

Fragenkatalog

## Diplomprüfung Geophysik

*mit den Prüfungsfächern  
Geophysik, Geologie, Meteorologie, Experimentalphysik*

aus den Prüfungsprotokollen der Geophysik an der LMU München

Datum: 22.06.2005

von Michael Wack und Christoph Moder  
(© 2005)

<http://www.skriptweb.de>

*Hinweise (z.B. auf Fehler) bitte per eMail an uns: [mail@skriptweb.de](mailto:mail@skriptweb.de) – Vielen Dank.*

## Inhaltsverzeichnis

Geophysik.....	3
1 Magnetik.....	3
2 Gravimetrie.....	5
3 Seismologie.....	6
4 Seismik.....	9
5 Gesteine.....	11
6 Geoelektrik.....	11
7 Geothermik.....	13
8 Regionale Geologie.....	14
9 Geodynamik.....	14
10 Sonstiges.....	15
Geologie.....	19
11 Geodynamik.....	19
12 Vulkanismus.....	22
13 Gestein.....	22
14 Metamorphose.....	24
15 Atmosphäre und Klima.....	24
16 Sonstiges.....	25
Meteorologie.....	28
17 Druck.....	28
18 Temperatur und Wärme.....	28
19 Wind.....	30
20 Wolken und Feuchte.....	30
21 Niederschlagsbildung.....	32
22 Klima.....	33
23 Obere Atmosphäre.....	33
24 Strahlung.....	34
25 Thermodynamik.....	35
26 Sonstiges.....	36
Experimentalphysik.....	37
27 Atomphysik.....	37
28 Radioaktivität.....	37
29 Kerne und Teilchen.....	38
30 Festkörperphysik.....	40
31 Geophysik.....	40

# Geophysik

## 1 Magnetik

### 1.1 Geomagnetisches Koordinatensystem

### 1.2 Aeromagnetikkarte

#### 1.2.1 Interpretation (Flughöhe)

#### 1.2.2 Datenerfassung, Messgeräte

### 1.3 Wie sieht die Anomalie eines bestimmten Störkörpers aus? Wie wenn $\vec{M}$ größer? Wie wenn Störkörper tiefer?

- *nebeneinander eine positive und eine negative Anomalie*
- *der Abstand der Anomalien hängt von der geographischen Breite ab*
- *die Halbwertsbreiten der Anomalien geben Auskunft über die Tiefe*
- *größeres Magnetfeld => große Amplitude der Anomalien*

#### 1.3.1 Abhängigkeit von r bei Kugel und bei Zylinder?

#### 1.3.2 Unterschiede zur Gravimetrie?

- *es gibt keine magnetischen Monopole und keine gravitativen Dipole*
- *die Anomalie eines magnetischen Störkörpers sieht wie die Ableitung der Anomalie eines gravitativen Störkörpers aus*

### 1.4 Was ist Reduktion auf den Pol?

- *Annahme induzierte Magnetisierung -> Umrechnung in Anomalie über dem Pol -> Anomalie direkt über Störkörper*

### 1.5 Wovon hängt die Ausbreitung von EM Wellen ab?

- $\epsilon, \mu$

### 1.6 Werden Feldlinien gebrochen?

- *Ja Brechungsgesetz:*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\mu_2}{\mu_1} ?$$

### 1.7 Curie-Tiefe auf Kontinenten und Ozeanen

### 1.8 Geothermische Tiefenstufe in Ozeanböden

### 1.9 Curie Gesetz

- $\chi = C/T$ , die Suszeptibilität ist umgekehrt proportional zur Temperatur

### 1.10 Erdmagnetfeld

#### 1.10.1 Gestalt

- *Dipolfeld*
- *Säkularvariationen = zeitliche Änderungen des Erdmagnetfelds*

#### 1.10.2 Krustenfeld

- $\tan(I) = 2 \cdot \tan(\varphi)$ , außerdem Anomalien
- *Anomalien gibt es nur in der Kruste, weil im Erdinneren die Temperaturen über der Curie-Temperatur liegen*

#### 1.10.3 Feld im Abstand 10 Erdradien

- *Dipolcharakter dominiert*

#### 1.10.4 Gibt es magnetische Quellen im Mantel?

- *nein, da wegen der Curie-Temperatur die Gesteine dort keine Remanenzen tragen*

#### 1.10.5 Schockfront

#### 1.10.6 Van Allen-Gürtel

- *2 Gürtel, Ionengürtel (innen) und Elektronengürtel (außen)*
- *in diesen Gürteln sind geladene Teilchen im Erdmagnetfeld gefangen und bewegen sich entlang der Feldlinien*

#### 1.10.7 Kugelfunktionsentwicklung des Erdmagnetfeldes

##### 1.10.7.1 Dipolterm, Nichtdipolanteile (zeitliche Stabilität?)

- 1.10.7.1.1 Woher kommen die Nichtdipolanteile?
  - Kern-Mantel-Grenze
  - Zusammenhang zwischen Anomalie und Quellentiefe
- 1.10.7.2 Durch welchen Term werden die Krustenanomalien beschrieben?
- 1.10.7.3 Bestimmung der Koeffizienten
  - Satelliten (*Problem: Ionosphäre auf der Tagseite: Ströme erzeugen Störfelder*)
    - 1.10.7.3.1 Wie hoch fliegen solche Satelliten?
    - 1.10.7.3.2 Warum nicht geostationäre Bahn?
      - So kann man mit einem Satelliten viele Punkte messen
- 1.11 Funktionsweise Messgeräte
  - 1.11.1 Protonenmagnetometer
    - 1.11.1.1 Charakteristische Frequenz im Erdmagnetfeld (0.5 Oe)?
      - kHz-Bereich
  - 1.11.2 Förstersonde
  - 1.11.3 Vor- und Nachteile?
- 1.12 Curie-Temperatur? Physikalische Erklärung?
  - thermische Bewegung zerstört die Ausrichtung der magnetischen Partikel
- 1.13 Sättigungsmagnetisierung?
- 1.14 Blockungstemperatur?
  - superparamagnetische Partikel: remanente Magnetisierung nur möglich, wenn Temperatur unter der Blockungstemperatur liegt
- 1.15 TRM, VRM, DRM, NRM, CRM, PRM, IRM, Paläointensitäten?
  - TRM = thermische remanente Magnetisierung
  - DRM = detritische remanente Magnetisierung
  - VRM = viskose remanente Magnetisierung
  - CRM = chemische remanente Magnetisierung
  - PRM = piezo-remanente Magnetisierung
  - IRM = isothermale remanente Magnetisierung (z.B. Blitzschlag)
  - NRM = natürliche remanente Magnetisierung, Summe der vorigen Magnetisierungen
- 1.16 Wie hat sich das Paläofeld im Laufe der Erdgeschichte verändert?
- 1.17 Zeit konstanter Paläointensität?
- 1.18 Was sind relative Paläointensitäten?
- 1.19 Iapetus: Nachweis Paläomagnetik, woher Informationen über Ozeanbreite, Werte der Inklination?
  - Die paläomagnetischen Untersuchungen ergaben, dass die Pole im Verlauf der Erdgeschichte gewandert sind. Da gleichaltrige Gesteine aus den verschiedenen Kontinenten jeweils einen kontinenteigenen, systematisch voneinander abweichenden Verlauf der Polwanderung ergaben, wird daraus gefolgert, dass sich Kontinente relativ zueinander bewegt haben.
  - Alter durch Leitfossilien und geologische Abfolge.
  - $\tan(\text{Inklination}) = 2 \tan(\text{Geographischen Breite})$
- 1.20 Arten von Magnetismus, Suszeptibilität, Hopkinson-Peak?
- 1.21 Feldtheorie
  - 1.21.1 Magnetisches Potential eines Dipols
    - 1.21.1.1 Herleitungen
  - 1.21.2 Divergenz
  - 1.21.3 Quadrupole
  - 1.21.4  $\text{div}(\mathbf{B})=0$ , Lösung dieser Diffgleichung
  - 1.21.5 Laplace Gleichung
    - Potenzial  $U$ , Vektorfeld  $\vec{v} = \vec{\nabla} U$
    - keine Quellen  $\Rightarrow \text{div } \vec{v} = 0 \Rightarrow \Delta U = 0$
- 1.22 Magnetische Minerale in Basalt

- *TiM*
- 1.22.1 ternäres System  $TiO_2$ ,  $FeO$ ,  $Fe_2O_3$
- 1.22.2 Bevorzugte Zusammensetzung des TiM im Basalt
- 1.22.3 Magnetische Eigenschaften
- 1.22.4 Änderung der Curietemperatur und Sättigungsmagnetisierung von Ulvöspinell zum Magnetit
- 1.22.5 Änderung der Curietemperatur und Sättigungsmagnetisierung von Ilmenit bis Hämatit (Mischreihe)
- 1.23 Magnetische Minerale in Serpentin
  - 1.23.1 Metamorphosegrad
    - *Grünschieferfazies (niedriger Druck, niedrige Temperatur)*
  - 1.23.2 Wie kann man im Versuch zwischen Magnetit und Hämatit unterscheiden?
    - *Hysterese*
    - *IRM*
    - *Magnetit =  $Fe_3O_4$  = antiferromagnetisch, Hämatit =  $Fe_2O_3$  = ferrimagnetisch*
- 1.24 Schwefelkies
- 1.25 Magnetit
- 1.26 Maghemitisierung
- 1.27 Magnetische Anomalien
  - 1.27.1 Ursachen, Messungen
  - 1.27.2 Ozeanböden
    - *Streifenmuster*
- 1.28 Ternäres System  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$  mit Mischreihen, Magnetisierung mit Formeln, Sättigungsmagnetisierung und Curietemperaturen?
- 1.29 Mischreihen
  - 1.29.1 Änderung der magnetischen Eigenschaften
  - 1.29.2 Sättigungsmagnetisierung
- 1.30 Welche Arten der remanenten Magnetisierung gibt es?
  - 1.30.1 Wie trennt man diese?
- 1.31 Was passiert bei einer Feldumkehr?
  - *Dynamotheorie*
  - *Feld wird schwächer, Multipol-Charakter wächst, Dipol-Charakter entsteht an anderer Stelle neu, Feld wird wieder stärker*
- 1.32 Wie heißen die magnetischen Epochen?
  - *Bruhnes, Gauß, Gilbert ...*

## 2 Gravimetrie

- 2.1 Potential der Erde
  - *Internationale Schwereformel*
- 2.2 Bouguer Isolinienplan
  - 2.2.1 Interpretation (Tiefenlage des Störkörpers aus Halbwertsbreite)
    - *Punktmasse: Tiefe = 2/3 der Halbwertsbreite*
    - *Massenlinie (2D): Tiefe = 1/2 der Halbwertsbreite*
  - 2.2.2 Welches Referenzfeld?
    - *Internationale Schwereformel (inkl. Korrekturen)*
- 2.3 Zusammenhang zwischen Isostasie und Schwereanomalien
- 2.4 Korrekturen bei Gravimetrie
  - *Gang der Messgeräte und Gezeiten*
  - *geographische Breite, nach der internationalen Schwereformel*
  - *Topographie: Berge und Täler herausrechnen (sowohl Berge als auch Täler vermindern den Schwerewert; bei einem Tal befindet sich auf beiden Seiten oberhalb Masse, die*

