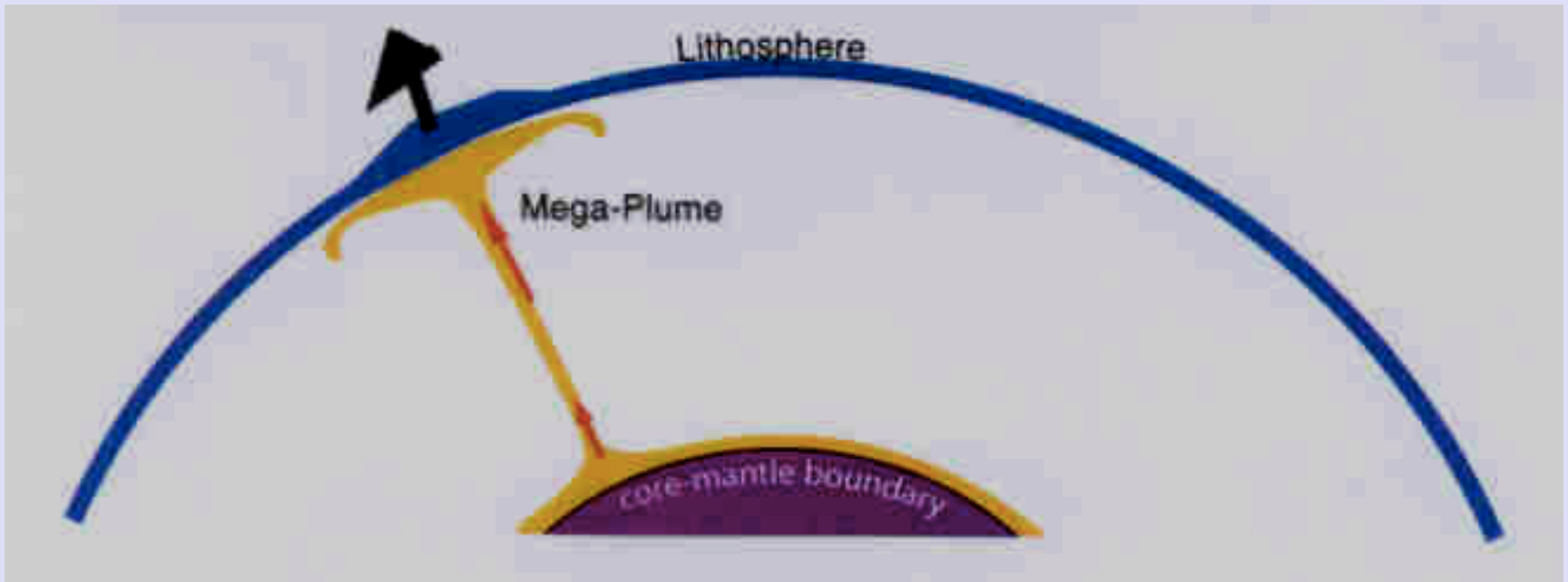
Strömungen im Erdmantel (3b)

Megaplume

(episodisch, grossräumig, nicht-zirkulär)

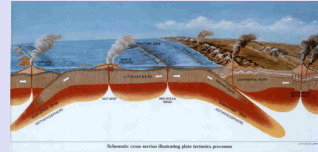
Am Anfang eines Wilson-Zyklus dominieren die Megaplume-Effekte:

- reissen Gross-Kontinente auf (z.B. Pangea)
- initiieren die Bildung neuer Ozeane (MOR)



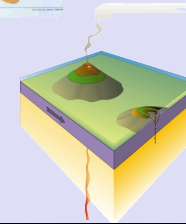
3 Arten von Strömungen im Mantel

1. grossräumig, langfristig



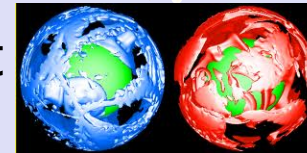
Kreation, Auskühlen,
Subduktion von
ozeanischen Platten

2. kleinräumig (lokal), langfristig,
manchmal in Episoden



Hot spot plumes

3. grossräumiger Einfluss, episodenhaft



Avalanches +
Megaplumes

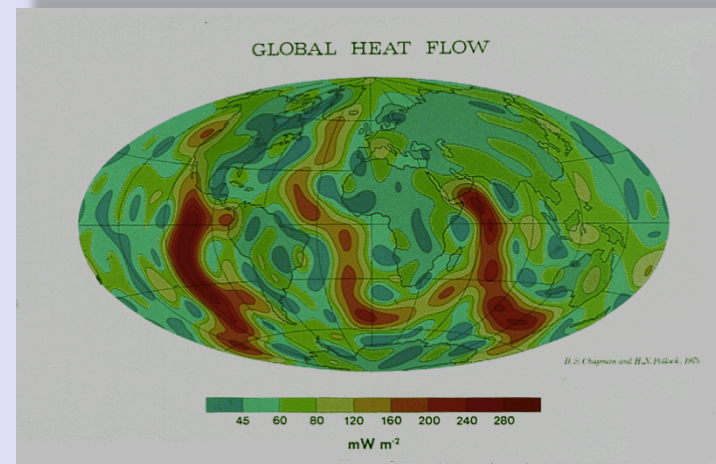
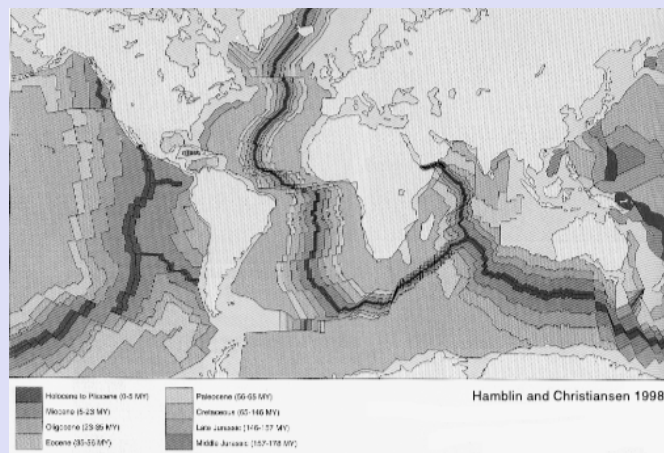
→ Die erste Art von Mantelströmungen wird dominiert von Lithosphäreneffekten, die beiden anderen Arten entstehen unabhängig von Oberflächenstrukturen.

→ Avalanches und megaplumes haben grossen Einfluss auf an der Erdoberfläche sichtbare plattentektonische Vorgänge. Sie können das vorherrschende plattentektonische Regime vollständig ändern, Kontinente aufreissen und neue Ozeane kreieren sowie neue Subduktionszonen initiieren. Anschliessend überlassen sie das Feld wieder den von den Lithosphären dominierten Kräften (1) und lokalen Hot spots (2) (vgl. “ Intermittency” - Modell von Peltier).

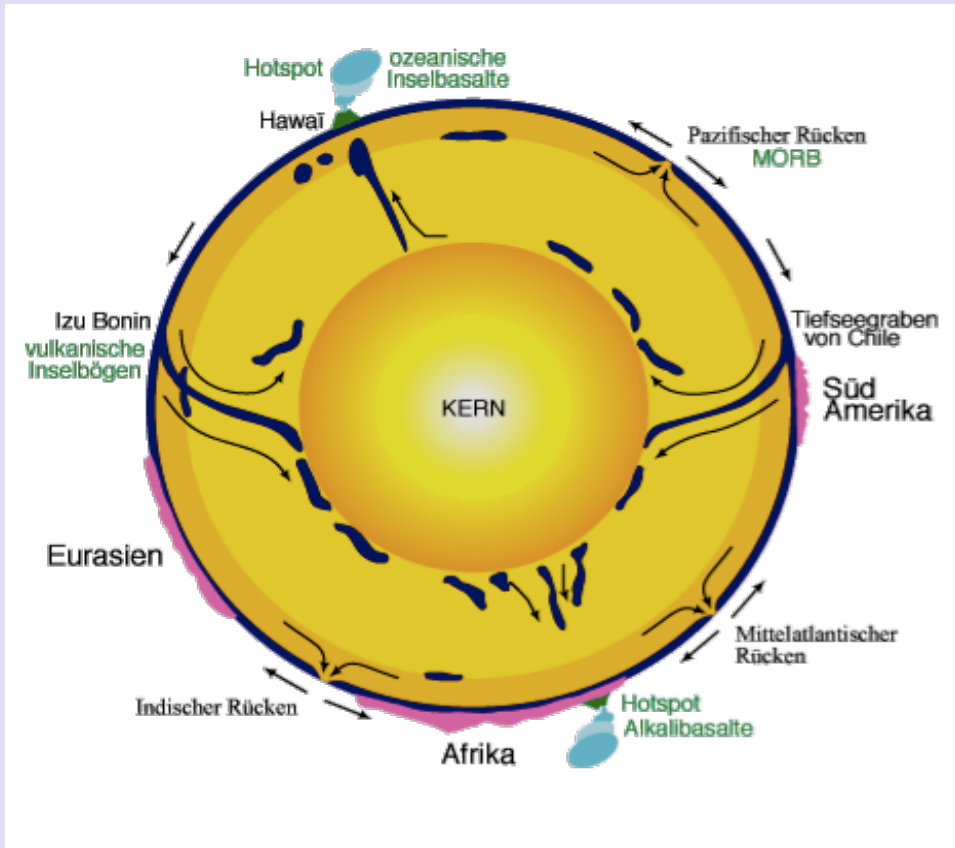
Zyklus der ozean. Lithosphäre ist Mantelströmung

Die ozeanischen Lithosphärenplatten selbst sind der bei weitem wichtigste Teil der Materialströmung entlang der Erdoberfläche und im (kalten) abtauchenden Strömungsbereich.

