

Kapitel 14 Erforschung des Erdinneren

1) Mit welchem Hilfsmittel lässt sich das Innere von der Erde untersuchen?

- Bohrungen (teuer, nur in Gebieten mit wirtschaftlicher Kraft)
- Seismische Tomographie
- das Verhalten von seismischen Wellen liefert Informationen über den inneren Aufbau der Erde (Schalenaufbau)
- wenn Wellen in ein anderes Material vorstoßen, ändert sich Richtung und Geschwindigkeit der Wellen (Reflexion, Brechung)

2) Wovon hängt die Geschwindigkeit von seismischen Wellen ab?

- Gesteinsdichte- und Material (beides hängt zusammen)
- Art des zu durchlaufenden Materials (S-Wellen durchlaufen nur Gesteine, P-Wellen Gesteine, Gase und Fluide)
- Alle Wellen wie Licht, Schall oder Seismische Wellen variieren ihre Geschwindigkeiten der Ausbreitung je nach Medium, das sie durchlaufen
- Schallwellen in Luft: 0,3 km/s.
- Schwallwellen in Wasser: 1,5 km/s
- Je fester das Medium, desto schneller die Ausbreitungsgeschwindigkeit

3) Wie schnell laufen seismische Wellen in 1: Granit, 2: Gabbro und 3: Peridotit?

- 1: 5 km / s
- 2: 7 km / s
- 3: 8 km / s

4) Wie tief sind tiefste Bohrungen?

- Suche nach Kohlenwasserstoff: Bis 10 km Bohrung
- Suche nach Gold und Mineralen: Bis 4 km Bohrung

→ Viel tiefer kann man technisch nicht bohren, auch zunehmende Hitze erschwert den Vorgang. Daher: Durch seismische Wellen können wir das innere der Erde durchleuchten. Sie ermöglicht die Konstruktion von 3D Bildern der inneren Erde wie beispielsweise den Konvektionsströmen im Mantel.

5) Skizzieren Sie den Verlauf von P und S Wellen durch den Erdkörper. Wo sind Schattenzonen? Wo ist die Schattenzone größer, bei P oder S Wellen und warum?

Schattenzonen von P und S Wellen

P- Wellen: werden vom Erdkern von ihrer Laufrichtung abgelenkt. Es entsteht eine Schattenzone von **105 bis 143** Grad vom Herd

S- Wellen: werden am flüssigen äußeren Kern nicht weitergeleitet. Die Schattenzone ist viel größer und liegt zwischen **105 und 180** Grad vom Herd.

→ Wellen in tieferen Erdregionen laufen schneller, da die Gesteine und die Minerale dort stärker zusammengepresst sind und der Widerstand daher größer ist. Außerdem sind die Wellen in Richtung Erdoberfläche gekrümmt. Durch die **2 bis 4 - Malige Krümmung der P-Wellen** erklärt sich auch die zeitliche Verzögerung nach der Schattenzone, siehe Grafik.

An Grenzflächen im Erdinneren reflektierte Wellen

Aus den Laufzeiten der am Kern reflektierten Wellen, konnte Gutenberg die Kern/Mantelgrenze genau bestimmen

6) Was sind SS, ScS, PP, PcP, PKP, PKiKP, PSP und SSP - Wellen?

SS: eine an der Erdoberfläche in den Mantel reflektierte S - Welle

PP: eine an der Erdoberfläche in den Mantel reflektierte P - Welle

ScS: eine an der äußeren Kerngrenze an die Oberfläche reflektierte S - Welle

PcP: eine an der äußeren Kerngrenze an die Oberfläche reflektierte P - Welle

PKP: eine an der äußeren Kerngrenze gebrochene und durch den äußeren Kern verlaufende P - Welle

PKiKP: Welle, die an der Grenzfläche äußerer- und innerer Kern insgesamt 4 Mal reflektiert wird und den inneren Erdkern durchlaufen hat

PSP und SSP: Wechselwellen, die ihren Typ ändern können

7) Beschreiben Sie die 1: angewandte Seismik, 2: Refraktionsseismik, 3: Reflexionsseismik!