- *das Erdfeld kompensiert; bei einem Berg fehlt auf beiden Seiten darunter Masse;*
- *Höhe => jetzt hat man Freiluftanomalie*
- *Plattenkorrektur, d.h. auf einheitliches Bezugs-Höheniveau (man rechnet Masseplatten heraus) => jetzt hat man Bouguer-Anomalie*
- *Regionalfeld: z.B. Gebirge in der Nähe rauskorrigieren*

## 2.5 Kugelfunktionsentwicklung des Schwerefeldes

### 2.5.1 Bestimmung der Koeffizienten

- *Satelliten*
- *Cavendish-Waage!*

## 2.6 Werden Feldlinien des Schwerefeldes gebrochen?

- *Nein!*

## 2.7 Schwerefeld im Erdinneren, Tiefenverteilung, was wäre bei homogener Erde?

## 2.8 Wie sieht das Feld im Außenraum aus? Würde ein anderer Tiefengradient etwas am Außenfeld ändern?

- *Nein*

## 2.9 Schwereanomalie über Subduktionszone? Wie sieht sie aus?

- *Schwereanomalie ist stets die z-Komponente des Gravitationsfeldes der Störmasse*
- *Massenüberschuss im Untergrund bewirkt eine positive Schwereanomalie und eine Anhebung des Geoids.*

## 2.10 Schwereanomalie der Alpen

- *negativ -> Isostasie*

### 2.10.1 Rolle des abschmelzenden Eises bei der Hebung der Alpen

- *Schneegrenze durchschnittlich bei 2800 m; Volumenabnahme = Ablation → geringe Rolle, da Plattenrandtektonik der dominierende Effekt ist.*

## 2.11 Mittelozeanische Rücken: Bouguer Anomalie

### 2.11.1 Wie sieht diese im Bereich von Orogenen aus? Wie im Ozean?

### 2.11.2 Welche Reduktionen fallen weg?

### 2.11.3 Freiluftanomalie → isostatische Korrektur

## 2.12 Wie groß ist die Fliehkraft am Äquator

- *0,3% der Normalschwere*

### 2.12.1 Ursache für Plattenbewegung?

## 2.13 Probleme bei der Aerogravimetrie

### 2.13.1 Eötvös-Effekt

- *Wenn man das Gravimeter auf der Erdoberfläche bewegt, entspricht das einer Bewegung auf einem Kreisbogen, d.h. Fliehkraft tritt auf; der Fehler ist maximal bei Bewegung auf dem Äquator, weil bei Bewegung auf einem Großkreis die Fliehkraft antiparallel zur Schwerkraft ist, außerdem addiert sich dort die Bewegungsgeschwindigkeit zur Erdrotation.*

## 3 Seismologie

### 3.1 Wellengleichung

#### 3.1.1 allgemein

#### 3.1.2 Dämpfungsterm (wovon abhängig)?

- $\rho, \mu$  (Dichte, Permeabilität)

#### 3.1.2.1 Wo werden seismische Wellen in der Erde besonders gedämpft?

#### 3.1.3 Größenordnung von $\rho, \mu$ in Gesteinen, Luft, Zusammenhang mit der Suszeptibilität

- $k + 1 = \mu$

#### 3.1.4 Lösung der Wellengleichung

#### 3.1.5 $v_p, v_s$

$$\bullet \quad v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}G}{\rho}}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

→ Kompressionsmodul von Wasser und Luft ausrechnen

3.1.6 Können  $v_{SH}$ ,  $v_{SV}$  unterschiedlich sein?

- Ja → Anisotropie → Peridotite, Doppelbrechung in Calcit

3.2 Poisson'sche Zahl

3.3 Dilatanz (als Methode der Erdbebenvorhersage)

3.4 Fermatsche Prinzip, Snelliussche Brechungsgesetz

3.5 Was gibt es für Oberflächenwellen?

- Rayleigh
- Love

3.5.1 Umwandlung zwischen den beiden möglich?

- nein

3.5.2 Wodurch entstehen sie?

3.5.3 Geschwindigkeitsdispersion

- an einer Grenzfläche oder mit Geschwindigkeitsgradient kommt es zu Dispersion; große Wellenlängen reichen in größere Tiefen und „sehen“ dort höhere seismische Geschwindigkeiten

3.5.4 Wozu kann man sie verwenden?

- Tiefensondierung durch Ausnutzung der Dispersion

3.6 Wozu kann man den seismischen Parameter  $\Phi$  benutzen?

3.7 Strahlenverlauf

3.7.1 Was bedeutet PKIKP, PS, PP, PcP?

3.7.2 Was sind Wechselwellen? Wann kommen sie vor?

- P-S-Konversion etc.

3.7.2.1 Kann beim Auftreffen auf eine ebene Grenzfläche aus einer P-Welle eine SH-Welle werden?

- Nein; aus einer P-Welle kann nur eine SH-Welle werden; bei Anisotropie kann es jedoch zu einer Drehung der Polarisation kommen

3.7.3 Schattenzone

3.8 Erdbebenverteilung – Wo, wie, warum?

3.9 Epizentrum – Hypozentrum

- Epizentrum an der Oberfläche senkrecht über Hypozentrum

3.10 Bestimmung des Hypozentrums

3.10.1 Herdflächenlösung

3.10.2 Welche Beach-Balls gibt es? Wofür stehen sie?

3.10.2.1 Wo kommt in Mitteleuropa dieser Beach-Ball vor: 

- Grabenstrukturen: Rheintalgraben

3.10.3 Tsunamis? Welche Herdflächenlösung? Wie schnell sind Tsunamiwellen?

3.11 Double-Couple, Scherbruchmodell?

3.12 Maximale Scherspannungen?

3.13 Eingabeparameter?

3.14 Magnituden, Intensitäten, Bestimmung

- Richter usw.

3.15 Seismisches Moment. Wie definiert?

- Einheit eines Drehmoments

3.16 Frequenzgehalt eines Erdbebens

3.17 Unterscheidung Kernsprengung und Erdbeben?

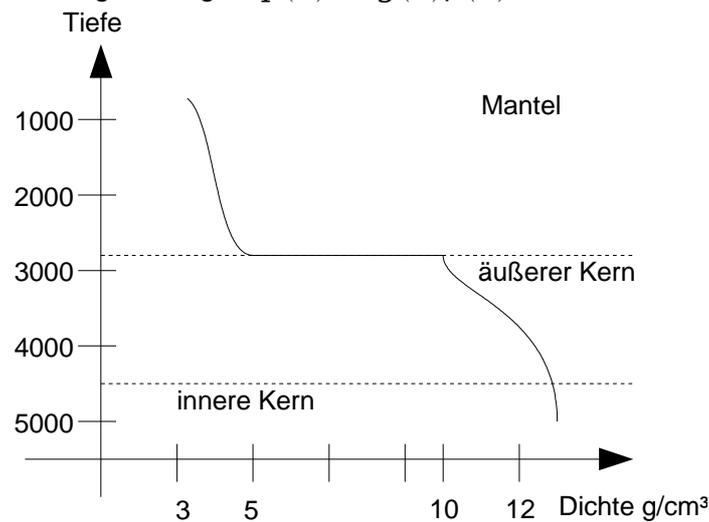
- *p*-Wellen Einsatz immer Kompression
- *p/s* Amplitudenverhältnis bei Beben klein, bei Sprengung groß
- $M_L(\text{Beben})/M_L(\text{Sprengung})$  groß
- *Herd*tiefe und *Herd*gebiet (bekannte Kernsprengungsgebiete: Nevada, Nowaja Semlja, Semipalatinsk, Mururoa, Fangataufa, Lop Nor)

### 3.18 Masse und Dichte der Erde

- $M = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
- $\bar{\rho} = 5,52 \text{ g/cm}^3$

### 3.19 Dichteverlauf in der Erde

- Koeffizienten in der Entwicklung des Schwerefeldes im Außenraum sind alles Funktionen des Dichteverlaufs im Erdinneren.
- Inversion der Gravitationsfelder ist vieldeutig  $\rightarrow$  man hilft sich mit seismischen Geschwindigkeiten
- Trägheitsmoment ist kleiner als für ugel homogener Dichte  $\rightarrow$  Dichtezunahme nach innen
- Dichteänderung durch Auflastdruck, Temperatur, Stoffzusammensetzung
- Dichte im obersten Erdmantel:  $\rho_0 = 3,3 \text{ g/cm}^3$  (600°C, 1GPa)
- Kern-Mantel-Grenze: Dichtesprung
- statische Grundgleichung:  $dp(r) = -g(r)\rho(r)dr$



#### 3.19.1 Wie kommt man darauf?

- *Seismologie (hauptsächlich)*  
Es ist unmöglich aus  $v_s$  und  $v_p$ ,  $K$ ,  $\rho$  und  $G$  einzeln zu berechnen. Man braucht zusätzliche Größen wie die mittlere Dichte:  $5,52 \text{ g/cm}^3$ .
- *Gravimetrie*
- *Geothermik*
- *Eigenschwingungen der Erde*
- *Erdezeiten*
- *Erdmagnetismus*
- *Trägheitsmoment*  $m r^2$  : Erde  $\leftrightarrow$  Kugel
- *Nutation*

#### 3.19.2 Wie bestimmt man das Trägheitsmoment?

### 3.20 Geschwindigkeits-Tiefenverlauf in der Erdkruste / gesamte Erde?

### 3.21 Welche Magnitude hat ein Erdbeben, das von einem 100 kg schweren Klotz, der aus 10m Höhe fällt verursacht wird?

- -2/3

### 3.22 Wieviel Energie steckt in einem Beben mit $M=8.5$ ?

- $\log_{10} E = 12 + M \cdot 1.5 [\text{erg}] = 4,8 + 1,5 \cdot M [\text{J}]$
  - *Unterschied von 2 Magnituden = 1000-fache Energie*
- 3.23 Was ist seismische Tomographie?
- 3.23.1 Anisotropie? Woher?
- 3.23.2 Wo gibt es in der Erde viel Anisotropie?
- *Gebirge: Stress, Dehnung der Gesteine => gestreckte Kristalle, in eine Richtung müssen weniger Korngrenzen überwunden werden => schnellere Geschwindigkeit*
- 3.24 Einfluss von Mikrorissen auf  $v_p$  und  $v_s$ ?
- *Klüfte enthalten Stoffe mit langsameren seismischen Geschwindigkeiten*
- 3.25 Entstehung von Geschwindigkeitsmodellen?
- 3.26 Subduktionszonen. Wo liegt die Seismizität?
- *Hauptsächlich in den ersten 300km, umso tiefer, je weiter von der Küste entfernt*
  - *Wadati-Benioff-Zone*
- 3.27 Welche Diskontinuitäten gibt es in der Erde?
- *v.a.: Conrad-Diskontinuität, Moho, 440 km, 670 km, Kern-Mantel-Grenze*
- 3.27.1 Was ändert sich? Wie misst man das?
- 3.28 Wie bestimmt man Viskosität der Erde?
- *Eigenschwingungen*
  - *isostatische Hebung*
  - *Clairant-Theorem (Abplattung)*
- 3.29 Eigenschwingungen der Erde
- 3.29.1 Anregungsmöglichkeiten
- *schwere Erdbeben: Chile 1960, Sumatra 2004*
  - *Atombombe*
  - *großer Meteorit*
- 3.29.2 verschiedene Moden, Periodendauer
- *Erdbeben: toroidal (abhängig von Herdmechanismus)*
  - *Atomspaltungen, Meteoriteneinschlag: sphäroidal*

## 4 Seismik

- 4.1 Welche Wellen breiten sich im Wasser aus?
- *Longitudinalwellen*
- 4.2 Hydrophon erklären
- *zwei entgegengesetzt angeordnete Druckaufnehmer (= Membranen) => Anordnung kompensiert Strömung (da diese auf beiden Druckaufnehmern entgegengesetzte Signale produziert, die sich aufheben)*
- 4.3 Seismische Geschwindigkeiten im Wasser
- $v_p = 1480 \text{ m/s}$ ,  $v_s = 0$
- 4.4 Ursachen für Bodenunruhe, welcher Periodenbereich?
- 4.5 Untersuchung seismischer Signale, was wird gemacht?
- 4.5.1 Wie sehen ungefilterte Daten aus? Unterschied Erdbeben - Sprengung
- 4.6 Seismometertheorie
- 4.6.1 Seismographengleichung: Welche Kräfte treten auf?
- 4.6.2 Wie wird ein Seismometer optimiert? Was würde bei einem ungedämpften bzw. stark gedämpften System passieren?
- 4.6.3 Wie wird ein Seismometer gedämpft? Woher weiß man, wann es optimal gedämpft ist? Wie stellt man die optimale Dämpfung ein?
- *Schütteltisch*
- 4.7 Einfluss des Untergrundes?
- 4.8 Wie stellt man Grundwasserhorizont fest?
- *Georadar: extrem hohe Frequenzen → niedrige Eindringtiefe, aber viel Information*
- 4.9 Definition der Moho?