Wie eine einfache Überschlagsrechnung zeigt, kommt den ozeanischen Lithosphärenplatten auch bei deren Entstehung, Auskühlung und Subduktion für die Gesamtwärmebilanz des Erdinnern eine entscheidende Bedeutung zu (ca. 60% des gesamten Wärmeflusses aus dem Erdinnern).



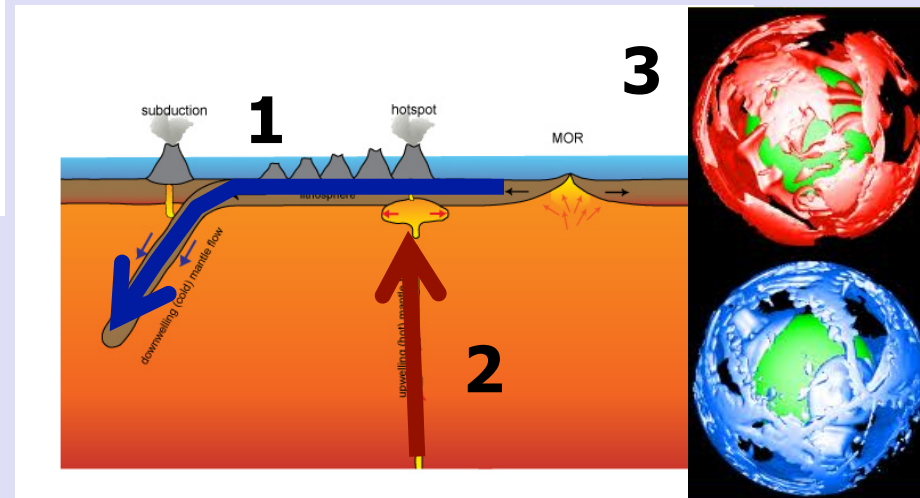
Dynamik der Erde: Motor der Plattentektonik



Die **Verbindung zwischen Mantelströmung und Plattentektonik** ist nicht primär die (viskose) Reibung an der LAG sondern **die ozeanische Lithosphäre** selbst.

Der Motor der Plattentektonik ist das langfristige Zusammenspiel der 3 Arten von Mantelströmungen.

Plattentektonik:
Tektonik der Lithosphärenplatten
und Strömungen im Erdmantel

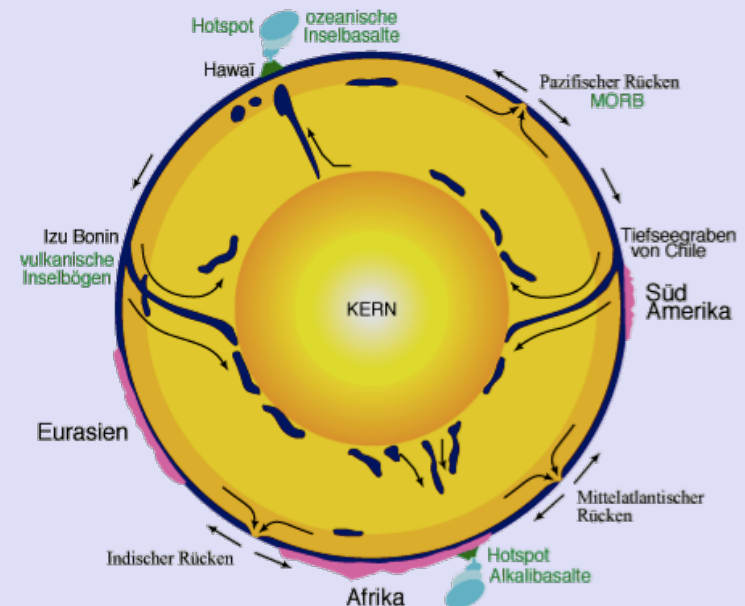
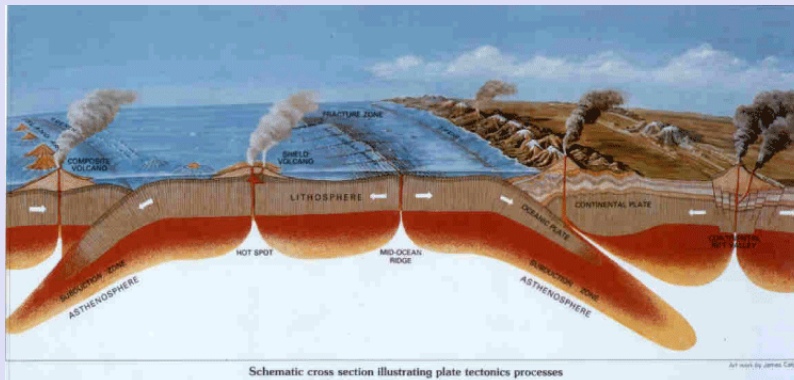


Plattentektonische Strukturen, Kräfte, Prozesse

Wie reagiert die Lithosphäre auf diese Kräfte (Tektonik der L-Platten)?

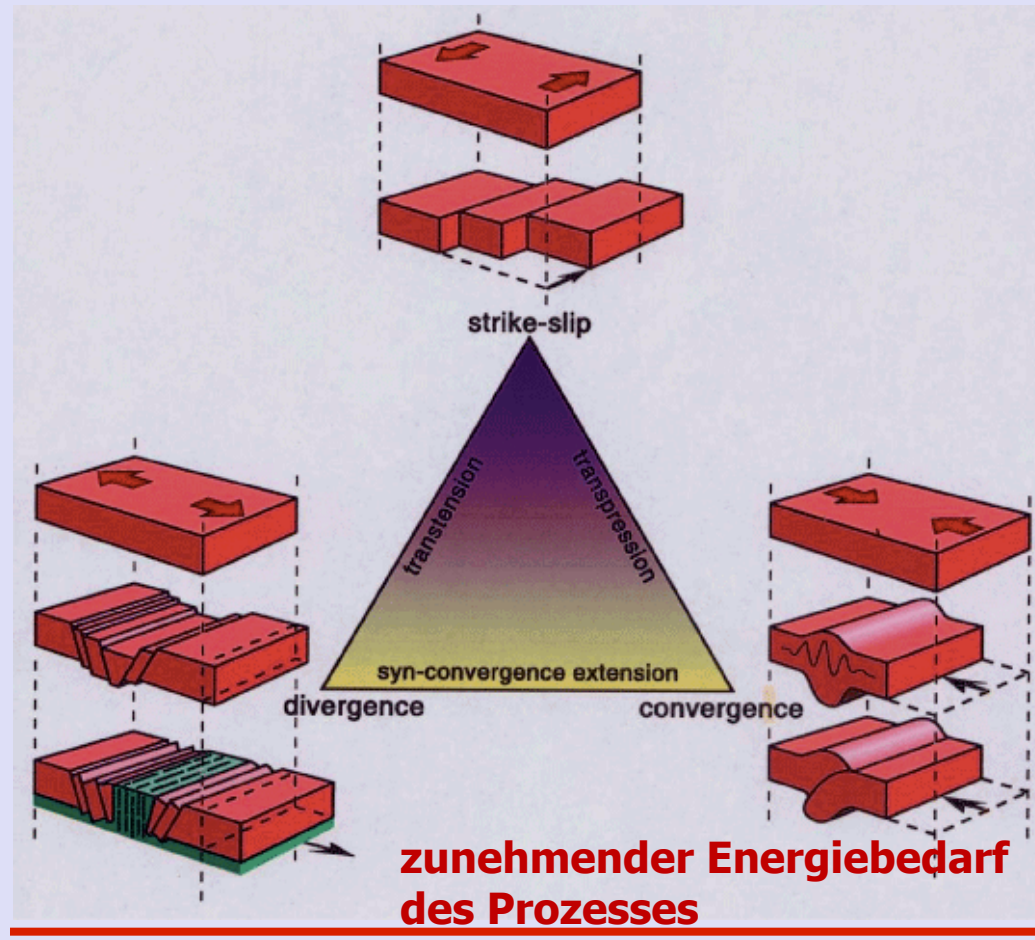
Wann greifen welche Kräfte wo und wie an der Lithosphäre an?