1: Angewandte Seismik

...sie beruht auf der Auswertung künstlich erzeugter seismischer Wellen und deren Auswertung. Sofern dies nicht homogen ist, kommt es an Grenzflächen, an denen sich Wellengeschwindigkeit sprunghaft ändert zur Brechung -> Refraktion und zur Beugung.

Geophone: Messinstrumente für angewandte Seismik an Land, Hydrophone am Meer.

Eine Zuordnung der Grenzflächen zu bestimmten Schichtgrenzen oder auch Aussagen, welche Gesteinseinheiten an den Reflektionshorizonten miteinander in Kontakt stehen, sind allein durch seismische Verfahren nicht zu erzielen, sondern nur in Verbindung mit entsprechenden Messungen in Tiefenbohrungen möglich.

Zur Erzeugung von diesen Wellen werden Sprengladungen, Fallgewichte, Schwingungsmaschinen oder bei der Seeseismik auch Luftpulsoren verwendet. Für viele Untersuchungen wird heute das Vibroseis- Verfahren (Vibroseismik) verwendet. Weil es kostengünstiger und die Signalform besser kontrollierbar ist, kann das Frequenzspektrum gezielt auf die Problemstellung abgestimmt werden. Nach elektronischen Verstärkungs- und Filterprozessen, werden die Oberflächenwellen normalerweise ausgefiltert.

2: Refraktionsseismik Exkurs Wichtig hier: Zeitlicher Aspekt

Ziel: Schichtmächtigkeiten oder Ausbreitungsgeschwindigkeit der P-Wellen bestimmen

Durchführung: Siehe Bild: Die ungebrochene Welle ist langsamer, da sich die gebrochene, und parallel zu den 2 Schichtmedien verlaufende Welle schneller bewegt (durch höhere Dichte) Das heißt, alle Wellen, die unter einem Winkel größer 90 Grad auf die Grenzfläche treffen, werden totalreflektiert und breiten sich entlang der Grenzfläche in der unteren Schicht mit der höheren Geschwindigkeit aus, wobei laufend und ebenfalls unter dem kritischen Winkel, eine Welle in die obere Schicht abgestrahlt wird. Diese werden dann durch die aufgestellten Geophone registriert und mit den normal laufenden Wellen zeitlich verglichen. Durch die Zeitdifferenz lässt sich die Schichtmächtigkeit errechnen.

3: Reflexionsseismik Exkurs Wichtig hier: Symmetrie an Brechgrenzen

Ziel: Erkundung von Schichtmächtigkeiten

Durchführung: Es werden die Einsätze und die Amplituden der an Grenzflächen reflektierten Wellen ausgewertet. Daher unterscheiden sich auch die Aufstellungspunkte der Geophone: Während bei der Refraktionsseismik die Geophone in Reihe aufgestellt werden mit gewisser Entfernung zum Schusspunkt, so werden diese nun symmetrisch zum Schusspunkt angeordnet, auf See werden sie an einem Schiff gezogen. Durch die Laufzeit zur Grenzschicht und bis zum Geophon kann die Tiefe des Reflektors (der Grenzschicht) durch Formeln einfach errechnet werden, wenn die V = bekannt und konstant. Wenn V das nicht ist, wird es komplizierter.

8) Beschreiben Sie seismische Tomographie!

Geringe, laterale Änderungen der seismischen Wellengeschwindigkeit, werden mit Hilfe von Computern zur seismischen Tomographie verwendet – ein 3-D Bild des Erdinneren.