- 2 Definitionen: seismisch und petrologisch
  - 1909 entdeckt
  - Grenze zwischen Kruste und Mantel
  - zwischen 10 und 70km tief (Mitteleuropa 30 km (Paläozoikum), Kanada, Afrika, Australien (präkambrischer Schild) 40-45 km; Alpen, Kaukasus, Himalaya (tertiäre-quartäre Kollisionszonen) 50-70 km)
  - p-Wellen Geschwindigkeit steigt von 6,8-7,3 auf 7,9-8,2 km/s an
- 4.10 p- und s-Wellengeschwindigkeiten im Erdinneren
- $v_s$  im inneren Kern nur durch indirekte Abschätzungen; Entdeckung 1936 durch Lehmann durch PKIKP-Wellen
  - $D''$ : steiler Geschwindigkeitsanstieg von 2,5-3%; 250-265 km über KMG (2890km), s-Wellensplitting in  $v_{SH}$ ,  $v_{SV}$ , tritt nicht global auf. Thermische Grenzschicht, chem. Heterogenitäten, Phasenumwandlungen
- 4.11 Aufteilung der Bebenarten nach der Lage an den Plattengrenzen
- Lokalbeben ( $< 10^\circ$ ), Kruste, p-, s-Wellen
  - Regionalbeben ( $10^\circ$ - $103^\circ$ ), Mantel
  - Teleseismische Beben ( $103^\circ$ - $140^\circ$ ), keine direkte p-Phase, Schattenzone
  - Die meisten Erdbebenherde (2/3) liegen innerhalb der Erdkruste bis 40km, teilweise bis 60km Tiefe. Sie werden als normal tiefe Beben bezeichnet.
  - Tiefe ( $>300$ km) und mitteltiefe (60-300km, z.B. Ägäis, Tyrrhenisches Meer, Karpaten) Beben sind an Subduktionszonen gebunden (Benioffzonen), Abtauchen der Hypozentren. Tiefbeben werden bis 720km Tiefe geortet
- 4.12 Wellengleichung für Kugelwellen
- $1/r$
- 4.13 Dämpfung einer Welle durch Absorption
- Wellengleichung mit e-Funktion erweitern
- 4.13.1 Durch was wird die Dämpfung in Gesteinen beeinflusst?
- Porenraum und Porenflüssigkeit, Streuprozesse
- 4.13.2 Gütefaktor Q, Größenordnung
- 4.14 Reflexionskoeffizient
- 4.15 Was ist ein Wadati-Diagramm?
- Diagramm, in dem die Zeitdifferenz zwischen P- und S-Ersteinsätzen über die Zeit des P-Einsatzes eingezeichnet wird; es ergibt sich eine Gerade, deren extrapolierte Nullstelle die Herzzeit angibt.
- 4.16 Refraktionsseismik
- 4.16.1 Formel für Interceptzeiten
- 4.16.2 geneigter Reflektor
- 4.17 Was gibt es für Laufzeitkurven?
- reduzierte LZK: die Scheingeschwindigkeit wird von allen Spuren abgezogen
- 4.17.1 Warum?
- Paßt mehr auf Papier
- 4.18 Warum fehlt manchmal ein Stück?
- Low-Velocity-Zonen
- 4.18.1 Woher kommen Low-Velocity-Zonen in der Erdkruste?
- aufgeschmolzene Bereiche (Intrusionen, Plumes)
  - an Reibungs- und/oder Spannungszonen
- 4.18.1.1 für Aufschmelzung notwendige Temperatur?
- 4.19 Was ist CMP?
- common midpoint: Reflektor ist in der Mitte zwischen Quelle und Empfänger
- 4.19.1 Statische und dynamische Korekturen?
- 4.20 Reflexionsseismik
- 4.20.1  $x^2 - t^2$  - Verfahren
- 4.20.2  $v_{RMST}$

4.20.3 Was ist Stapelgeschwindigkeit?

4.20.4 Anisotropie – warum kann  $v_{RMS}$  ungleich  $v$  aus Ersteinsatz sein?

4.21 Herdlokalisierung

4.21.1 Sehnenverfahren + Herdtiefe

- *Abschätzung der Entfernung über  $t_p - t_s$*

4.21.2 Wie macht man das bei Teleseismik?

- *Modellrechnungen, Arrays*

## 5 Gesteine

5.1 Wie bricht ein Gestein bei Druckbelastung?

- *45°-Hypothese: Bruchfläche verläuft im 45°-Winkel zur Richtung der Kraft*

5.2 Rheologisches Verhalten von Gesteinen → rheologische Körper

5.2.1 Hook'sches Gesetz

- *$F = -D \cdot \Delta l$  : die Federkraft ist proportional zur Auslenkung*

5.2.2 Welche Körper gibt es?

- *Hook'scher Körper, Newton'scher Körper, Maxwell'scher Körper, Kelvin'schen Körper, Saint-Venant-Körper, Bingham, Burger*

5.2.3 Differentialgleichungen der verschiedenen Körper

5.2.4 Deformationsverhalten eines Maxwell'schen Körpers

5.3 Finden Phasenumwandlungen spontan statt? Geologische Evidenz?

- *Ja, beim Überschreiten von kritischen Drücken oder Temperaturen kommt es zur Phasenumwandlung von Mineralien*
- *Atomordnung wird bestimmt durch die Bindungskräfte und Größe der Ionen. Bei verändertem Druck kann eine andere Anordnung energetisch günstiger sein. Dies bedingt veränderte Abstoßungskräfte und damit veränderte elastische Eigenschaften und so andere seismische Geschwindigkeiten.*
- *440km: (150kbar, 1300+-150°C) Olivin → Spinell*
- *670km: Spinell → Perowskit und Oxidphasen (MgO, FeO, SiO<sub>2</sub>)*
- *Gutenbergzone: Grenze Oberkruste-Unterkruste, unter Kontinenten tiefer, ausgeprägte Zone verringerter Geschwindigkeit 60-250km, stärker für s-Wellen als für p-Wellen (Schattenzone bei 20°)*

5.4 Möglichkeiten Spannungen zu messen?

- *Deformation eines Bohrlochs*

5.5 Entstehung von Graphit im Grundgebirge?

- *Prozess der Inkkohlung: Sumpfwald-Vegetation → Torf → (-H<sub>2</sub>O) Weichbraunkohle → (-H<sub>2</sub>O+p) Matt und Glanzbraunkohle → (+p+T-CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>) Steinkohle → (-CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>) Anthrazit (90% C) → Graphit*
- *Mit steigendem Inkkohlungsgrad steigt die Härte, der Glanz, der Brennwert und der Kohlenstoffgehalt*
- *Graphit entsteht außerhalb des Diagenese-Bereichs bei Maximal 300°C*
- *Hiltsche Regel: +100m Tiefe = -2% flüchtige Bestandteile*

5.6 Ursachen für Kohlenstoff im Erdinneren

- *Kernfusion in roten Riesen*
- *ab 8 Sonnenmassen ist Fusion zu schweren Elementen (bis Eisen) möglich, Temperaturen dabei ca. 1 Mrd °C*
- *$H \rightarrow (ab 10^7 K, Sonne) He \rightarrow +\alpha \rightarrow Be \rightarrow +\alpha \rightarrow C$*

5.7 Elastische Konstanten, wie hängen sie zusammen, wie sind sie definiert?

5.8 Bestimmung der Viskosität von Gesteinen (Labor & im Erdinneren)

5.9 Magnetische Eigenschaften von Olivin?

## 6 Geoelektrik

6.1 Typen der Leitfähigkeit?

- *elektrolytisch in der Kruste*
  - *Halbleiter im Mantel*
  - *metallisch im Kern*
- 6.1.1 Mit welchen Gleichungen kann man die Halbleitung beschreiben
- *Ohmsches Gesetz*
- 6.1.2 Abhängigkeit von der Temperatur?
- *Kalte Metalle leiten besser als warme (da bei Wärme die Atomrümpfe die Elektronenbewegung behindern)*
  - *Kalte Halbleiter leiten schlechter als warme (da bei Wärme mehr Elektronen im Leitungsband sind) => Zusammenhang analog zur Arrhenius-Gleichung*
  - *Ionenleitung weitestgehend temperaturunabhängig (Anzahl der gelösten Ionen ist temperaturunabhängig)*
- 6.2 Wie sieht eine Leitfähigkeitskurve bei Gestein z.B. Basalt aus?
- 6.3 Allgemeines Ohmsches Gesetz
- $\vec{j} = \vec{E} \cdot \sigma$
- 6.4 spezifischer Widerstand von Wasser
- *abhängig von Elektrolytgehalt, von der Art der Ionen, Mobilität*
- 6.4.1 Abhängigkeit der Mobilität von der Temperatur?
- 6.5 Signal- und Phasenverschiebung bei Vorhandensein eines Leiters → Induktionsgesetz
- 6.6 Wie kommt es zu einer Anisotropie der Leitfähigkeit in Gesteinen?
- *Porosität*
- 6.7 Elektrische Leitfähigkeit von Gesteinen?
- 6.7.1 partielle Schmelzen
- 6.7.2 Graphit (Entstehung?)
- 6.7.3 Elektrolyte
- 6.8 Wie kann man statische und induzierte elektrische Felder von einander unterscheiden?
- *durch ihr zeitliches Verhalten*
- 6.9 Feldtheorie
- 6.9.1 Elektrisches Feld
- 6.9.2 Elektrisches Potential, Abhängigkeit von r
- 6.9.3 Elektrischer Fluss
- 6.9.4 Gaußscher Satz
- $\int_S \vec{v} \cdot d\vec{S} = \int \int \int_V \text{div } \vec{V} \, dV$
- 6.9.5 Laplace-Gleichung
- $\text{div } \Phi = 0$  ( $\Phi$  : Strömungspotenzial)
- 6.9.6  $\text{div}(\mathbf{E}) = 0$
- 6.9.7 Maxwell'sche Gleichungen
- 6.9.8 Spiegelladungsmethode (Ladung unter der Erdoberfläche)
- 6.10 Mehrpunktverfahren
- *Wenner (gleiche Abstände der Elektroden)*
  - *Schlumberger (Abstand der Sonden klein gegen den Gesamtabstand)*
  - *Dipol-Dipol*
  - *4-Punkt-Verfahren*
- 6.10.1 Geometrieterme
- 6.10.2 Abhängigkeit der Tiefenaussage von der geometrischen Anordnung?
- 6.11 Eigenpotentiale (Was? Wie? Warum?)
- 6.11.1 Welcher Prozess liefert größtes Eigenpotential?
- 6.11.2 chemisches Eigenpotential
- 6.11.2.1 Wie entsteht es?
- 6.11.2.2 Wie misst man es?
- 6.11.2.3 Wie sieht die Anomalie aus? Größenordnung?