- Plattenränder: Prozesse und Kräfte an Lithosphärenplatten
- Wilson-Zyklus und kontinentale Gebirgsbildung

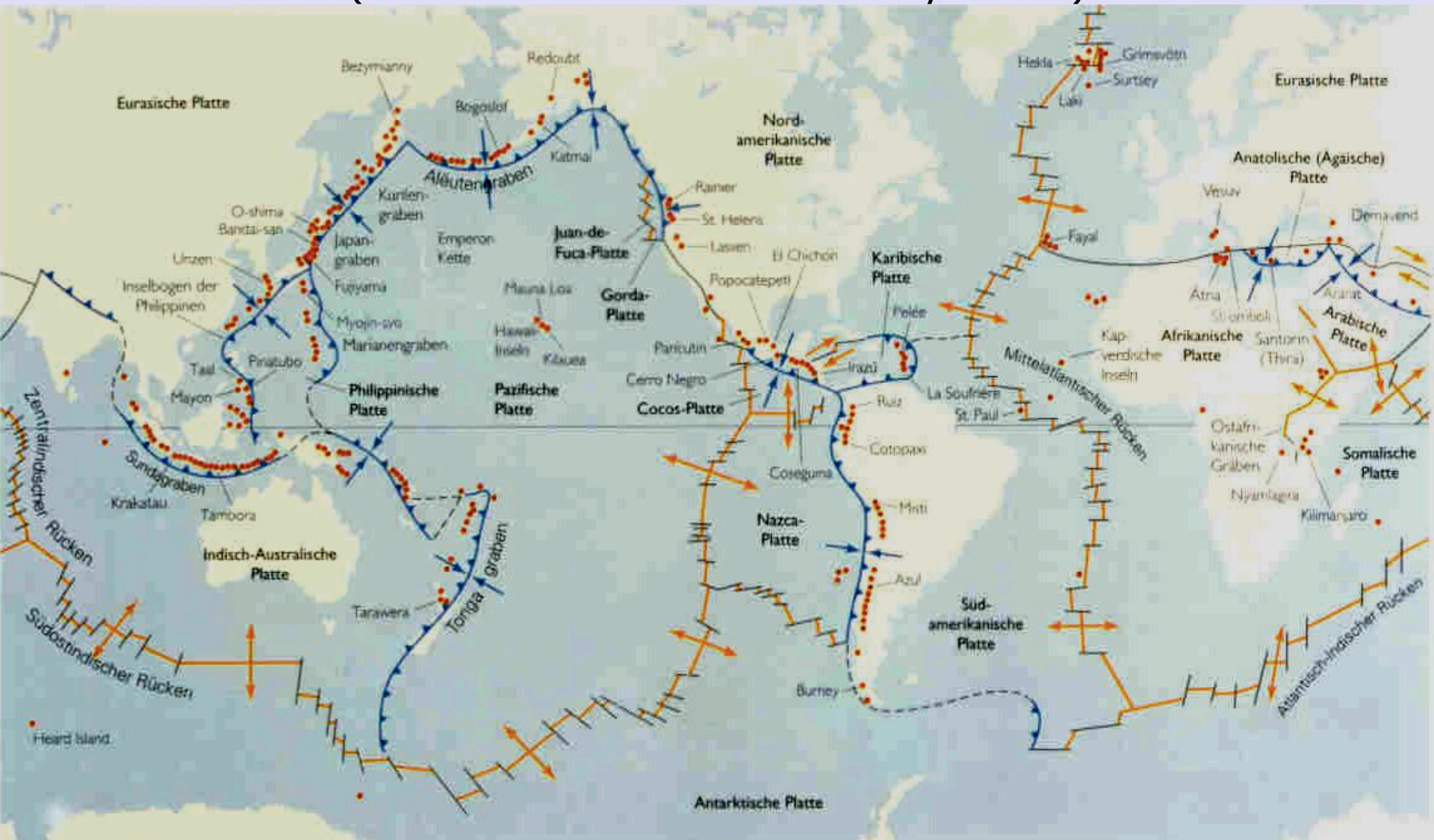


Kapitel 5

Plattenränder und Kräfte an Lithosphärenplatten



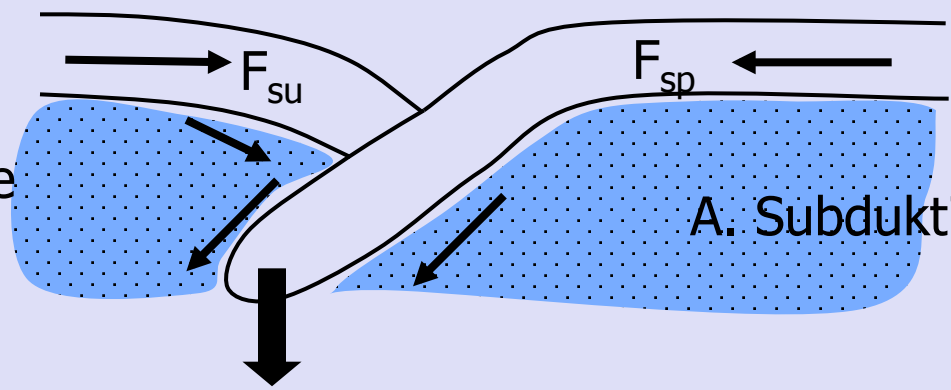
Drei Arten von Plattengrenzen (= drei Arten von tektonischen Systemen)



Kräfte an Platten(ränder):

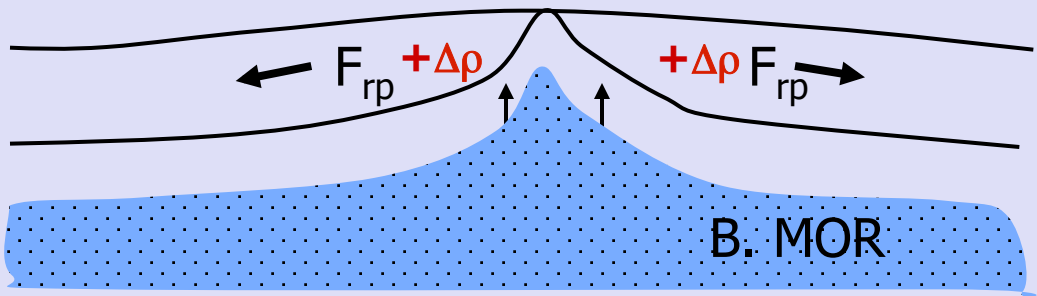
Sind grundsätzlich die Folge der Gravitation und der Massenverteilung von Lithosphäre und Asthenosphäre

Sehr grosse Kräfte
(sehr grosse Massen, slabs)



A. Subduktionszone

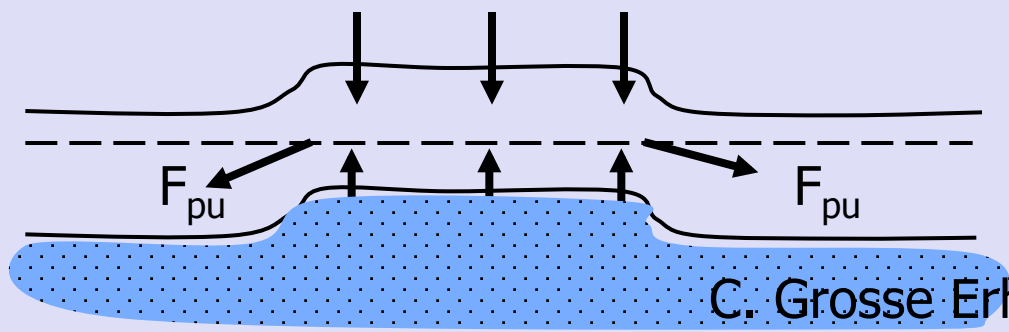
Kleine Kräfte
(kleine Massen)



B. MOR

“Ridge push”
= Abgleiten auf
schiefer Ebene

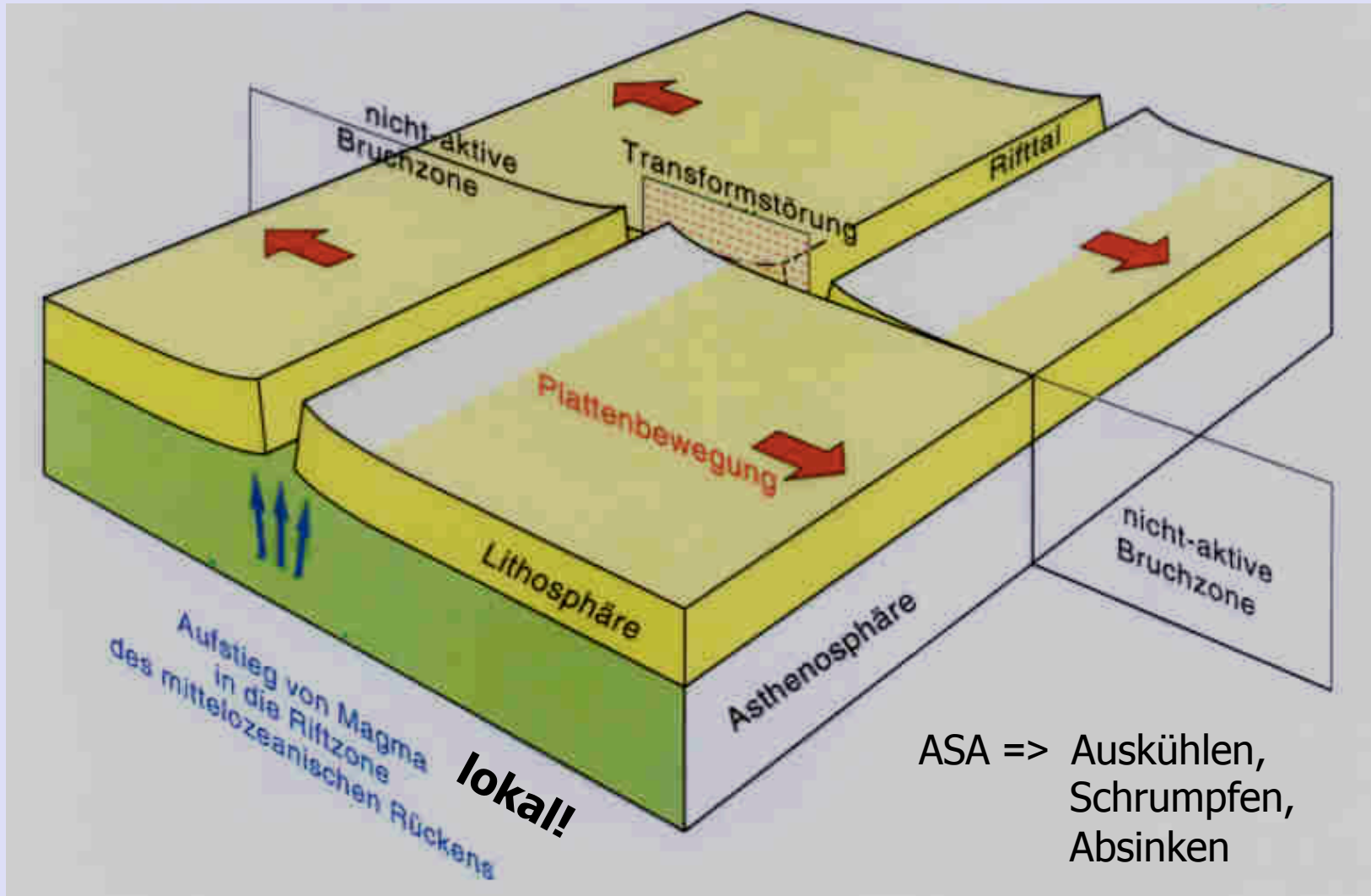
grosse Kräfte
(grosse Massen,
Topographie)