Seismische Tomographie

Aufgrund der Wellengeschwindigkeit gibt es Bereiche, aus dichterem und kälterem Material bestehen und vice versa. Wenn V = hoch, dann ist es ein Zeichen für Konvektionsströme, wenn V = gering, dann ein Zeichen für abtauchende subduzierte Kruste. In größeren Tiefen verschimmen jedoch die Zeichen der Plattentektonik und werden deutlich differenzierter. Sie zeigen keine Abhängigkeit von den Platten an der Oberfläche. Teilweise gibt es Indizien, dass der gesamte Mantel einem Konvektionsstrom unterliegt. Eine subduzierte Platte sinkt dabei bis zur KM-Grenze ab. Hier kommt es sogar zur Bildung von **Anti-Kontinenten**, die an der Kern-Mantelgrenze unherdriften.

9) Beschreiben Sie die Zusammensetzung und Aufbau des Erdinneren! (Kruste, Mantel, Kern)

Die Laufzeiten von Longitudinalwellen (P) und Transversalwellen (S) liefern die grundlegenden Daten der Seismik. Der entscheidende Schritt zur praktischen Nutzung ist, die gemessenen Laufzeiten in einer Kurve oder einer Tabelle umzusetzen die zeigt, wie sich die Geschwindigkeit der seismischen Wellen in Abhängigkeit der Tiefe ändert.

Erdkruste

Je höher die Dichte, desto schneller die Ausbreitung der P-Wellen zwischen 6 und 7 km /h. (Granit und Gabbro).

Der sprunghafte Anstieg der Wellengeschwindigkeit auf 8 km/s kennzeichnet die **MOHO-Diskontinuität**, die Kern-Mantelgrenze.

Erdmantel

Gesteine des oberen Mantels bestehen aus dichtem Peridotit. In gleicher Weise, wie ein Korken aufschwimmt (**Prinzip der Isostasie**), ragen auch die leichten Gesteine der Kontinente bis zu **5 km über die tiefen Ozeanbecken** heraus. **Peridotit**, das vorherrschende Gestein im oberen Mantel, besteht überwiegend aus Olivin und Pyroxen, 2 Silicatverbindungen aus MG und FE. Sie können ihre atomare Gitterstruktur in Abhängigkeit der Tiefe stark verändern, was die Zu- und Abnahme der Ausbreitungsgeschwindigkeit der S-Wellen erklärt.

In einer Tiefe von 50 bis 100 km nimmt die V kurz schnell ab: Low Velocity Zone durch partielles Aufschmelzen in einer Tiefe von ca. 100 km, da in dieser Tiefe der Schmelzpunkt der Mantelgesteine liegt. Aufschmelzung von meist nur 1 % reicht aus. Die in dieser Zone die Gesteine beginnen plastisch zu werden, setzt man sie mit der Obergrenze der Lithosphäre gleich.

Grenze Kern/Mantel

Die Kern/Mantelgrenze ist die extremste Grenze im Inneren der Erde in 2890 km Tiefe. Hier erfolgt ein abrupter Übergang von einem festen Silicatgestein zu in eine flüssige Eisen-Nickellegierung. Durch die starke Dichteerhöhung geht man davon aus, dass diese Grenze nahezu eben ohne Durchmischung von Mantel und Kern verläuft. Die Geschwindigkeiten von P-Wellen sinken, S-Wellen verlangsamen sich auf 0 km/h und stoßen nicht weiter durch.

Die Dichteänderung ist sogar größer als von Atmosphäre in die Lithosphäre!!!

- Erwärmung der ersten Mantelschichten durch Wärmeabgabe bis zu 1000 Grad.
- Diese Erhitzung führt zum partiellen Aufschmelzen direkt an der Grenze und ggf. zur Initialzündung für die Hot Spots.

In der untern, 300 km dicken Schicht des Mantels könnte es auch zu **Antikontinenten** kommen, die auf der Kern-Mantelgrenze umherdriften, aus z. B. eisenreichen Materialien.