6.11.2.4 Was für Minerale sind wichtig?

- *Graphit, Eisensulfide (2 wertiges Eisen)*

6.11.2.5 Kann man etwas über Lage und Größe aussagen?

6.11.3 Nernst-Potential

$$\Delta U = -\frac{k_B T}{e} \ln \frac{c_1}{c_2} \quad (\text{Konzentrationen } c_1, c_2)$$

6.11.4 Diffusionspotential

6.11.5 gravim. Potentiale

6.12 Leitfähigkeitsverlauf in der Erde?

- *Halbleitung in Gestein: Die Leitfähigkeit steigt mit der Temperatur und damit mit der Tiefe.*
- *An der Oberfläche gibt es wassergefüllte Klüfte im Gestein.*
- *Erdmantel: Schmelze mit freien Ionen => auch Ionenleitung*
- *Kern: aus Metall => Elektronenleitung*

6.13 Eigenpotential von Lagerstätten (welche, wo am größten)?

6.14 Suszeptibilitätsmessungen (Wie verhält sich umgebendes Medium, was misst man bei verschiedenen Medien)?

6.15 Magnetotellurik

6.15.1 Skin Effekt

6.15.2 Was wird gemessen?

6.15.3 Messanordnung?

6.15.4 Ziel?

## 7 Geothermik

7.1 Wärmeflusses

7.1.1 Definition

- $\vec{q} = -\lambda \text{ grad } \theta$  (d.h. proportional zum örtlichen Temperaturgradient  $\text{grad } \theta$ )

7.1.2 Globaler Wert

- *1,5 HFU (1 HFU = 41,8 mW/m<sup>2</sup>)*

7.1.3 qz-Verlauf Profil MOR – Kontinent

- *Ozeanboden: großer Wärmefluss, da dünne Lithosphärenplatte; Kontinent: dick, geringer Wärmefluss*
- *je näher am MOR, desto höher der Wärmefluss, weil Kruste neu entstanden ist => noch nicht abgekühlt*

7.1.4 qz-Verlauf Profil Alpen – Variskisches Grundgebirge

- *Alpen: dicke Lithosphäre => geringer Wärmefluss*
- *variskisches Grundgebirge: Radionuklide => großer Wärmefluss*

7.1.5 Wie mißt man q (Labor und insitu)? Im Ozean?

7.2 Wo spielt Konvektion in der Kruste eine Rolle? Wie wird der Temperaturgradient durch Grundwasserzirkulation verändert?

- *Für die Erde spielt oberflächennah die Wärmeleitung die wesentliche Rolle. Allerdings kann es durch zirkulierende Wässer in der Kruste zu einem gewissen konvektiven Anteil kommen (z.B. Mittelozeanische Rücken).*
- *Gradient 20-30°C*
- *bei KTB höher als erwartet*

7.3 Zusammenhang zwischen Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit, spezifischer Wärme und Dichte? → aus Wärmeleitungsgleichung

$$\kappa = \frac{\lambda}{c \rho}$$

$\kappa$  : spezifische Wärme;  $c$  : Wärmekapazität;  $\rho$  : Dichte

7.4 Wärmeleitungsgleichung

$$\bullet \frac{d^2 Q}{dx dt} = -\lambda \cdot \frac{dT}{dx}$$

### 7.5 Temperaturbestimmung im Erdinneren

- *über dort vorkommende Gesteinsphasen; diese sind über seismische Geschwindigkeiten bestimmbar*

### 7.6 Warum gibt es keine Beule über MOR?

- *Seafloorspreading: das neu gebildete Krustenmaterial schiebt sich nach außen*

### 7.7 Wie kommt Konvektion zustande?

### 7.8 Rayleighzahl

- *< 2000 → keine Konvektion*

## 8 Regionale Geologie

### 8.1 Woher weiß man, dass sich das Kristallin des bay. Waldes gehoben hat?

- *dort findet man metamorphes Gestein, das in großer Tiefe entstanden ist*

### 8.2 Warum Überschiebung Moldanubikum auf Saxoturingikum

- *Verschiedene Theorien:*
- *Angliederung von Terranes*
- *Subduktion des Iapetus im Devon und Karbon, langandauernde Kollision*

## 9 Geodynamik

### 9.1 Plattentektonik

#### 9.1.1 Was passiert bei Kontinent-Kontinent-Kollision?

- *Gebirgsbildung*

#### 9.1.2 Subduktionszonen, ridge push, slab pull

##### 9.1.2.1 Ostpazifischer Rücken, Pazifik - Atlantik

#### 9.1.3 Kräfte für den Antrieb von Platten und deren Ursachen?

- *Konvektion → Seafloorspreading*  
*passives Mitschleppen durch Strömungen der unterliegenden Asthenosphäre (viskose Kopplung)*
- *slab pull / ridge push*
- *laterale Dichteunterschiede durch therm. Ausdehnung*
- *stoffliche Dichteunterschiede*

#### 9.1.4 Messung der Driftgeschwindigkeiten der Platten & Terrane

- *Quasare (über VLBI mit Radioteleskopen, z.B. Wettzell)*
- *Satelliten, GPS*
- *Paläomagnetik → Obergrenze für Driftgeschwindigkeiten*
- *durchschnittliche Wachstumsgeschwindigkeiten: Nordatlantik 2cm/a, Südatlantik 3cm/a, Indischer Ozean 6cm/a, Ostpazifische Schwelle 10-12cm/a*

### 9.2 Warum gibt es Transform-Faults?

- *Mittelozeanische Rücken werden zerschert durch transform faults*
- *Sie entstehen, wenn gegensinnige Bewegungen auftreten*
- *das Gestein reißt nicht auf der gesamten Länge des Rückens, sondern abschnittsweise*

#### 9.2.1 Abhängig von den unterschiedlichen Spreadingraten

#### 9.2.2 Wie tief gehen diese Brüche? Nat. Grenze?

- *400-600°C = 15km, da ab dort zu viskos*

##### 9.2.2.1 Warum Beben in 600-700 km Tiefe?

- *An Subduktionszonen (kalter Slab = spröde)*

### 9.3 Konvektion

#### 9.3.1 Woher kommt die Energie (welche Anteile haben die einzelnen Komponenten)?

- *radiogene Wärme (U, Th, K) v.a. in der Erdkruste (Anreicherung der Radionuklide)*
- *latente Wärme = Kristallisationswärme: äußerer Kern friert aus, innerer Kern wächst*

dadurch

- potentielle Energie (Absinken schwerer Materialien)
- Oxidation
- Reibung: Tektonik, Gezeitenreibung

#### 9.4 Wo gibt es Aufschmelzung in der Erde?

- Überall wo Konvektion Materie nach oben drückt → Plattenränder, Subduktionszonen, Hot Spots, Plutone
- Ozean – Ozean: basisch bis intermediäre Laven (Basalte, Andesite)
- Ozean – Kontinent: saure (aufgeschmolzene kontinentaler Kruste, subduzierter Platte oder Verunreinigung durch Sedimente) bis intermediäre Laven und Intrusivgesteine
- Kontinent – Kontinent → Magmenintrusionen

#### 9.5 Wie kann man Plumes feststellen?

- Plume (engl.) = Rauchfahne
- sehr tief im Mantel sitzend und über lange Zeit ortsfeste Magmenquelle → Hotspot
- Oberfläche: Vulkanismus (Hawaii), Geysire (Yellowstone)
- Topographie (Aufwölbung), Echolot (um unterseeische Aufwölbung zu sehen)
- Seismische Tomographie

## 10 Sonstiges

### 10.1 Fennoskandischer Schild

#### 10.1.1 Wie groß ist die Hebungsrage?

- Nach Eiszeit bis zu 1 cm pro Jahr (Epirogenese = Hebung ohne nennenswerte Deformation)

#### 10.1.2 Was passiert im Untergrund?

- Prinzip der Isostasie, Kruste schwimmt auf, da leichter als mit Eis
- Funktioniert, da Mantel über lange Zeiträume viskos
- Der isostatische Ausgleich erfolgt nicht lokal direkt unter der Auflast, sondern regional unter Mitwirkung der eingewölbten Lithosphärenplatte

### 10.2 Was ist die älteste geophysikalische Disziplin?

- Seismologie: Seismoskop des Zang-Heng in China
- Erdmagnetismus: Kompass in China seit ca. 2000 Jahren

### 10.3 Figur der Erde, Geoid?

- Gleichgewichtsfigur
- 1. Näherung: Nicht rotierende, flüssigkeitsähnliche Erde homogener Dichte → Gleichgewichtsfigur: Kugel → Abweichung 2 ‰ von wahrer Erdgestalt
- 2. Näherung (Huygens'sche Näherung): Rotierende, flüssigkeitsähnliche Erde homogener Dichte → Gleichgewichtsfigur: an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid; Abplattung:

$$f = \frac{a-c}{a} \approx \frac{1}{230}$$

- 3. Näherung: Rotierende, flüssigkeitsähnliche Erde mit Dichtezunahme nach der Tiefe, entsprechend der wahren Tiefendichteverteilung → Gleichgewichtsfigur: Rotationssphäroid → Abplattung nach dem Theorem von Clairaut:

$$f = \frac{a-c}{a} = \frac{5}{2} \frac{a \omega^2}{MG/a^2} - \frac{g_{\text{pol}} - g_{\text{Äqu}}}{g_{\text{Äqu}}} = 1 : 299,7$$

mit G als Gravitationskonstante.

- 4. Näherung: Das Referenzellipsoid (als mathematisch einfache Bezugsfläche um Form des Geoid und Höhenangaben zu beschreiben)  
a=6378km, c=6357km, f=1:298
- Im geophysikalischen Sinne ist das Referenzellipsoid eine Äquipotentialfläche mit dem Wert  $U_0 = -6,264 \cdot 10^7 \text{ m}^2/\text{s}^2$
- Normalschwereformel:

$$g = 978,049(1 + 0,0053 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi) [\text{gal}]$$

#### 10.3.1 Ursachen der Abplattung

- Gleichgewicht zwischen Zentripetalkraft und gravitativem Zusammenhalt der Erde
- Abplattung ist geringer als man im hydrostatischen Gleichgewicht erwarten würde (Huygens'sche Näherung)

Erklärung: Einstellung des hydrostatischen Gleichgewichts dauert länger als Gezeitenbremsung

#### 10.3.2 Wert für Schwere am Pol und Äquator

- Äquator: 9,78 m/s<sup>2</sup>; Pol: 9,82 m/s<sup>2</sup>

#### 10.3.3 Geoid-Undulationen?

- Abweichungen vom Geoid (< 100m), Halbwertsbreiten einige 1000 km

#### 10.3.4 Welche verschiedenen Höhen gibt es?

- Geoidhöhe (Höhe über dem Geoid)

$$N = \frac{-\Delta U}{g}$$

Annahme: konstante Schwere im betrachteten Bereich (nahe des Geoids  $\approx$  Erdoberfläche)

- Ellipsoidhöhe
- Höhe über Erdmittelpunkt (Satellitenverfahren)

#### 10.3.5 Wie wird die Schwere auf der Erdoberfläche bestimmt um das Geoid festzulegen?

- Schweremessung mit Gravimetern

#### 10.3.6 Warum ist die Erde kein Würfel?

- Kugel energetisch günstiger, Erosion, abgeschlossene Systeme streben stabiles Gleichgewicht an  $\rightarrow$  Minimum von  $E_{\text{pot}}$

### 10.4 Präzession und Nutation der Erde

- Präzession: die verlängerte Rotationsachse wandert um den Himmelspol, dementsprechend verschiebt sich ein erdbezogenes Koordinatensystem insgesamt gegenüber dem Ekliptiksystem
- Nutation (=Breitenschwankung): Der Rotationspol beschreibt eine zyklische Bahn auf der Erdoberfläche, ein Beobachter an einem festen Ort schließt daraus auf eine Veränderung der Breite des Ortes.
- Präzession: Der Drehimpulsvektor bewegt sich im Raum.