C. Grosse Erhebung (z.B. Tibet)

↑ P-Ränder
Platteninneres

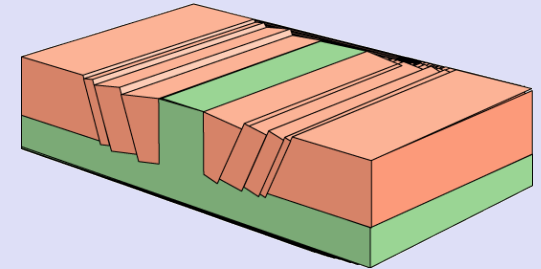
Kräfte an konstruktiven und konservativen Plattengrenzen (Reibung und Abgleiten)



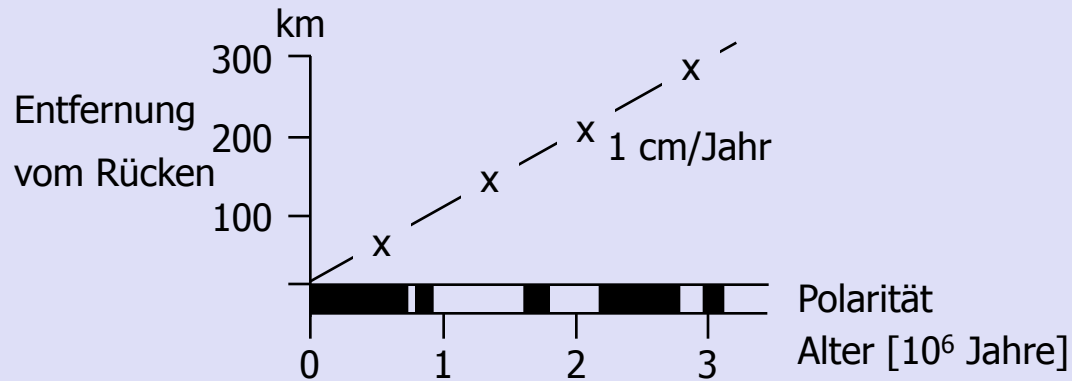
ASA => Auskühlen,
Schrumpfen,
Absinken

Geschwindigkeit der Plattenauseinanderbewegung am konstruktiven Plattenrand

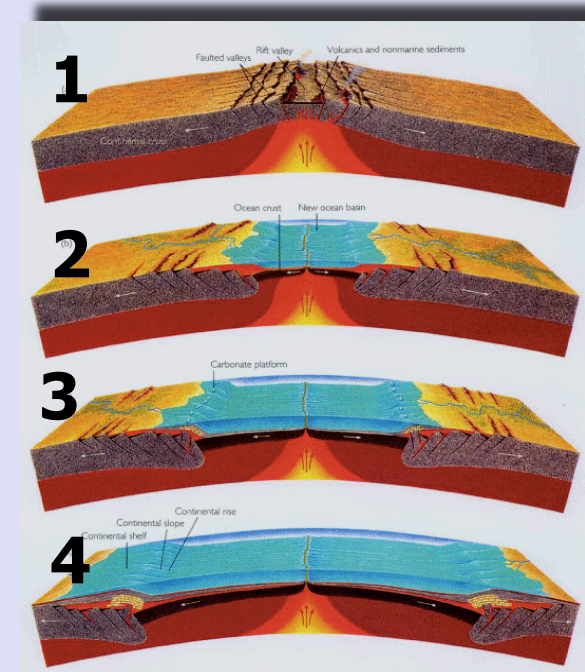
ozean. -ozean.-Lithosphäre



„Sea-Floor-Spreading“ erfolgt **im Nordatlantik langsam** (1-2 cm/Jahr) und **im Pazifik relativ schnell** (5-10 cm/Jahr).



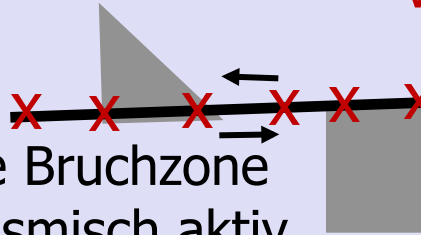
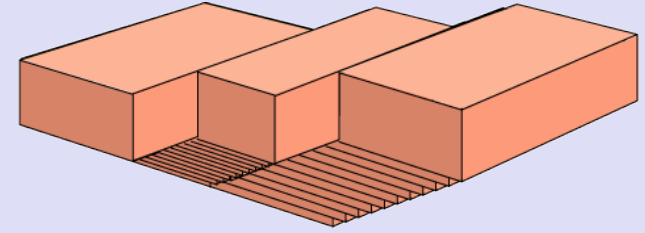
Der ozeanische Boden kann mit Hilfe der ozeanischen magnetischen Anomalien datiert werden.



ozean.-ozean.-L oder kont.-kont.-L

Konservativer Plattenrand

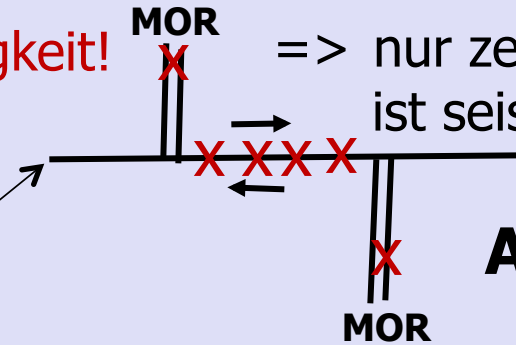
[„Transform Fault“ versus Blattverschiebung]



=> ganze Bruchzone ist seismisch aktiv

HORIZONTALVERSCHIEBUNG

Vgl. Erdbebenetätigkeit!