Erdkern

- Besteht aus Eisen und Nickel
- 1/3 der gesamten Erdmasse liegt dort, Elemente im Kosmos häufig
- stützen die gravitative Differentiation
- Meteoriten, die auf der Erde einschlugen, sind die Überreste eines Planeten, der im Kern ebenfalls Eisen und Nickel hatte, sie bestehen häufig daraus
- Äußere Kern flüssig, innere fest
- Innerer Kern bewegt sich schneller, als der Rest der Erde, er verhält sich wie ein **Planet im Planet**
- Dichte des Kerns wurde bis jetzt etwas zu hoch angesetzt, es muss also noch ein kleiner Teil anderer Substanzen im Kern sein. Die Frage welche, ist Gegenstand aktueller Forschungen. Man tendiert zu O₂ und Silicium.

10) Beschreiben Sie die Temperaturverläufe im Erdinneren!

Konvektionsbewegungen im Erdmantel (als Antrieb der Plattentektonik) und des äußeren Kerns (als Antrieb des Geodynamos), sind Ausdruck hoher Temperaturen in der Erde.

Wärme entstand durch:

- den Aufprall von Kometen
- gravitative Differenziation und Reibungswärme
- Zerfall radioaktiver Elemente, dadurch entsteht noch immer Wärme
- Seit dem Beginn der Erde, kühlt sie sich bis heute jedoch ab. Irgendwann wird dadurch die Plattentektonik zum Erliegen kommen!

Wärmtransport aus dem Erdinneren durch:

- durch Wärmeleitung in der Lithosphäre
- Konvektionsströme im Mantel

Wärmeleitung in der Lithosphäre

- Wärme wird von Zonen großer Wärme in kalte Bereiche durch mechanische Kollision der Atome übertragen. - -
- Wärme ist Ausdruck der Bewegung der Atome.
- Gesteine und Böden sind dabei sehr schlechte Wärmeleiter (unterirdische Leitungen daher selten von Frost

oder Hitze beeinflusst, was man sich in tiefen Weinkellern ausnutzt)
- Metalle sind gute Wärmeleiter

Die Ableitung von Wärme durch die obere Schicht der Lithosphäre sorgt für eine allmähliche **Abkühlung**. Dadurch wird sich ihre Dichte weiter zunehmen und bedingt durch die **Isostasie** wird die Oberfläche der L. weiter absinken. So gesehen ragen die die Mittelozeanischen Rücken nur deshalb so weit nach oben, da ihre Lithosphäre dort noch jung, dünn und heiß ist, wohingegen die Tiefseeebenen wesentlich tiefer liegen, weil die L. dort alt und kalt ist.

Nur durch reine Wärmeleitung hätte sich die Erde nicht so stark abgekühlt, daher gibt es noch einen wichtigeren Prozess: Konvektion im Erdmantel und Erdkern:

- Viskosität: Widerstand gegen bleibende Verformung (Maß der Zähflüssigkeit von Fluiden)

- Der eisenreiche äußere Kern hat eine geringe Viskosität, dh. hier sind **kräftige Konvektionsströme** zu Gange, welche auch für das **Magnetfeld der Erde** verantwortlich sind.

- An der Kern/ Mantel- Grenze, wird die Wärme in den Mantel abgegeben.

- Im Mantel gibt es langsamere Konvektionsbewegungen in eher starren Gesteinen. Die sind jedoch heiß genug, um sich zu bewegen.

- Der Prozess Sea-Floor-Spreading, die seitliche Bewegung und Abkühlung **und** die Subduktion in den Mantel ist im Grunde eine gigantische konvektive Bewegung.

- Unstrittig ist noch, ob die Konvektionsbewegungen nur im oberen Mantel bis wenige 100 km Tiefe ablaufen, oder den gesamten Mantel betreffen, generell gilt letzteres.