Nutation:

Der Polkegel (Achse = Figurenachse = geometrische Achse der Rotationssymmetrie des Kreisel) rollt auf dem Spurkegel (Achse=Drehimpulsvektor) ab. Die Berührlinie der beiden Kegel ist die Rotationsachse. Bei der Erde fallen Rotationsachse und Figurenachse fast zusammen (am Pol  $\sim$  10 m Abstand)

Zeichnung siehe Stöcker S. 113

#### 10.4.1 Ursachen

- Die Rotation der Erde ist nur nahezu kraftfrei, da Sonne und Mond Drehmomente ausüben  $\rightarrow$  Präzession der Erdachse  $\rightarrow$  verschiedene Sterne übernehmen die Rolle des Polarsterns als Drehpunkt des Sternenhimmels

#### 10.4.2 Rotationsgeschwindigkeit

##### 10.4.2.1 Änderungen

- säkulare Verlangsamung / Gezeitenreibung (1 ms/100 Jahr), bei Erdentstehung durch Akkretion und Differentiation schneller
- unregelmäßige Änderungen ( $\pm$  30 s in Jahrzehnten, Jahrhunderten) durch: Orogenese, Hebung + Senkung großer Küstenabschnitte, Inlandseis, ( $\rightarrow$  Veränderung des Trägheitsmoments) Materiestrom im Erdkern mit Änderung der magnetohydrodynamischen Kopplung, Sonnenstürme (+2 ms/Tag)
- Periodische Änderungen; Jahres-, Chandler Periode ( $\pm$  0,03s)
- Messung durch Fixsterne, Laserkeisel

##### 10.4.2.2 Wie bestimmt man die Rotationsgeschwindigkeit der Erde vor ein paar Mio.

Jahren?

- *Korallenwachstum (Jahresringe)*

10.5 Wieso nimmt man an, dass der Erdkern aus Fe-Ni besteht?

- *Druck und Temperatur bestimmt den Zustand der Materie*
- *Die Dichte des Erdkerns ist deutlich höher als die der Silikate, aber signifikant niedriger als die von Eisen → FeNi mit 15% S, Si, O*
- *Hinweis auf Fe-Ni sind auch 5% der Meteorite*
- *Aufgrund der chem. Affinität und der kosmischen Elementhäufigkeit nimmt man an, dass im Erdkern 10% Schwefel an Eisen legiert mit Nickel gebunden ist.*
- *Die Masse der Erde und damit des Kerns ergibt sich aus der Gravitation, das Trägheitsmoment (und damit die radiale Massenverteilung) aus astronomischen Beobachtungen.*

10.5.1 Warum schon seit ein paar Milliarden Jahren?

- *Die gravitative Abscheidung der schweren eisenreichen Schmelze und Formierung des Kerns hat wahrscheinlich bereits in der Akkretionsphase stattgefunden und war nach den ersten 100 Mio. Jahren beendet.*
- *Die Paläomagnetik zeigt, dass es vor mindestens 3,5 Mrd. Jahren bereits ein Feld gab.*
- *Nach Modellrechnungen begann das Ausfrieren erst vor 2-3 Mrd Jahren*

10.6 Flugzeugmessungen

- *Radiometrie*
- *Magnetik → Protonenmagnetometer, Förstersonde*
- *elektrische Leitfähigkeit → Induktionsspulen*
- *Gravimetrie*

10.7 Bohrlochverfahren

- *Dichtemessung: Gamma-Gamma-Log, Gravimetrie, Neutronenverfahren*
- *Porosität: Neutronen-Log*
- *Elektrische Leitfähigkeit: Laterolog*
- *seismische Geschwindigkeiten: sonic-log*
- *verschiedene Kombinationen*

10.8 Kosmologie

10.8.1 Alter des Sonnensystems? Woher weiß man das?

- *Urknall vor 15-20 Mrd. Jahren (Rotverschiebung von Sternenlicht aus dem Rand des Universums)*
- *Sonnensystem- und Erdalter: ca. 4,6 Mrd. Jahren*
- *terrestrisch - jovianisch*

10.8.2 Entstehung der Erde/Planeten

- *Staubwolke in unserem Sonnensystem*
- *homogen/heterogen*
- *Akkretionsmodell: Planetisimale lagern sich bis zur Planetengröße an. Die Gasplaneten bildeten sich früher, die inneren Planeten sind fest, da es so warm ist, dass die Gase verflüchtigen, diese sammelten sich in den äußeren Gasplaneten.*
- *Die Zusammensetzung / Verhältnis der Nichtgaselemente ist ähnlich dem der C1-Chondrite*

10.8.3 Modell des Saturns

- *besitzt ein sehr starkes Magnetfeld (Dipolmoment  $10^5$ -mal stärker als das der Erde) → aus Radioastronomie*
- *Kern im Saturn?*
- *Wahrscheinlich haben auch Io und Ganymed eigene Magnetfelder*

10.8.4 Titus-Bode-Regel

- *Abstände der Planeten folgen einer mathematischen Reihe (0,3,6,12,24,...)+4, Erde = 10 (stimmt bei Neptun und Pluto nicht, zwischen Mars und Jupiter fehlt ein Planet)*

10.8.5 C1-Chondrit, Unterschied zu Steinmeteoriten

10.8.6 Dichte in der Sonnenmitte/Erdmitte?

## 10.9 Geopotential?

## 10.9.1 Entwicklung nach Kugelfunktionen

## 10.9.1.1 Was bedeuten die Terme?

- *Zonale Beiträge*
- *tesserale Beiträge*
- *sektorielle Beiträge*
- *Love Zahlen?*

## 10.10 Aufbau der Ionosphäre

- *Ladungstrennung (Ionisation durch Photoeffekt)*
- *Barometrische Höhenformel:  $p = p_0 \cdot e^{-z/H}$*
- *Stromsysteme*
- *Maxwell-Gleichungen:*

$$\operatorname{div}(\mathbf{B}) = 0$$

$$\operatorname{rot}(\mathbf{E}) = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\operatorname{rot}(\mathbf{H}) = \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} + \vec{j}$$

$$\operatorname{div}(\mathbf{D}) = \rho$$

## 10.10.1 Nachweis von leitenden Schichten

- *Reflexion von EM-Wellen*

## 10.10.2 Einfluss auf z-Komponente des Erdmagnetfeldes

## 10.10.3 Variationen, Pulsationen

## 10.10.4 Schumann-Resonanzen

## 10.10.5 Eindringtiefe ins Erdinnere

- *Skintiefe*

## 10.10.6 andere Periodizitäten

- *Sonnenfleckenzyklus (zwei Perioden: 11 Jahre = Schwalbe-Zyklus, 80 Jahre = Gleissberg-Zyklus)*

## 10.11 Wie kann man zeigen, dass die Erde schon seit mehr als ein paar Millionen Jahren einen Fe, Ni Kern hat?

- *Alter der Kruste, Magnetfeld*

## 10.12 Wie scharf ist die Kernmantelgrenze?

- *unscharf; die D"-Schicht ist etwa 200 km dick*

10.12.1 Warum springt  $v_p$  an dieser?

- *Dichteunterschied zwischen Silikatmantel und Metallkern*
- *Phasenübergang fest-flüssig*

## 10.13 Wie sehen die Äquipotentialflächen eines Quaders aus?

## 10.14 Aufbau der Erde

- *Kruste, Mantel, D", äußerer u. innerer Kern*
- *Asthenosphäre, Lithosphäre*

## 10.15 Gamma-Spektroskopie

- *Elemente: U-238, U-235, Th-232, K-40 sowie deren Tochterkerne*
- *Compton-Effekt, Fotoeffekt, Paarbildung im Szintillator*
- *Zerfallsbreiten*

## 10.16 Welche Gesteine in großen Tiefen? Wo findet man sie?

- *Peridotite, wie z.B. der Olivin sind Eisenmagnesiumsilikate nach der Formel  $(Mg,Fe)_2SiO_4$*
- *Als Xenolithe in schnell aufsteigenden Magmen*
- *Mineralstruktur aus seismischer Geschwindigkeit*

# Geologie

## 11 Geodynamik

- 11.1 Aufbau der Erde, Schalenstruktur, Konvektion, Temperaturgradient; Tiefenangaben!
- *Schalenstruktur: Kruste (bis zur Moho, in ca. 5–65 km Tiefe), oberer Mantel (bis 670 km Tiefe), unterer Mantel (bis zur D" in 2900 km Tiefe), äußerer Kern (bis in 5000 km Tiefe; aus Nickel/Eisen; flüssig); innerer Kern (Nickel/Eisen, fest)*
- 11.2 Temperaturgradient
- *beträgt 30 °C pro km*
- 11.3 Entstehung der Erde, Bildung von Planeten
- *rotierende Gaswolke, aus Wirbeln entstehen Planetesimale, die sich durch Akkretion immer weiter verdichten; die leichten Elemente haben sich wegen großer Geschwindigkeit bei hohen Temperaturen (= hohe kinetische Energie) in der Nähe der Sonne von den inneren Planeten verflüchtigt und in den äußeren Planeten angesammelt*
- 11.4 Endogene und exogene Dynamik?
- *endogen = aus dem Erdinneren, d.h. Plattentektonik, Konvektion, Wärmestrom; exogen = von außen, speziell von der Sonne kommend, d.h. Wettereinflüsse, Erosion*
- 11.5 Wie hat man festgestellt, dass die Erde einen flüssigen Kern hat?
- *mit seismischen Methoden (keine S-Wellen im äußeren Kern)*
- 11.6 Ursache des festen inneren Erdkerns?
- *Druck im Kern zu hoch für flüssige Phase (Druck steigt dort schneller als Temperatur)*
- 11.7 Warum ist der Temperaturgradient nicht bis zum Kern konstant?
- *Lithosphäre–Asthenosphäre: Übergang von Wärmeleitung zu Konvektion; Schmelztemperatur der Gesteine wird überschritten; radioaktive Elemente sind in der Kruste angereichert;*
- 11.8 Unterschied Lithosphäre–Asthenosphäre–Kruste?
- *Kruste: bis zur Moho*
  - *Lithosphäre: Kruste + der feste Anteil des oberen Mantels*
  - *Asthenosphäre: der duktile Teil des oberen Mantels (seismisch: low velocity zone), auf dem die Lithosphärenplatten gleiten*
- 11.9 Vergleich Konvektionsmodell (Konvektionszellen) – Mantelplumes-Modell
- *Konvektionszellen: über den gesamten Erdmantel verteilt, Aufstiegs- und Absinkbereiche zwischen zwei Konvektionszellen können lang gestreckt sein*
  - *Mantelplume: regional begrenzter Aufstiegsbereich (beginnt vermutlich in der D"-Schicht an der Kern-Mantel-Grenze), Absinkbewegung dagegen großräumig verteilt*
- 11.10 Konvektion, Rayleighzahl
- *laminares Fließen bei Rayleighzahl < ca. 2000*
- 11.11 Plattentektonik, Antriebskräfte
- *ridge push: sich aufspreizende mittelozeanische Rücken drücken die Lithosphärenplatten auseinander*
  - *slab pull: absinkende Lithosphärenplatten an den Subduktionszonen ziehen die restlichen Platten mit*
  - *hinge rollback: der steil absinkende Slab zieht nicht nur die Platte nach sich, auch die Abknickstelle verlagert sich von der Subduktionszone weg*
- 11.12 Wie kam es zur Theorie der Plattentektonik? Geologische Hinweise dafür?
- *Passform von Afrika und Südamerika (Wegener, inspiriert von Bewegung von Eisschollen)*
  - *Fossilienfunde in Afrika und Südamerika*
  - *Deckenüberschiebung in den Alpen (Amperfer)*
  - *Erforschung der Ozeane: magnetisches Streifenmuster symmetrisch zu den MOR*
  - *Tiefseegräben*
  - *Gebirge, Rifts*