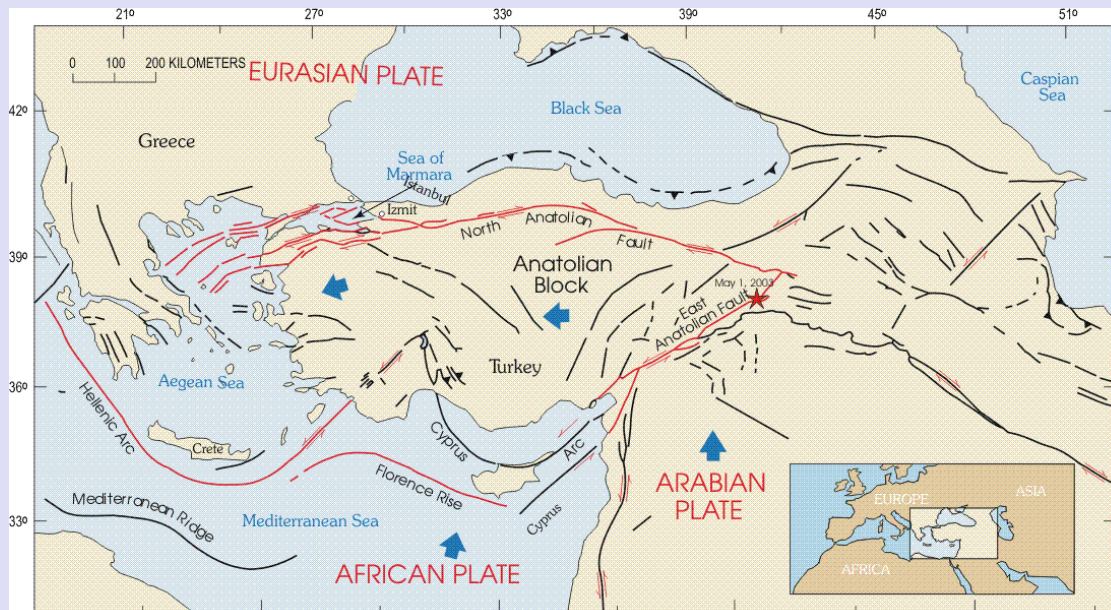


=> nur zentraler Teil ist seismisch aktiv

An MOR

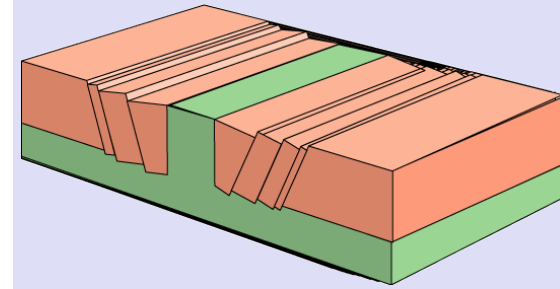
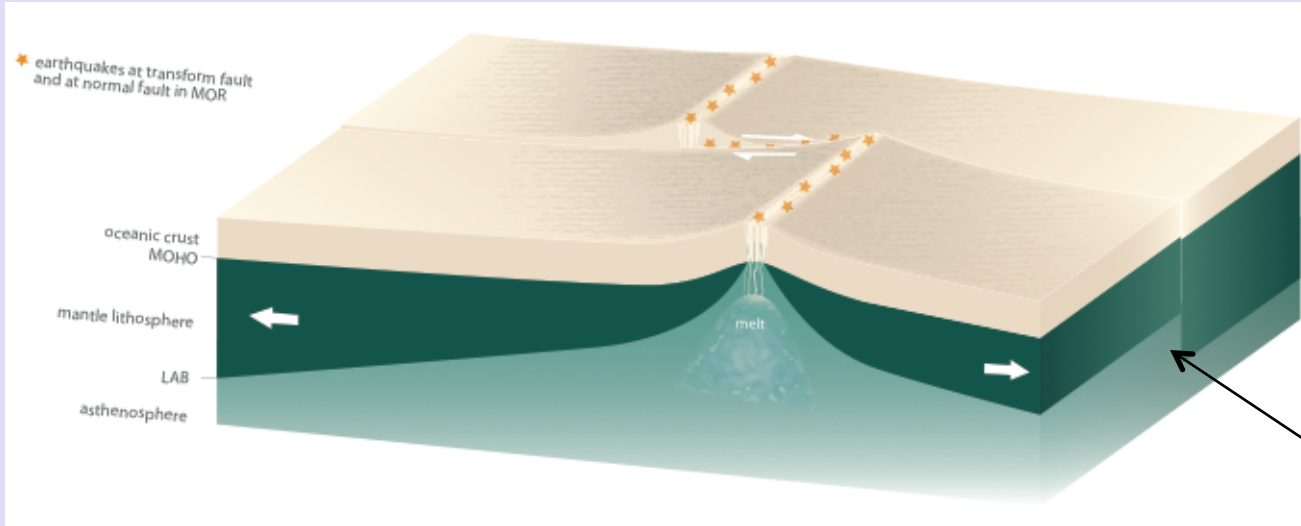
MOR

TRANSFORMIERENDE VERSCHIEBUNG

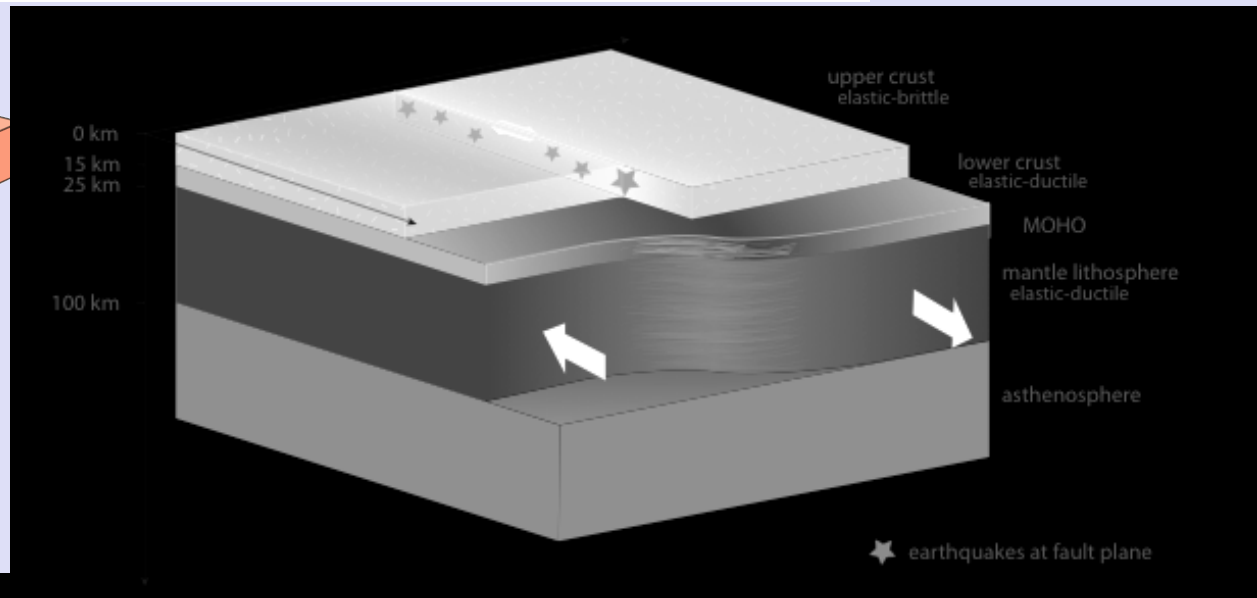
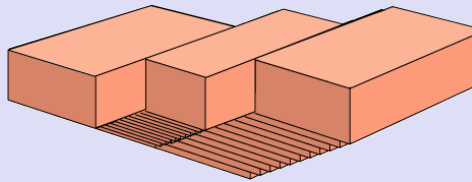


Bsp. Nordanatolische Bruchzone (NAF)

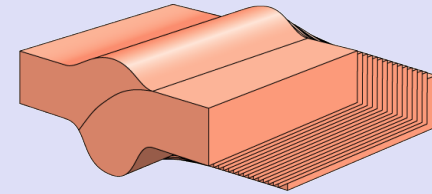
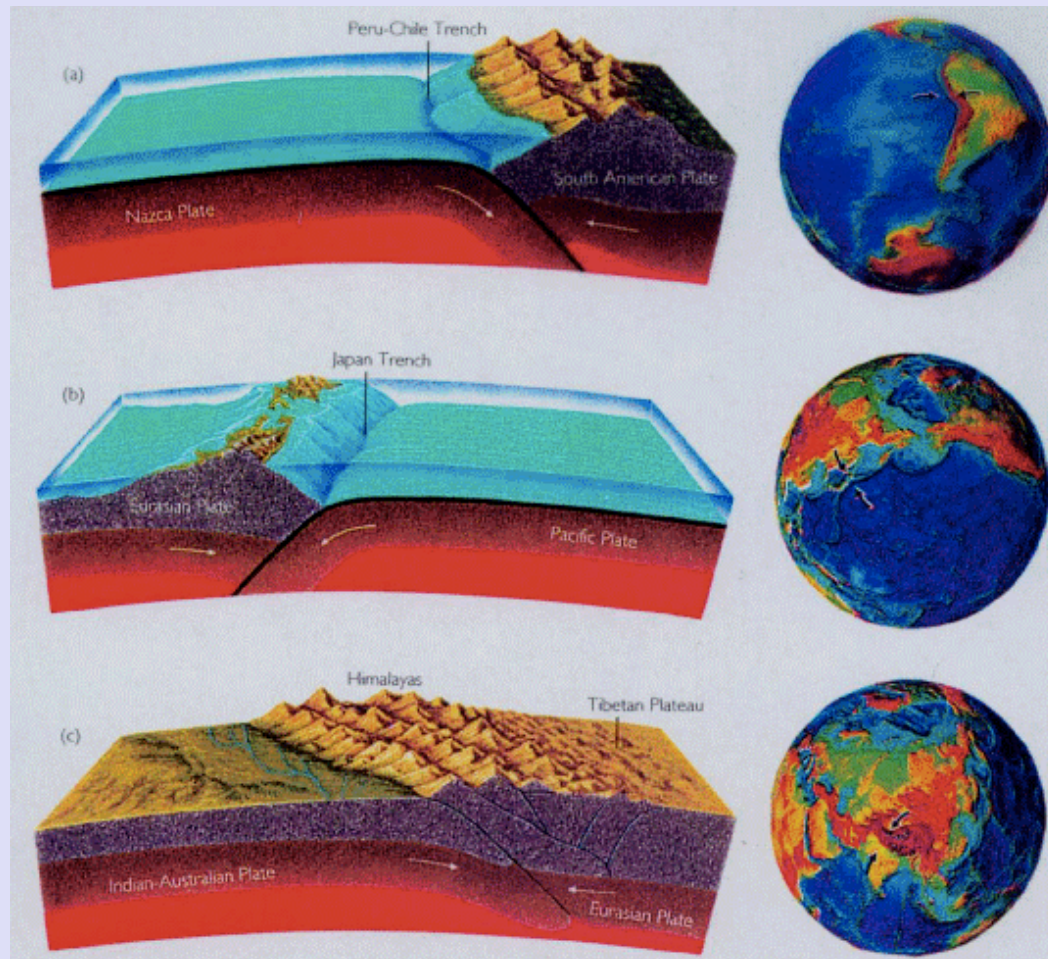
Erdbeben und Strukturen MOR und Transform



