



LUDWIG-
MAXIMILIANS-
UNIVERSITÄT
MÜNCHEN

DEPARTMENT FÜR
GEO- UND UMWELTWISSENSCHAFTEN
SEKTION GEOLOGIE



Übung 3 – Mantelkonvektion und Plumes

05./06./07./08.11.2012

3.1 Mantelviskosität

Die dynamische Viskosität (η) des oberen Mantels kann durch die postglaziale Hebung abgeschätzt werden. Flussterrassen entlang des Angerman in Schweden sind sukzessive bei der Hebung des Gebietes nach Abschmelzen des Eisschildes entstanden. Abb 1. gibt die Höhenlage der Flussterrassen als Funktion des Alters. Aus diesen Daten konnte die Relaxationszeit $\tau_0 = 4,6$ ka abgeleitet werden. Die dynamische Viskosität des oberen Mantels kann über folgende Formel berechnet werden:

$$\eta = \tau_0 * g * R * \Delta\rho$$

τ_0 = Relaxationszeit = 4,6 ka

g = Schwerebeschleunigung =

R = Radius der Eisauflast =

$\Delta\rho = \rho_{\text{Mantel}} - \rho_{\text{Wasser}}$ = Dichteunterschied zwischen oberem Mantel und Wasser =

Schätzen Sie die Werte der restlichen Parameter ab und berechnen Sie die Mantelviskosität η .

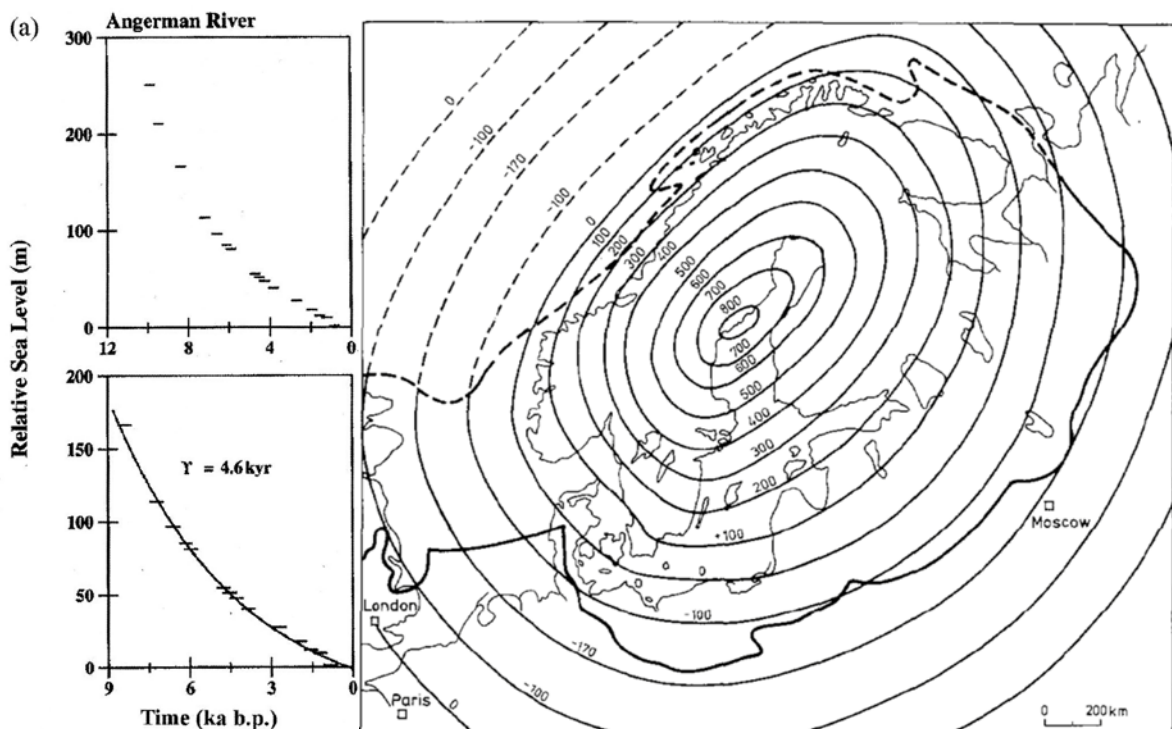


Abbildung 1: (links) Höhenlagen der Flussterrassen des Angerman relativ zum heutigen Meeresspiegel. (rechts) Postglaziale Hebung in Skandinavien (Angaben in m), nach Mörner (1979).

3.2 Rayleigh-Zahl

Die Rayleigh-Zahl (Ra) ist eine dimensionslose Kennzahl der Strömungsmechanik, die den Charakter der Wärmeübertragung eines Fluids beschreibt. Bei einem Wert über 10^3 ist Konvektion vorherrschend, unter 10^3 kann keine Konvektion stattfinden und die Wärme wird über Konduktion übertragen. Schätzen Sie die Werte der Parameter ab und berechnen Sie die Rayleigh-Zahl des Mantels. Ist Mantelkonvektion möglich?