- 11.13 Rolle der kinetischen Energie bei Plattentektonik?
- *Vernachlässigbar, da quadratisch eingehende Geschwindigkeit sehr klein ist (z.B. Afrika: bei einer Masse von  $18E21$  kg und Geschwindigkeit von  $6,342E-10$  m/s ergibt sich eine Energie von 3,6 kJ).*
- 11.14 Paläomagnetik und Plattentektonik
- *magnetisches Streifenmuster am Ozeanboden*
  - *Richtung der Gesteinsmagnetisierung: Inklination  $\Rightarrow$  Paläobreiten ( $\tan(I)=2*\tan(\phi)$ ), Deklination + Randbedingungen  $\Rightarrow$  Nordrichtung*
- 11.15 Bildungsmechanismus von ozeanischer Lithosphäre
- *MOR, seafloor spreading*
- 11.16 Dicke der Lithosphäre am MOR
- *wo Magma austritt, beträgt die Dicke 0, ansonsten ist wegen der erhöhten Temperatur (= geringere Dichte) die Lithosphäre rund um den MOR dicker als im restlichen Ozean*
- 11.17 Bildungsmechanismus von Tiefseegräben
- *an Subduktionszone zwischen absinkender Platte und Akkretionskeil*
- 11.18 Subduktion: Gründe, Gebirgsbildung (welche Kräfte wirken), Vulkanismus etc.
- *Gründe: Gewichtsunterschied bei konvergierender Bewegung*
  - *Kräfte: konvergente Bewegung ( $\Rightarrow$  Faltung) und Isostasie*
  - *Vulkanismus im Back-Arc-Bereich*
- 11.19 Querschnitt einer Subduktionszone
- 11.20 ridge push, slab pull, hinge rollback
- *ridge push: Bildung von Kruste am MOR drückt die Platten auseinander*
  - *slab pull: abtauchende Platte an Subduktionszone zieht den Rest der Platte nach*
  - *hinge rollback: Knickstelle der abtauchenden Platte verlagert sich weg von der Subduktionszone*
- 11.21 Beschreibung eines aktiven Kontinentalrands
- 11.22 Fold-Thrust-Belt: Großgeometrie, orogener Keil
- 11.23 Gründe für Kompression oder Extension an aktiven Kontinentalrändern
- *Eintauchwinkel der subduzierten Platte: flacher Winkel  $\Rightarrow$  starke mechanische Koppelung, Kompression, Gebirgsbildung; steiler Winkel mit hinge rollback  $\Rightarrow$  Zugbelastung auf überschiebende Platte, Extension;*
- 11.24 Unterschied steil–flach einfallende Subduktionszone, von was ist der Abtauchwinkel abhängig?
- *s. letzte Frage*
- 11.25 Rifts; aktives/passives Rifting; Basin-and-Range-Provinz; Rio-Grande-Rift;
- *aktives Rifting = temperaturgesteuert (d.h. bewegt sich von selbst auseinander); passives Rifting = spannungsgesteuert (d.h. wird auseinandergezogen)*
  - *Basin-and-Range: großflächiges Rifting;*
- 11.26 Pull-Apart-Strukturen
- *parallelogrammförmige Strukturen bei Transformstörungen an Stellen mit seitlichen Versetzungen*
- 11.27 Bildung von Sedimentbecken
- *Ausdünnung der Kruste, dadurch isostatisches Absinken (weniger Auftrieb), daraufhin Sedimentfüllung (Wasser schwemmt Sedimente immer in die tiefsten Bereiche)  $\Rightarrow$  Zusatzgewicht, weiteres Absinken*
- 11.28 Randmeer
- *entweder durch Extension im Backarc-Bereich einer Subduktionszone oder hinter einem akkretionierten Terrane*
- 11.29 Sedimente in Tiefseegräben
- 11.30 Wie entsteht das Erdmagnetfeld?
- *im Erdkern durch Dynamo-Effekte (da Temperatur zu hoch für eine remanente Magnetisierung des Gesteins); vgl. „self-exciting dynamo“: rotierende Scheibe auf einer Achse in einem externen Magnetfeld parallel zur Achse  $\Rightarrow$  durch Lorentzkraft*

*Ladungstrennung auf der Scheibe (innen–außen) => Stromkreis herstellen zwischen Achse und Außenrand der Scheibe mit Spule um die Achse => Strom fließt durch Spule und erhält damit das Magnetfeld aufrecht*

11.31 Erdbebenwellen?

11.32 Definition der Moho, petrologisch und seismisch

- *seismisch: Diskontinuität in der Wellengeschwindigkeit*
- *petrologisch: oben ist das Gestein sauer (felsisch), unten basisch (mafisch)*

11.33 Beckenüberschiebung

11.34 Molasse: Was ist das? Wie tief? Wie entstanden? Verlauf der Moho?

- *Molasse = grobkörnige paralic-fluviatile Sedimente, die ein Vorlandbecken vor einem Gebirge ausfüllen*
- *Entstehung des Beckens: durch isostatische Absenkung des Landes durch das Gewicht des Gebirges*

11.35 Lithosphärenprofil von der Donau bis zu den nördlichen Kalkalpen?

11.36 Alpenbau, alpine Decken, Querprofil?

11.37 Transgression, Regression

- *Anstieg bzw. Absenkung des Meeresspiegels; regional durch Hebung/Senkung von Land, global durch Eiszeiten/Warmzeiten;*

11.38 Spannungs- und Deformationsmechanismen

11.39 elastisches Durchbiegen der Lithosphäre

- *durch Auflast, z.B. Vulkan, Sedimente*

11.40 Rheologie ozeanischer und kontinentaler Lithosphäre

- *ozeanische Kruste ist dünner und daher leichter verformbar*

11.41 superplastisches Fließen

- *Fließen von Festgestein durch Bewegung an den Korngrenzen*

11.42 Absenkung in Dehnungszonen

- *isostatisch*

11.43 Was ist das Tauernfenster?

- *dort kommt das kristalline Gestein der europäischen Platte, welches unter dem Kalk der afrikanischen Platte liegt, an die Oberfläche => man kann dieses ansonsten verdeckte Gestein wie durch ein Fenster sehen*

11.44 Warum gibt es Gebirge-Geosynklinale?

11.45 Falten

11.45.1 Überschiebung

11.45.2 Rampenantiklinale

- *Rampenantiklinale (fold-bend folds): bei einer Faltenbildung an einer Verwerfung schiebt sich die Schicht bei der Faltung rampenförmig übereinander, d.h. Kombination aus Falte und Aufschiebung*

11.45.3 Faltentypen

- *aktive Falten: Spannung ist parallel zur faltenden Lage, z.B. bei Gebirgsbildung*
- *passive Falten: Spannung ist orthogonal zur faltenden Lage, z.B. wenn sich eine Schicht durch Schwerkraft dem Untergrund anpasst*

11.45.4 parallele Falten

- *parallele Falten: keine Dickenänderung der Schichten, d.h. Dehnung im Außenbogen, Kompression im Innenbogen*

11.45.5 Biegegleitfaltung

- *Biegegleitfalten: es gibt Verschiebung zwischen den Schichten, um die Dehnung/Kompression zu vermeiden*

11.45.6 Stauchung im Kern

- *Knickfalten (Ziehharmonika-, Chevronfalten): Spezialfall der Biegegleitfalten; die nötige Verschiebung ist zu groß, so dass es im Scharnier der großen Falte zu einer Faltung der inneren Lage kommt (Stauchung im Kern)*

11.45.7 Scherfaltung

- *Scherfaltung: geschertes Gestein (simple shear) bildet Falten (beide Schichten dringen ineinander ein und werden dadurch jeweils in die Richtung der anderen Schicht geschert => durch die Richtungsumkehr entstehen Falten, die Schenkel werden ausgedünnt*

#### 11.46 Verformungsmechanismen:

- *spröder Bruch: Kohäsion geht flächig verloren, Atombindungen werden gelöst, v.a. bei niedriger Temperatur, schneller Verformung und geringem Umschließungsdruck*
- *granulares Fließen: feste Partikel gleiten an den Korngrenzen und bewegen sich damit, ohne sich selber zu verformen oder zerstört zu werden*
- *kataklastisches Fließen: manchmal ist es energetisch günstiger, Neubrüche zu schaffen, statt alte Brüche zu reaktivieren, d.h. das Material fließt, indem es laufend neu zerbricht*
- *Korngrenzgleiten = superplastisches Fließen: Mineralkörner fließen in Festgestein, dabei ist die Deformation korngößenabhängig (je kleiner, desto leichter fließt es)*
- *Drucklösung: unter Belastung wird Material gelöst und an anderen belastungsärmeren Stellen wieder eingelagert*
- *Bei zunehmendem Außendruck bricht Material nicht mehr in einer glatten Bruchfläche, sondern verformt sich zunehmend plastisch.*

## 12 Vulkanismus

### 12.1 Mechanismen zur Magmenbildung

- *Druckentlastung, Temperaturerhöhung, Fluide*

### 12.2 Kristallisation und Keimbildung, Unterschied Plutonit–Vulkanit

- *bei Plutoniten erfolgt die Abkühlung sehr langsam, daher größere Kristalle*

### 12.3 Alkalibasalte: Warum Bildung bei geringer Aufschmelzung?

### 12.4 Basalt-Chemismus, wo und warum

- *Basalt = Teilschmelze aus dem an inkompatiblen Elementen verarmten Mantel*
- *Vorkommen: Inselbogenvulkanismus, MOR, Hot Spots*

### 12.5 Solidus-Liquidus-Kurven erläutern

- *Solidus: unterhalb dieser Kurve (Druck/Temperatur) ist das gesamte Material fest*
- *Liquidus: oberhalb dieser Kurve ist das gesamte Material flüssig; zwischen beiden Kurven = Teilschmelzen sind vorhanden*
- *durch Fluide kann der Verlauf der Kurven beeinflusst werden, z.B. durch Wasser: während wasserarme Basaltschmelze unter Druck fest wird, enthält Granit viel Wasser, welches ein Netzwerkwandler ist, d.h. Granit wird unter Druck flüssig – umgekehrt wird Granitschmelze alleine durch die Druckentlastung beim Aufstieg fest*