Schwachstelle in ozeanischer Lithosphäre bleibt erhalten

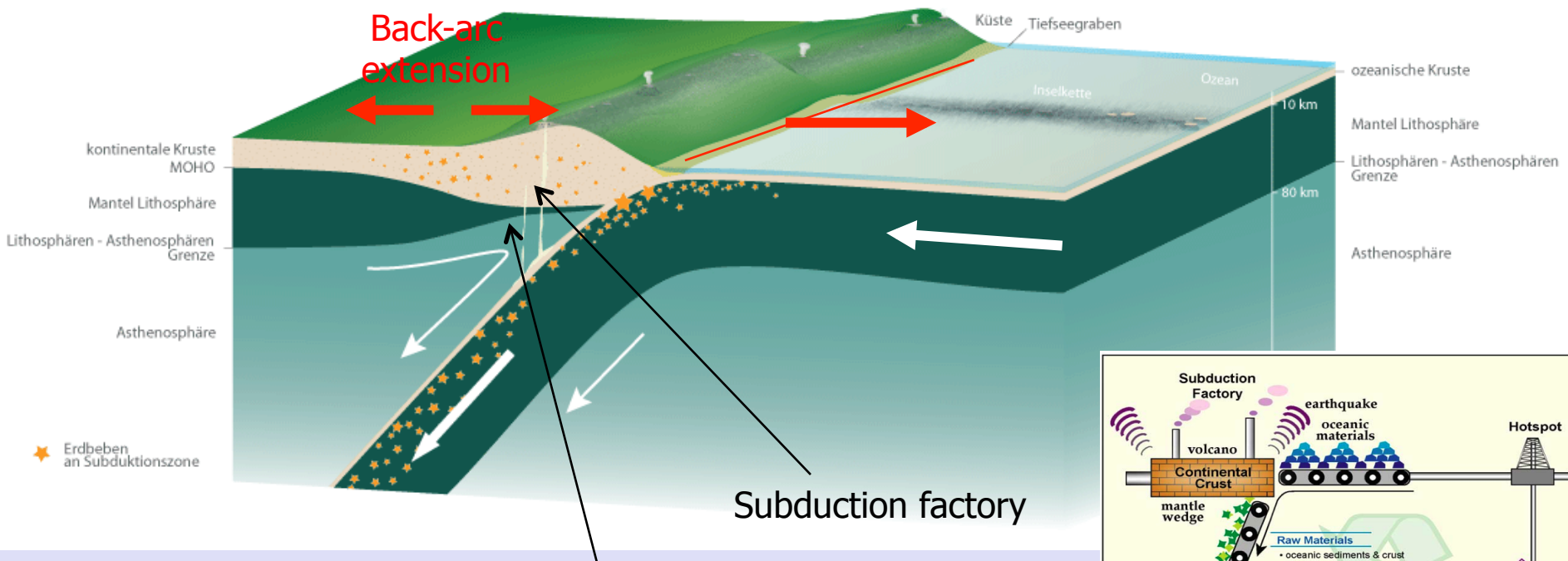
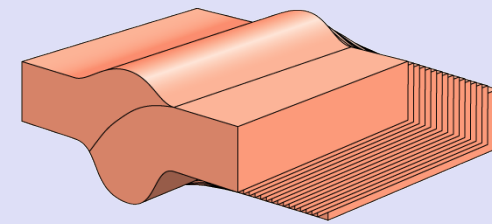


Drei Arten von Plattenkombinationen an destruktiven Plattengrenzen ozean-kont-L oder ozean-ozean-L oder kont-kont-L

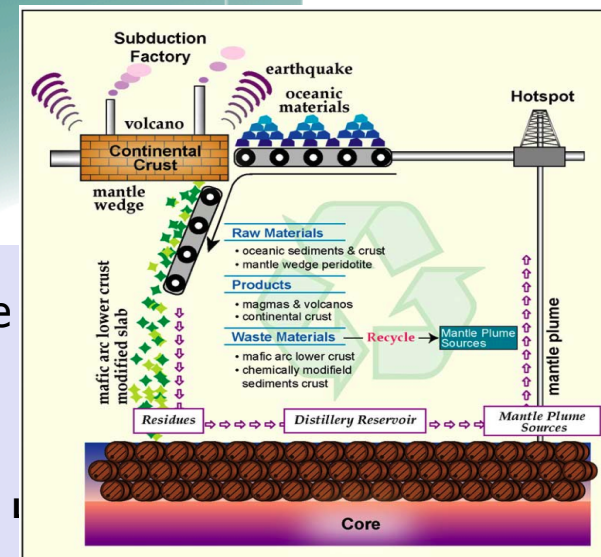


Destruktiver Plattenrand: normale Subduktion oder roll-back Subduktion

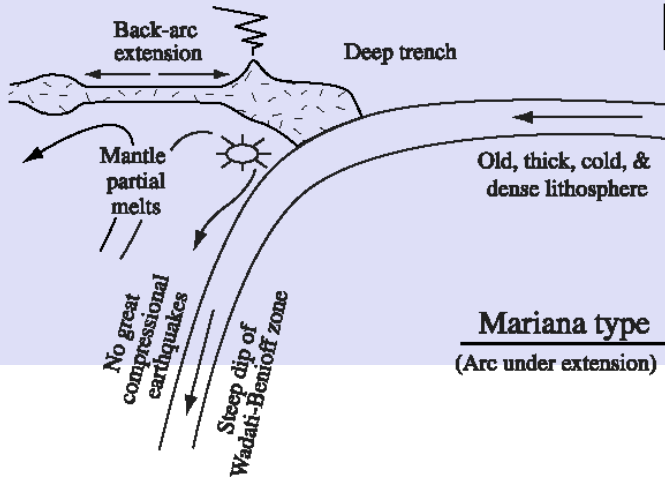
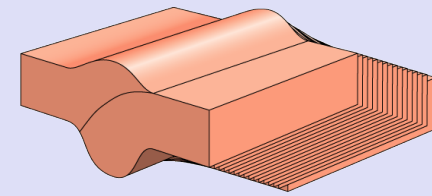
(z.B. Nazca-Platte unter Südamerika)



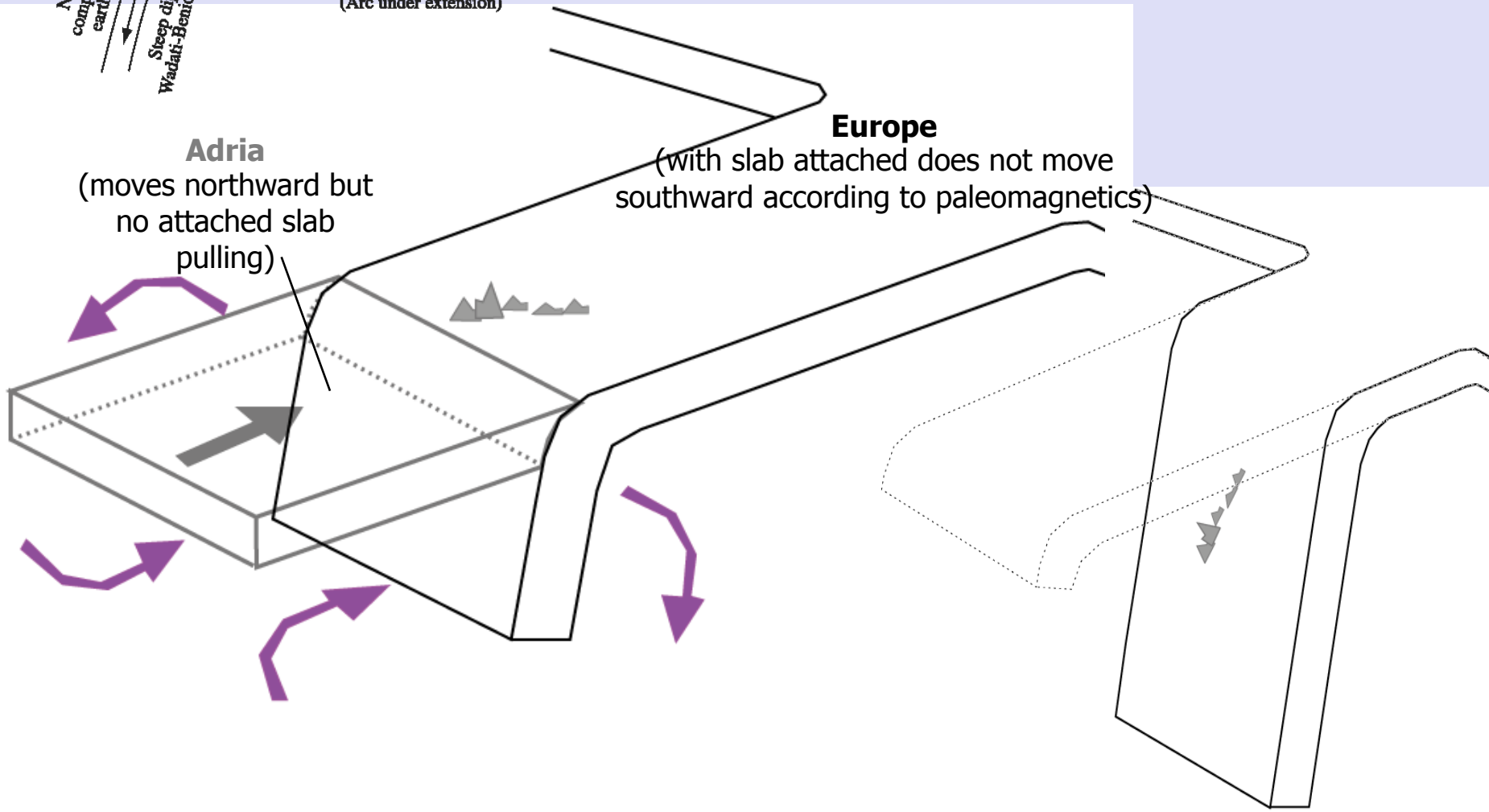
Erosion der Mantellithosphäre der oberliegenden Platte



Roll-back Subduktion



= the process of a subducting lithosphere slab attached to a plate that is not moving in same direction or with less speed as the slab subducts. Based on principle physical laws governing the process, the reference frame is the asthenospheric mantle in relation to the plate and the attached slab.