Hinweis: Die dynamische Viskosität des Mantels ändert sich von der Moho zur Basis des Mantels etwa um zwei Größenordnungen. Nehmen Sie für η einen durchschnittlichen Wert an.

$$Ra = \frac{g\rho\alpha\Delta TD^3}{\kappa\eta} =$$

ρ = Dichte des Fluids =

α = Temperaturleitfähigkeit = $2 \cdot 10^{-5} / ^\circ\text{C}$

g = Schwerebeschleunigung =

ΔT = Temperaturunterschied innerhalb des Mantels =

D = Dicke des Fluids =

κ = thermische Diffusivität = $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

η = dynamische Viskosität =

3.3 Nusselt-Zahl

Die Nusselt-Zahl (Nu) ist eine weitere dimensionslose Kennzahl, die die Effizienz der Konvektion als Wärmetransportmechanismus im Vergleich zur Konduktion beschreibt. Für den Mantel konnte gezeigt werden, dass die Nusselt-Zahl von der Rayleigh-Zahl abhängt. Berechnen Sie die Nusselt-Zahl über die Formel:

$$Nu = Ra^{1/3} =$$

Um wieviel effektiver als die Wärmeleitung ist die Konvektion im Mantel?

3.4 Reynolds-Zahl

Die Reynolds-Zahl (Re) ist das Verhältnis von Trägheits- zu Zähigkeitskräften. Sie beschreibt das Turbulenzverhalten. Bei niedrigen Reynolds-Zahlen ist die Strömung laminar, bei hohen turbulent. Die Reynolds-Zahl ist die wichtigste Größe, wenn es darum geht, Modelle mit der Wirklichkeit zu vergleichen. Die Ähnlichkeitstheorie der Strömungslehre besagt, dass unabhängig von der Längendimension bei gleichen Reynolds-Zahlen gleiche Strömungen entstehen.

Berechnen Sie die Reynolds-Zahl des Mantels mit folgender Formel:

$$Re = \frac{vD\rho}{\eta} =$$

mit v = Geschwindigkeit der Strömung. Alle anderen Parameter haben dieselben Werte wie oben. Überwiegen Zähigkeits- oder Trägheitskräfte? Welche Schlüsse über den Charakter der Mantelkonvektion können Sie daraus ziehen?

3.5 Abschätzung der zeitlichen Größenordnung der Mantelkonvektion

a) Zeit für einen Umlauf in einer Konvektionszelle

Die Geschwindigkeit der Mantelkonvektion kann über die Geschwindigkeit der schnellsten Plattenbewegungen abgeschätzt werden. Die Geometrie der Konvektionszelle soll als Rechteck angenähert werden, das dreimal so breit wie hoch ist und bei dem die kurze Seite der Manteltiefe entspricht.

Geschwindigkeit =

Manteltiefe =

Umfang der Konvektionszelle =

Zeit für einen Umlauf =

Konvektionszellen besitzen meist eine viel größere Breite als die Manteltiefe. Daher stellt die Berechnung nur eine Abschätzung der Minimalzeit für einen Umlauf dar.

b) Welches plattentektonische Phänomen kennen Sie, das auf dem gleichen zeitlichen Maßstab abläuft? Wie könnten es mit der Mantelkonvektion zusammenhängen? Welche Anzeichen davon können Sie auf der geologischen Weltkarte erkennen? Welchen Zeitraum können Sie dafür ableiten?

c) Berechnen Sie den Anteil an Mantelvolumen, das durch Subduktion in dem von Ihnen berechneten Zeitraum durch Lithosphäre ersetzt wird. Schätzen Sie die Gesamtlänge aller Subduktionszonen auf der Erde ab und nehmen Sie an, dass die Subduktion mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit abläuft. Zur Berechnung des Mantelvolumens kann die Erde als Kugel angenommen werden.

3.6 Trägheitskräfte

Platten besitzen eine große Masse, aber eine geringe Geschwindigkeit. Ist der Impuls bzw. die kinetische Energie der Platte ausreichend, um die Plattentektonik am Laufen zu halten und Gebirge zu erschaffen? Schätzen Sie diese Parameter ab und vergleichen Sie die Werte von Impuls und kinetischer Energie mit dem größten existierenden Supertanker.

| | Supertanker | Platte |
|--|--------------------------------|--------------------|
| Masse (m) | 450000 t = $4,5 \cdot 10^8$ kg | |
| Geschwindigkeit (v) | 17,5 kn = 9 m/s | |
| Impuls $p = m \cdot v$ | | in „Supertankern“: |
| kin. Energie $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ | in „Platten“: | |

3.7 Auswirkungen von Mantelaktivität auf die Oberfläche

Wir wollen nun darüber nachdenken, welche Spuren der Einfluss des Mantels an der Oberfläche hinterlassen könnte. Denken Sie an alle möglichen Signale: Vulkanismus, Magmatismus, Topographie, Erosionsmuster, Flusserosion, Sedimentation etc.

a) Topographische Anomalien

Topographie wird zumeist durch plattentektonische Prozesse (z.B. Subduktion, Kollision, Extension) erzeugt. Identifizieren Sie Bereiche auf der topographischen und bathymetrischen Weltkarte, die nicht in diese Kategorien fallen, aber trotzdem eine anomal hohe oder niedrige Topographie aufweisen. Markieren Sie diese Regionen in Abb. 2.

Welche Prozesse könnten dafür verantwortlich sein?



Abbildung 2: Höhenmodell der Erde mit Topographie und Bathymetrie (ETOPO-1).

b) Afar

Sehen Sie sich die Region Afar und die umliegenden Gebiete (Ost-/Nordafrika, Arabische Halbinsel usw.) auf der topographisch-bathymetrischen sowie geologischen Weltkarte an. Welche Spuren von Mantelaktivität finden Sie in der Topographie bzw. Geologie dieser Region?