### 12.6 Bildungsmechanismus von Tholeiit aus Pyrolith?

- *Differenziation*

### 12.7 Wer hat Pyrolith erfunden?

- *Ringwood 1962: Tholeiit entsteht aus wenig differenzierter Magma; weil sich die Magma zwischen Erdmantel und Oberfläche verändern kann, wurde postuliert, dass der Erdmantel aus Pyrolith besteht, aus dem die anderen Magmen durch Differenziation hervor gehen.*

## 13 Gestein

### 13.1 Zusammensetzung von Mantelmaterial Mg/Si

- *v.a. Olivin =  $(MgFe)_2SiO_4$ ;*

### 13.2 Verformung von Gesteinen, spröde und duktil

- *abhängig von Temperatur, Umgebungsdruck, Geschwindigkeit der Krafteinwirkung, kompetentes/inkompetentes Material*

### 13.3 Wie tief ist Feldspat stabil?

### 13.4 Lithosphäre: Aufbau, Zusammensetzung, Dicke

### 13.5 Warum schmilzt die Asthenosphäre bei Druckausgleich auf der Erdoberfläche?

- *hoher Druck bedeutet i.A. hoher Schmelzpunkt; bei Druckerniedrigung sinkt der Schmelzpunkt, d.h. unter hohem Druck festes Gestein schmilzt*

### 13.6 Bodenbildung

- *Gestein erodiert; wenn es nicht abtransportiert wird und verrottetes Pflanzenmaterial dabei ist, entsteht Boden daraus;*

### 13.7 Flachwasser- und Tiefwasserablagerungen, Bildung von Kalkstein, CCD, ACD, Foraminiferen

- *CCD (calcite compensation depth): bei niedriger Temperatur und hohem Wasserdruck (d.h. in großer Tiefe) löst sich  $\text{CO}_2$  gut in Wasser, d.h. Calcit ( $\text{CaCO}_3$ ) wird laufend zu  $\text{CO}_2$  abgebaut, welches durch Lösung verschwindet => Calcit kann nicht bestehen; in geringerer Tiefe wird es dagegen nicht abgebaut, daher können sich dort kalkhaltige Sedimente bilden*
- *ACD (aragonite compensation depth): Aragonit ist chemisch wie Calcit, hat aber eine andere (instabilere) Struktur, d.h. es löst sich leichter, darum liegt die ACD oberhalb der CCD*

### 13.8 Beeinflussung des $\text{CO}_2$ -Haushalts durch Auflösung der Kalke? Mengenverhältnis des Kohlendioxid in Carbonaten und in der Atmosphäre?

### 13.9 biogene Sedimente auf der Kontinentalkruste, Ophiolite

### 13.10 Aufbau ozeanischer Kruste

- *siehe Ophiolite: gehobene ozeanische Kruste, die sich heute an Land befindet (nicht zu verwechseln mit gehobenen Meeressedimenten; bei Ophioliten handelt es sich um basaltische ozeanische Kruste)*
- *Aufbau der Kruste: Ultrabasite, Gabbro, MORB (Sheeted Dikes und Pillows), Sedimente*

### 13.11 Bedingungen, damit sich Kohle bilden kann

### 13.12 kompetente und inkompetente Lagen

- *kompetent = duktil; inkompetent = spröde;*

### 13.13 strain hardening – strain softening

### 13.14 Definition von Serpentin

### 13.15 Eklogitbildung (Subduktionszone)

### 13.16 Anreicherung der Elemente in der Erde

- *radioaktive Elemente und REE (seltene Erden) sind in der Kruste angereichert, Silizium in Kruste und Mantel, Eisen und Nickel im Kern;*

### 13.17 Wärme: Wärmequelle, Aufbau des Erdkerns, radioaktive Elemente, Kristallisationswärme

### 13.18 Schwarzschiefer

- *enthält bituminöse Ablagerungen (biogen), entstanden in euxinischem Milieu, z.B. Posidonienschiefer*

### 13.19 Dropsid? Anorthit? Olivin? Fayalit? Pyrolit? Forsterit? Harzburgit? Lherzolit? etc.

### 13.20 Was passiert bei chemischer Verwitterung?

- *z.B. durch Humus-Säure*

### 13.21 Ooid-Entstehung

- *Ooide entstehen im hochenergetischen Brandungsbereich, wachsen kugelförmig, Material: Kalk oder auch Eisen; Gestein daraus: Oolith*
- *nicht zu verwechseln mit Onkoiden (wachsen durch Bakterien rund um einen Wachstumskern zu unregelmäßigen Formen)*

### 13.22 Dolomit-Bildung; Mächtigkeit; Ursache dafür

- *Entstehung im Flachwasser*
- *Mächtigkeit 1000 m durch Absenkung*

### 13.23 Mineral-Neubildung

### 13.24 Methoden der Altersbestimmung: K-Ar, Biostratigraphie

### 13.25 Tiefwasserströme

- *es gibt ein weltweites System von Tiefwasserströmen, z.B. sinkt der Golfstrom im Nordmeer ab*

## 13.26 Unterschied Amphibolit–Amphibol

- *Amphibol: Mineral; Amphibolit: Gestein, das aus Amphibol besteht*

## 13.27 Schichtung in Flachwasserkalken, Schichtlücken

- *Schichtlücken entstehen, wenn entweder über einen Zeitraum nichts abgelagert wurde oder wenn diese Ablagerungen erodiert wurden*
- *Sedimentationsrate ca. 1 mm pro 1000 Jahre*

## 13.28 Definition Leitfossil, Faziesfossilien

- *Leitfossil: Fossil, das nur in einem begrenztem Zeitraum vorkommt; dadurch kann man das Alter des Gesteins sehr genau eingrenzen.*

## 13.29 Streckeisendiagramm, Granit einzeichnen

## 13.30 Meteoritentypen, Impacts, Chondrite

## 13.31 Meteoriten

- *Eisenmeteoriten, Stein-Eisen-Meteoriten, Steinmeteoriten; Chondrite sind Steinmeteorite, die die gleiche Zusammensetzung wie das Sonnensystem bei der Entstehung haben;*

**14 Metamorphose**

## 14.1 Metamorphose: Druck, Temperatur; in welcher Tiefe herrscht ein Druck von 20 kbar?

- *Bei einer Dichte von  $3,0 \text{ g/cm}^3$  ergibt sich ein Druck von  $3,0 \cdot 1000 \cdot 9,81 = 0,29 \text{ bar}$  pro Meter, d.h. 20 kbar in ca. 60 km Tiefe*

## 14.2 Metamorphose: Amphibolitfazies, Hochdruckmetamorphose, Anatexis, Migmatite

- *Anatexis = Teilaufschmelzung*
- *Migmatit: nach Anatexis, d.h. teils metamorph und teils magmatisch;*

## 14.3 Grenze der Metamorphose zur Diagenese und zur Palingenese?

- *Diagenese: Temperatur und Druck niedrig (Analcim-Albit-Reaktion)*

## 14.4 Andesit – Sillimanit – Disthen, Umwandlung

- *dies sind alles chemisch identische Aluminiumsilikate, deren Struktur von Temperatur und Druck abhängig ist, d.h. Umwandlung bei Temperatur- und Druckänderungen*

## 14.5 Wo sind metamorphe Gesteine aufgeschlossen?

- *in Gebirgen*

## 14.6 Mylonit-Bildung, Verformungsmechanismen

- *Mylonit: entsteht bei Dynamometamorphose*

**15 Atmosphäre und Klima**

## 15.1 Uratmosphäre: Zusammensetzung, Bildung, Änderung

- *Zusammensetzung:  $\text{CO}_2$ ; Bildung: aus Vulkanausbrüchen; Änderung: Photosynthese =>  $\text{CO}_2$  zu Sauerstoff (Sauerstoff auch zu Metalloxiden) => Stickstoff ist inertes Restgas;*

## 15.2 Meeresspiegelschwankungen

- *lokal: Hebung/Senkung des Landes; global: Eiszeiten*

## 15.3 Mechanismen von Klima-Änderungen?

- *astronomische Zyklen*

## 15.4 Eiszeiten: warum (Theorien)?

- *Schwankungen in der Erdbahn: Präzession der Erdachse (Periode 25700 Jahre = Milankovich-Zyklus), Nutation, Änderung der Bahnexzentrizität, Präzession der Erdbahn (d.h. Veränderung von Frühlingspunkt/Erdachsenneigung zur Sonne und Perihel/Aphel relativ zueinander; heute: Nordwinter fällt in etwa mit Perihel zusammen)*

## 15.5 regionale eiszeitliche Ablagerungen

- *Gletscherschliffe, Warven, Findlinge, Moränen, Talformen, Os, Sander, Toteislöcher*
- *Toteisloch: Eis kann sich Jahrtausende unter Schutt halten, nachdem es geschmolzen ist, bleibt ein Loch zwischen den Sedimenten zurück*
- *Talformen: Gletscher = U-Tal, Fluss = V-Tal etc.*
- *Sander = Schmelzwasserablagerungen*

- *Os/Esker*: Ablagerungen von Schmelzwasserflüssen unter dem Eis, dammförmige Strukturen
- *Kame*: zwischen Toteisblöcken durchgesacktes Material, ergibt kegelförmige Hügel
- *Drumlin*: glazial überformte alte Grundmoräne, es entstehen tropfenförmige Hügel;

#### 15.6 Klimainformationen aus Gesteinen

- *organische Ablagerungen*: z.B. Pollen (Eiszeiten: Silberwurz)
- *O-18-Anteil* (hoch => Eiszeit, da Wasser mit O-16 leichter verdunstet und damit als Eis ausgelagert wird, d.h. O-18 wird im Ozean angereichert)
- *Stratigraphie*: Korallen, Eisbohrkerne, Sedimente, Magmatite, Foraminiferen
- *Altersbestimmung mit radioaktiven Isotopen*: U-238, U-235, K-40 (für Basalt), Th-230 (für Korallen), Rb-87 (für Granit);

#### 15.7 Sedimente verschiedener Klimazonen: nival, Moränen, Gletscherbildungen

#### 15.8 ozeanische Zirkulation

#### 15.9 Zirkulation im Schwarzen Meer und im Atlantik?

- *Schwarzes Meer*: Faulschlamm Bildung, euxinisch; *Atlantik*: sauerstoffreiche Tiefenströme

#### 15.10 Milankovitch-Zyklus

#### 15.11 Verlust von Material in der oberen Atmosphäre

- *H und He sind leicht => bei hoher Temperatur (= kinetische Energie) erreichen diese Gase höhere Geschwindigkeiten als schwerere Gase => manche Teilchen erreichen die Fluchtgeschwindigkeit, können die Erde verlassen*

## 16 Sonstiges

#### 16.1 Vergleich Erde – andere Planeten

#### 16.2 plastische Verformung von Gestein

#### 16.3 Was ist der Unterschied zwischen plastischem und viskosem Verhalten?

#### 16.4 Geologie von Elba, Einteilung, Toscaniden, Liguriden

#### 16.5 Gesteinsfolge, die bei einer Bohrung in München zum Vorschein käme

- *Molasse, Jura, Kreide, Trias*

#### 16.6 Erdbeben in China

#### 16.7 Grundwasser: Leiter, Nichtleiter

#### 16.8 Erdölgeologie:

##### 16.8.1 Muttergesteine

- *Sedimente mit biogenen Einschlüssen (z.B. Schwarzschiefer)*

##### 16.8.2 Speichergesteine

- *Gesteine mit durchgängigen Poren, in denen das Öl gespeichert werden kann*

##### 16.8.3 Wo findet man Erdöl?

- *Erdölfallen: Antiklinalen, Verwerfungen, an Intrusivkörpern wie Salzstöcken; an früheren Kontinentalschelfen*

#### 16.9 Faziesbezeichnung in anaerobem Milieu

#### 16.10 Wann ist Wasser am dichtesten? Wann gefriert Meerwasser? Gefriert salzhaltiges Wasser früher oder später als Süßwasser? Lösen sich Gase besser in kaltem oder warmem Wasser?