Adria
(moves northward but no attached slab pulling)

Europe
(with slab attached does not move southward according to paleomagnetism)

Kapitel 6

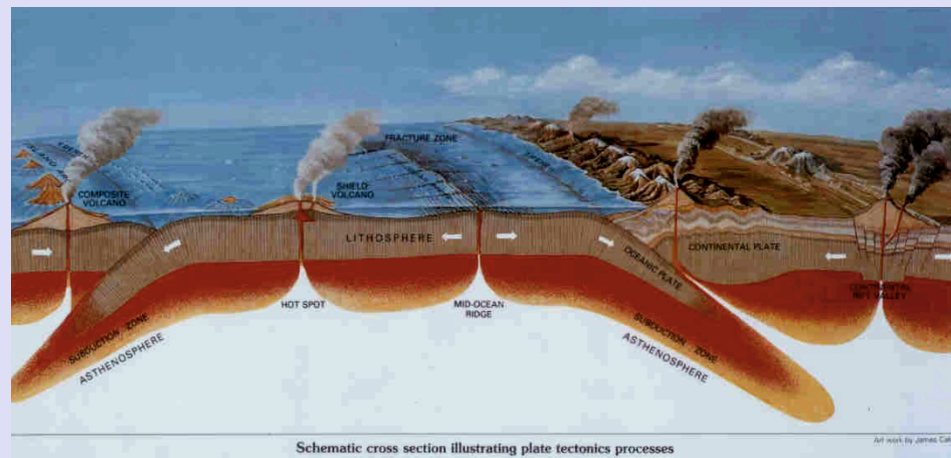
Wilson Zyklus

Strukturen der passiven und aktiven Kontinentalränder!

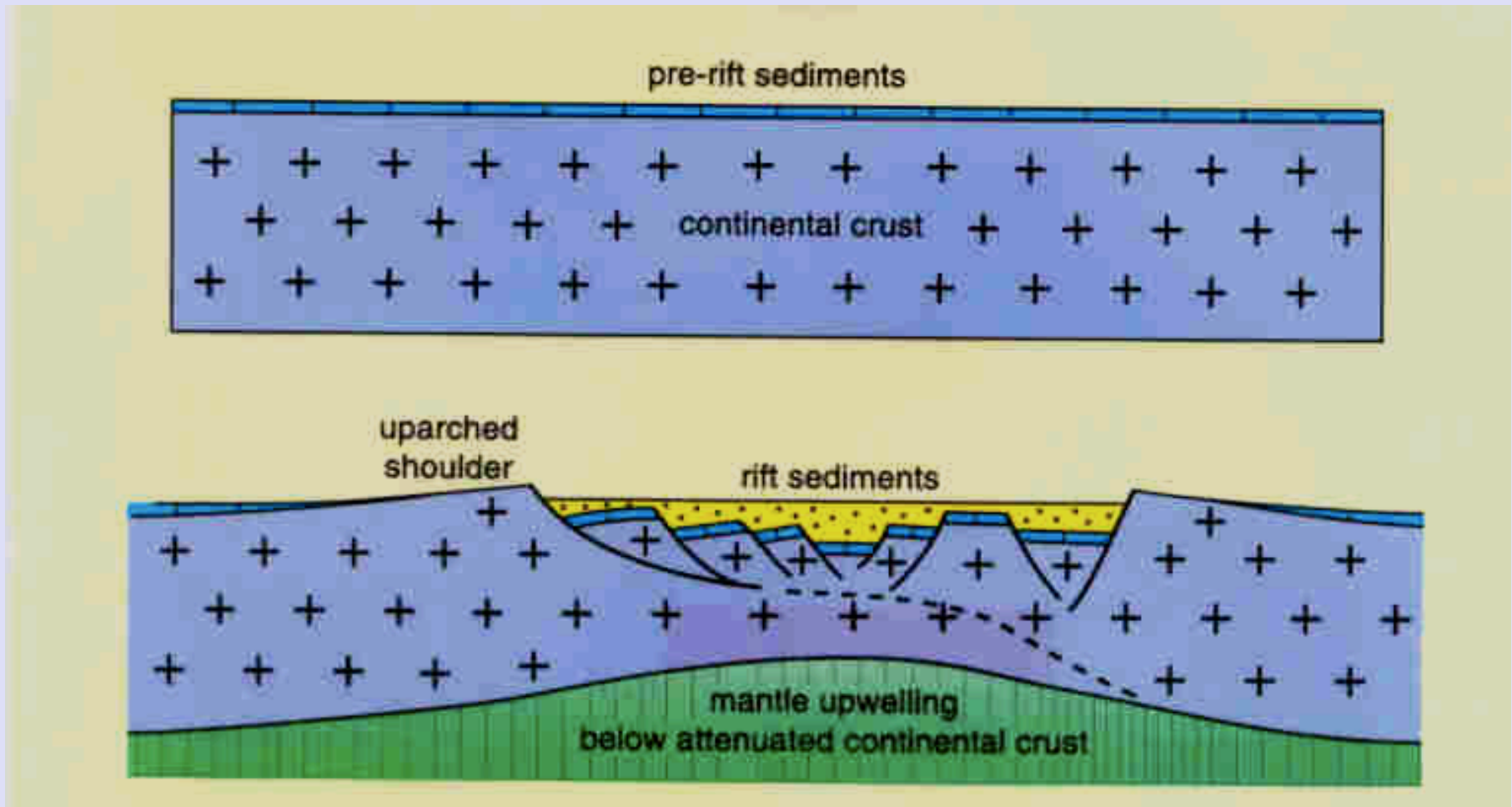
Der Wilson Zyklus verbindet Entstehen und Vergehen von ozeanischer Lithosphäre mit dem langsamen Wachsen der kontinentalen Lithosphäre:

Frühere Ozeane sind zu über 99% subduziert worden, doch ein kleiner Rest ist in der kontinentalen Lithosphäre als *Suturgürtel* eingebaut worden.

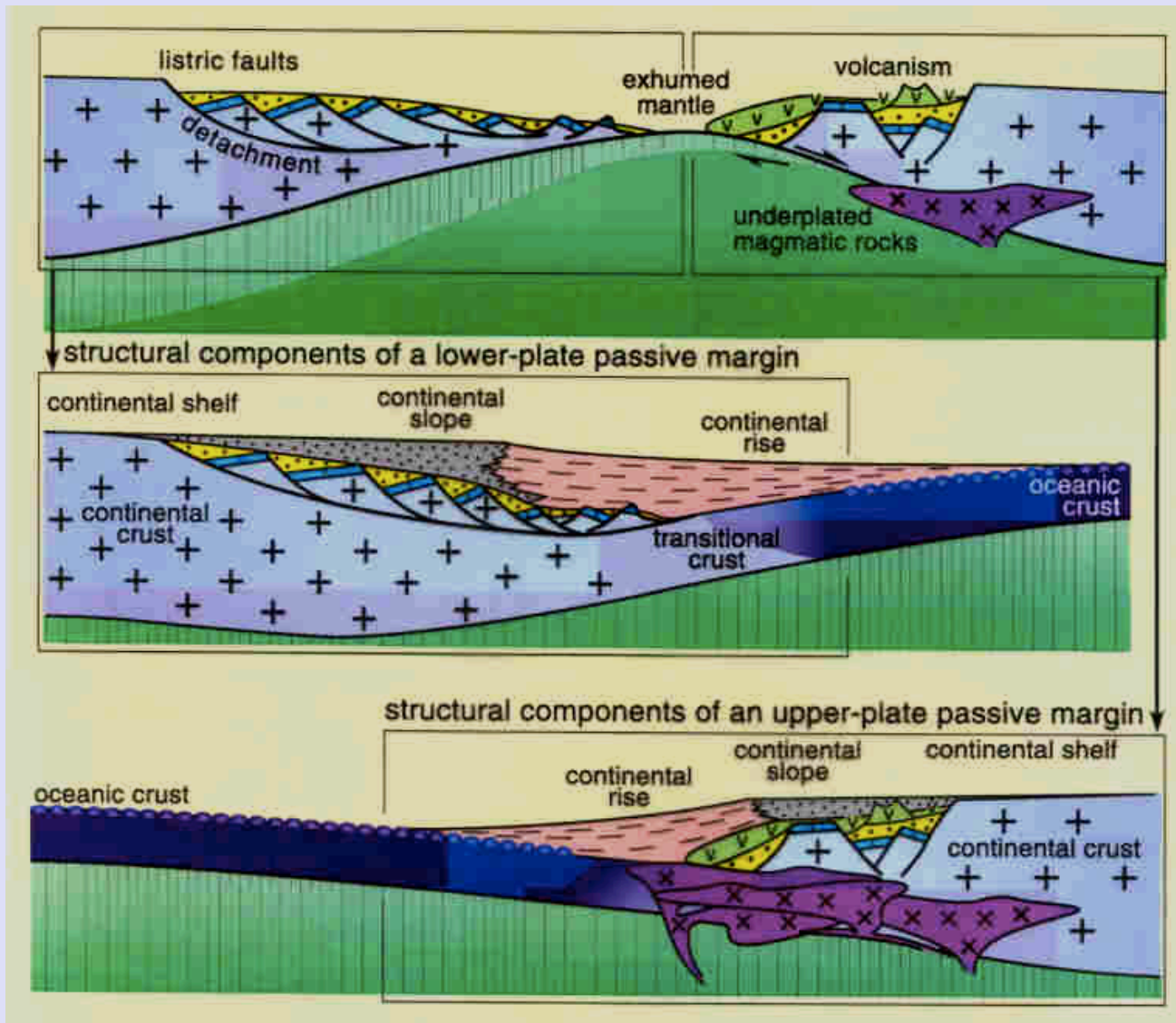
Suturen sind erkennbar an den Grüngesteinen!