Temperaturverteilung im Erdinneren

In der Erdkruste wird es mit jedem Kilometer um 20 bis 30 Grad heißer. Bis zur Basis der Lithosphäre erreichen wir Temperaturen zwischen **1300 und 1400 Grad**. Nachdem der geothermische Gradient im Mantel deutlich geringer ist, ist ein Sprung an der M-K Grenze dadurch zu erklären, dass es hier zu keiner Durchmischung kommt. Der Erdmittelpunkt misst ca.4800 Grad. Andere gehen davon aus, dass die Temperatur hier bei 6000 oder 8000 Grad liegt.

11) Beschreiben Sie das System Geodynamo!

Vom Prinzip her besteht ein Gravimeter aus einer Masse, die an einem ausgeklügelten Federsystem befestigt ist, das sich in Abhängigkeit von der auf das Gewicht einwirkenden Schwerkraft dehnt oder zusammenzieht. Die Ausdehnung lässt sich messen oder durch Änderungen elektrischer Spannungen der Feder von einem Voltmeter ermitteln. Es lassen sich heute schon Schwereänderungen von G in 1 Meterabständen ermitteln.

Das Magnetfeld der Erde und Geodynamo: Durch Konvektionsströme im äußeren Kern lässt sich das Magnetfeld der Erde herleiten.

Dipolfeld: Der Verlauf der magnetischen Kraftlinien des Erdmagnetfeldes gleicht dem Verlauf der Kraftlinien, die von einem magnetischen Dipol ausgehen, als läge ein um 11 Grad geneigter Stabmagnet vom Nord- zum Südpol.

Die Komplexität des Magnetfeldes: Das von dem Geodynamo erzeugte Magnetfeld ist aber wesentlich komplizierter aufgebaut als das eines einfachen Dipols und es ist – als Folge der Flüssigkeitsbewegungen im äußeren Erdkern- ständigen Schwankungen unterworfen.

Deklination: Winkel zw. Magnetisch Nord und Geographisch Nord, ändert sich um 5 bis 10 Grad / 100 Jahre.

Nicht Dipol-Feld: 10 % sind ein Nicht-Dipolfeld im Erdinneren – je näher man der Kern-Mantelgrenze kommt. Innerhalb des Kerns sind die Feldlinien völlig verwickelt und verstrickt.

Säkularvariationen: Sind Variationen des Magnetfeldes. Sie sind beim nicht – Dipol sehr rascher und laufen innerhalb von Jahrzehnten ab. Dh. dass die Bewegung im äußeren Kern im mm-Bereich / s. ablaufen müssen.

Umkehr des Magnetfeldes: Kehrt sich aus natürlichen Gründen „spontan“ um

Paläomagnetismus: Zum Beispiel wichtig für die Plattentektonik, Datierungsmethoden

Thermoremanente Magnetisierung: Viele Stoffe magnetisieren sich beim Abkühlen unter 500 Grad beim Curie-Punkt. Das „eingefrorene magnetische Signal in Steinen, wird Thermoremanenter Magnetismus genannt.

Sedimentations- bzw. Detritus Remanenz: Ausrichtung von Sedimentgesteinen, die magnetisierbare Minerale wie Magnetit enthalten, nach dem Magnetfeld.

Magnetostratigraphie: Basiert auf Schichten unterschiedlicher Magnetisierung

- Subchrone: 500.000 Jahre
- Chrono: einige Tausend bis Millionen Jahre
- Aktuell: Brunhes (normale Polung), davor: Matuyama, Gauss, Gilbert,... – Chrono. Die Grenze zw. Matuyama und Gauss vor 2,6 Millionen Jahren, wird für den Beginn des Quartärs herangezogen.
- Innerhalb des inversen Matuyama Chrons, gab es 2 Subchrone: Jaramillo und Olduvai.

Magnetfeld und Biosphäre:

- Orientierung durch magnetisierte Kristalle bei Tieren
- wichtig für Biodiversität
- ohne Magnetfeld- starke Sonnenstürme, hohe Strahlung. Leben kaum möglich
- Mars: Geodynamo versiegte, und die Atmosphäre verschwand zum großen Teil