Wie Ozeane entstehen (1)

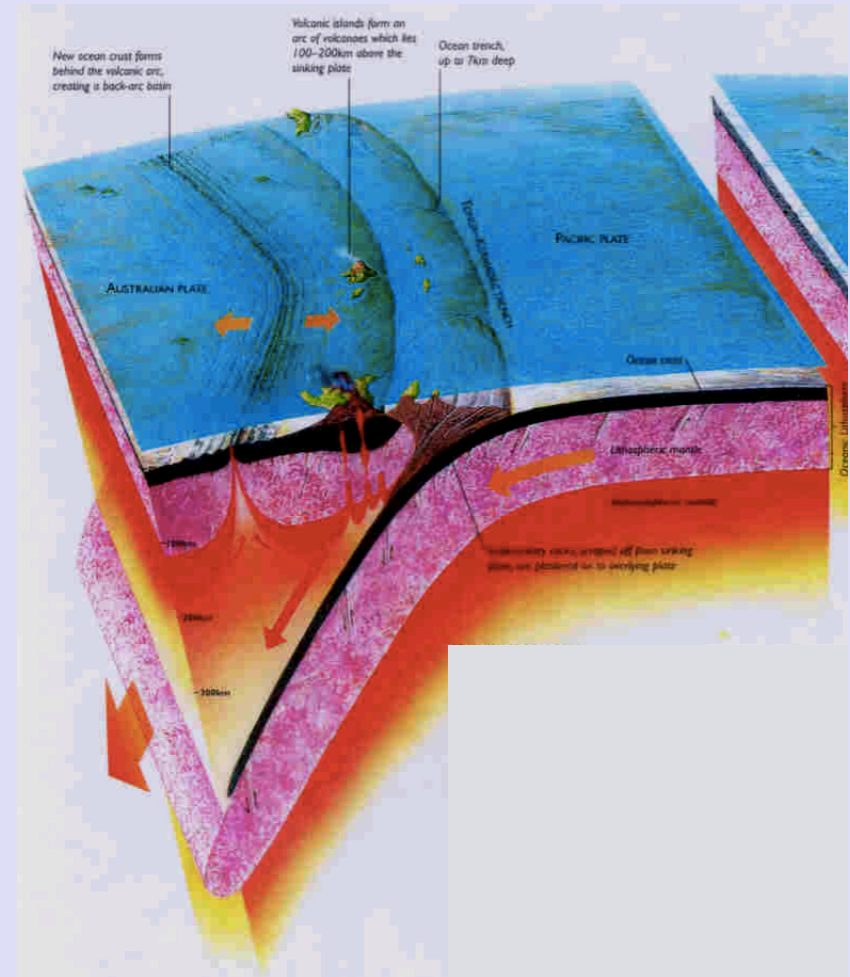
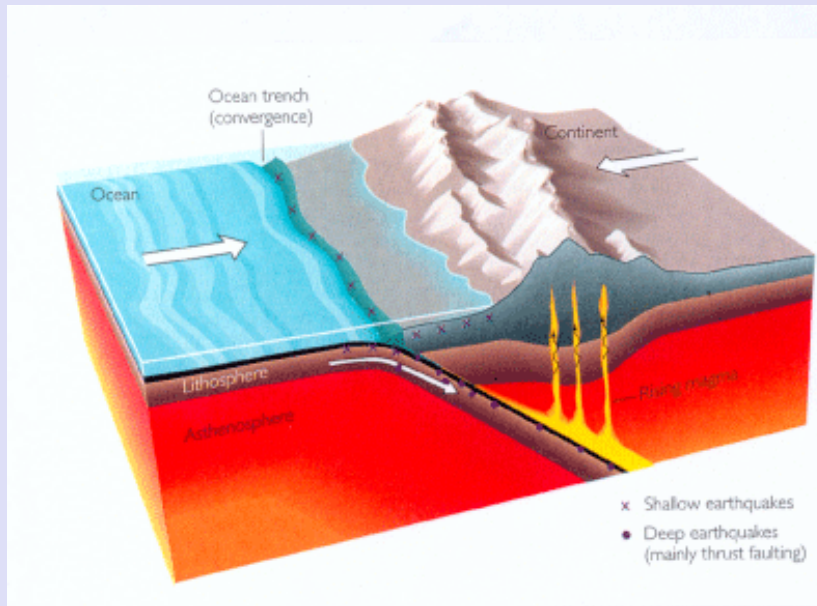


Wie Ozeane entstehen (2)

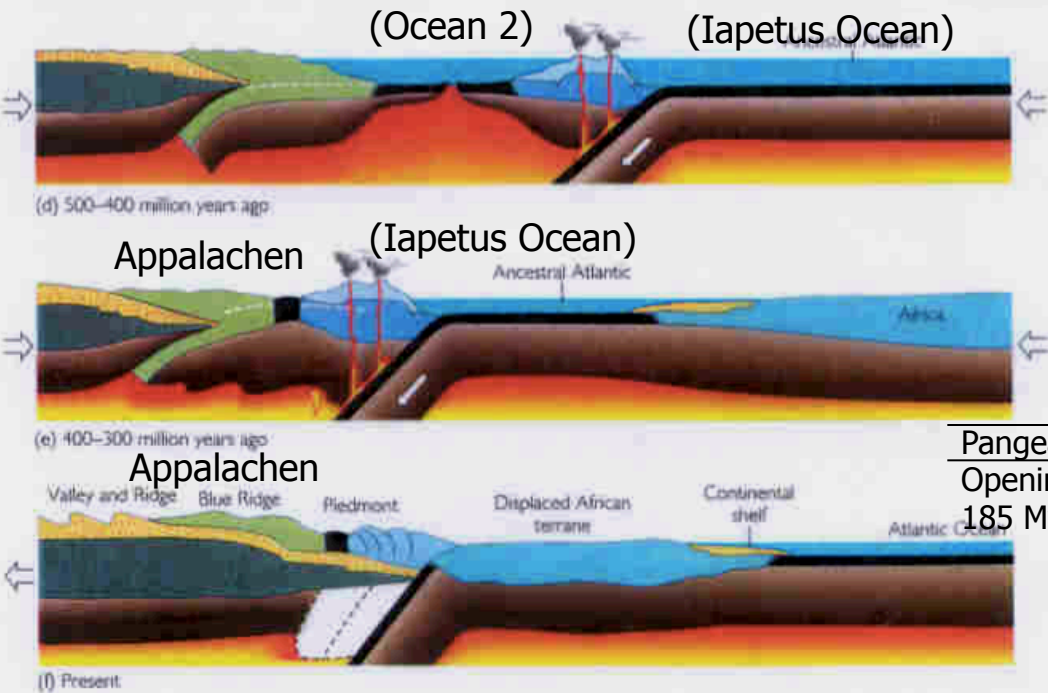
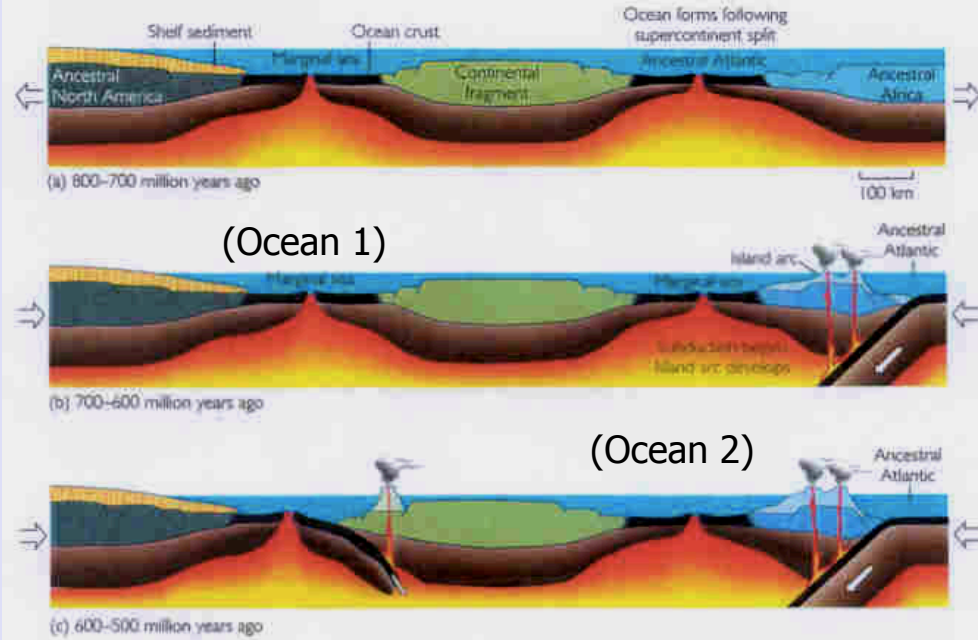


Wo Ozeane sterben

Fast die gesamte ozeanische Lithosphäre wird subduziert, nur ein sehr geringer Teil gelangt in die Inselbögen oder Vulkangürtel (vgl. Subduction Factory)



Appalachian orogenic belt: Story of the oceans between North-America and Europe/ Africa



Appalachen entstanden beim Schliessen des Iapetus Ozeans. Beim Öffnen des Atlantik wurde der Gebirgszug getrennt. Der nördliche Teil kam auf die Ostseite des Atlantik zu liegen und heisst jetzt Kaledoniden.

Pangea
Opening of Atlantic
185 My ago

(Ocean 3)

Inhalt: Plattentektonische Strukturen und Kräfte

- Aufbau und Zustand der Erde
- Lithosphäre als Mehrschichtenfestkörper
- Zyklus der ozeanischen Lithosphäre
- Antriebsmechanismus der Plattentektonik
- Plattenränder, Prozesse und Kräfte an Lithosphärenplatten
- Wilson-Zyklus und kontinentale Gebirgsbildung