- *Wasser ist bei 4 °C am dichtesten; Meerwasser gefriert erst unter 0 °C (je nach Salinität);*

#### 16.11 Was für eine Wassertemperatur herrscht am Ozeanboden?

- *es ist nicht 4 °C, weil Salzwasser kein Dichteminimum hat, sondern kann einen beliebigen Wert annehmen*

#### 16.12 Wie groß ist der Wärmestrom aus dem Erdboden? Ozean, Land?

#### 16.13 Wie hoch, glauben Sie, werden Sandkörner bei einem Sturm gehoben?

- *Bis ca. 50 cm Höhe.*

#### 16.14 Landschaftsformen in einem humiden/ariden Gebiet

- *arid: Wüste, Wüstenlack, rote Gesteine (oxidiert, Fe-III), Windkanter*

- *humid: Sumpf/Moor, See, Fluss, Erosionsformen (Täler, Wellenrippeln/Kreuzschichtung etc.)*
- 16.15 Orogentypen: Inselbogen-Typ, Kordilleren-Typ, Kollision
- 16.16 Beurteilung eines Handstücks
- 16.17 etwas zu einer beliebigen geologischen Exkursion sagen
- 16.18 Erosionsrate?
- *im Gebirge ist ca. 1 mm pro Jahr*
- 16.19 Tektonik erhöht durch Klüftung die Oberfläche von Gestein, dadurch wird die Verwitterung erhöht; die Freisetzung von Ca-Ionen führt dazu, dass Säuren abgepuffert und Kohlendioxid gebunden werden kann; selbstregulierender Prozess: wärmer => mehr Verwitterung => weniger CO<sub>2</sub>; seit 70 Ma wird es auf der Erde kälter, evtl. durch Bindung von CO<sub>2</sub> im Gestein;
- 16.20 Strain
- *homogener Strain: eine Kugel wird zu einem Ellipsoid (Strainellipsoid: durch seine Form kann der Strain charakterisiert werden), parallele Geraden bleiben parallele Geraden*
  - *inhomogener Strain: die Straintrajektorien sind gekrümmt, d.h. es kommt zu Scherzonen und Scherfaltung*
- 16.21 Hydrofrakturierung
- *Eine Porendruckerhöhung führt zu Zugspannung, dadurch kommt es zu einer Vergrößerung der Porenräume, woraufhin der Druck wieder abnimmt und der Riss stoppt; deshalb geschieht Hydrofrakturierung oft gepulst.*
- 16.22 Unterschied Bruchfestigkeit in Theorie und Praxis
- *In der Praxis hat Gestein eine deutlich geringere Festigkeit gegenüber Spannungen, als die Atombindungen ermöglichen würden. Grund dafür ist die Konzentration von Spannungsspitzen an Hohlräumen und Bruchflächen – je größer der Bruch, desto höher die Stresskonzentration.*
- 16.23 Scherungen
- *pure shear = Spannung entlang der Achsen, Winkel bleiben erhalten (Längen nicht)*
  - *simple shear = nicht-koaxiale Spannung, Längen bleiben erhalten (Winkel nicht)*
  - *schergefaltetes Gestein: wie Kartenstapel => an den Faltenkernen sind Fossilien erhalten, weil dort keine Scherung auftritt*
  - *totaler Strain = longitudinaler Strain + angularer Strain + Volumenstrain*
- 16.24 Boudinage
- *Kompetenzkontraste => Ausdünnung/Verdickung kompetenter Lagen (Boudinage)*
- 16.25 Isostasie
- *Hohe Berge sind nur möglich mit tiefen Tälern, weil dadurch Masse entfernt wird => Berge können bei gleichem Gewicht der Landschaft höher aufsteigen.*
- 16.26 Korallenriffe und Seamounts
- *Korallen wachsen ringförmig auf absinkenden Seamounts, weil sie neben einer bestimmten Tiefe (Sonnenlicht!) auch eine bestimmte Strömung und Nährstoffe brauchen => das Innere des Riffs wächst nicht mit Korallen zu, sondern kann ungestört absinken; auch Lagunen wachsen nicht mit Korallen zu, z.B. wegen zu hoher Salinität*
- 16.27 Dichten (g/cm<sup>3</sup>):
- *Meerwasser: 1,025*
  - *Eis: 0,92*
  - *Salz 2,2*
  - *Lockersedimente: 1,2 – 2,4*
  - *Sedimentgestein: 2,4 – 2,6*
  - *Karbonate: 2,6 – 2,7*
  - *Kalke 2,75*
  - *Dolomite 2,8*
  - *Granitoide: 2,7 – 2,8*
  - *Basalt: 2,9 – 3,0*

- *basische Gesteine: 3,1*
- *kontinentale Kruste: 2,8*
- *ozeanische Kruste: 3,0*
- *oberer Mantel: 3,2 – 3,3*
- *Mantel gesamt: 3,3*
- *Erde gesamt: 5,5*

16.28 Rayleigh-Zahl

16.29 Mohrscher Spannungskreis

16.30 Milankovitch-Zyklus

16.31 strain hardening/softening

# Meteorologie

## 17 Druck

### 17.1 Was ist Luftdruck?

- *Druck = Kraft pro Fläche; Kraft ist die Gewichtskraft der Atmosphäre, d.h. der Druck durch das Eigengewicht der Luft*

### 17.2 Luftdruckmessung

#### 17.2.1 Flüssigkeitsbarometer

- *Gewichtskraft einer Flüssigkeitssäule steht im Gleichgewicht mit dem Gewicht der Atmosphäre, die auf die selbe Fläche angreift*

#### 17.2.2 Dosenbarometer

- *Verformungskraft einer teilweise evakuierten Dose steht im Gleichgewicht mit dem Luftdruck*

#### 17.2.3 Siedethermometer

- *Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ist abhängig vom Luftdruck; die Messung der Siedetemperatur liefert damit den Luftdruck.*

#### 17.2.4 Notwendige Korrekturen beim Quecksilberbarometer?

- *Temperatur => Ausdehnung des Quecksilbers, Verringerung der Dichte; Höhe;*

### 17.3 Hydrostatisches Gleichgewicht

#### 17.3.1 Was ist es?

- *Gleichgewicht zwischen Gewichtskraft und Auftriebskraft*

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g(z)$$

#### 17.3.2 Unter welchen Annahmen gilt es?

- *wenn keine Beschleunigung wirkt, d.h. Luft ruhend*

#### 17.3.3 Barometrische Höhenformel?

- $p(z) = p_0 e^{-\frac{h}{h_s}}$   
*mit der Skalenhöhe (in der Troposphäre ca. 7350 m)*

$$h_s = \frac{RT}{Mg}$$

### 17.4 Schwerkraft

#### 17.4.1 Breitenabhängigkeit der Erdbeschleunigung?

- *Am Pol ist die Erdbeschleunigung am stärksten (ca. 9,82 m/s<sup>2</sup>), am Äquator am geringsten (ca. 9,78 m/s<sup>2</sup>).*

#### 17.4.2 Geopotenzielle Höhe?

- *Geopotenzial:  $\int mg(h) dh$ ; geopotenzielle Höhe = Geopotenzial dividiert durch Erdbeschleunigung, ergibt Gravitationspotenzialflächen*

#### 17.4.3 Abhängigkeit des Luftdrucks von der Erdbeschleunigung?

#### 17.4.4 Reduktion auf des Luftdrucks auf NN

- *in die barometrische Höhenformel die Höhe und die virtuelle Temperatur einsetzen (virtuelle Temperatur, statt die Gaskonstante anzupassen)*

#### 17.4.5 Schichtdickenlinien bei einem Tiefdruckgebiet

#### 17.4.6 Wofür Messung des Luftdrucks?

- *Zur Erstellung einer Bodenwetterkarte, auf der man dann Hochs und Tiefs erkennen kann.*

#### 17.4.7 Was kann man aus den Isobaren herauslesen?

- *wo ein Tief/Hoch ist, Schichtdicken, Windgeschwindigkeiten (aus Isobarenabstand)*

## 18 Temperatur und Wärme

### 18.1 Temperaturmessung

## 18.2 Temperaturdefinitionen

### 18.2.1 Was ist Temperatur?

- *die mittlere kinetische Energie von Atomen/Molekülen*

### 18.2.2 Was ist die Äquivalenttemperatur?

- *Die Temperatur, die sich einstellt, wenn das gesamte Wasser auskondensiert ist (d.h. die Luft erwärmt sich durch die latente Wärme).*

### 18.2.3 Was ist die virtuelle Temperatur?

- *Temperatur von trockener Luft, die die gleiche Dichte wie die interessierende feuchte Luft hat*

### 18.2.4 Wofür benutzt man die virtuelle Temperatur?

- *Um mit der Gaskonstante für trockene Luft rechnen zu können.*

### 18.2.5 potenzielle Temperatur

- *feuchtpotenzielle Temperatur: Temperatur eines Luftpakets, das feuchtadiabatisch auf 1000 hPa gebracht wird*
- *pseudopotenzielle Temperatur: Temperatur eines Luftpakets, bei dem die Feuchtigkeit zuerst vollständig auskondensiert und das anschließend trockenadiabatisch auf 1000 hPa gebracht wird*

### 18.2.6 Temperaturgradienten: trocken, feucht?

- *trocken: 1 K/100 m; feucht: 0,6 K/100 m*

## 18.3 Temperaturempfinden

### 18.3.1 Was ist die Abkühlungsgröße?

- *Sie beschreibt das Empfinden von Wärme und Kälte durch einen Wärmestrom vom Körper weg; ein Wärmeverlust von 700 W/m<sup>2</sup> empfindet man als kalt, einen Wärmeverlust von 100 W/m<sup>2</sup> als warm.*

### 18.3.2 Wie kann man sie vergrößern/verkleinern?

- *vergrößern: Belüftung, Feuchtigkeit => Verdunstung (es wird zusätzlich latente Wärme verbraucht), weniger Isolation (= Kleidung)*

### 18.3.3 Ist das Wärmeempfinden des Menschen gleich der Temperatur?

- *Nein, es ist gleich der Energiebilanz (Wärmeaufnahme vs. Wärmeabgabe), und diese hängt nicht nur von der Temperaturdifferenz Körper-Umgebung ab.*

## 18.4 Wärmeströme

### 18.4.1 Wie bestimmt man den Bodenwärmestrom? Wie den Strom fühlbarer Wärme?

### 18.4.2 Warum gelangt fühlbare und latente Wärme nicht in den Weltraum?

- *Diese Wärmeströme sind materiegebunden; da es keine Massenströme in den Weltraum hinaus gibt, kann diese Wärme nicht dorthin entweichen.*

### 18.4.3 Welcher Wärmestrom überwiegt?

- *fühlbare Wärme überwiegt*

### 18.4.4 meridionale Transporte, beteiligte Substanzen

- *Wind, Meeresströmungen*

### 18.4.5 Was ist Umwälzzeit?

- *Die durchschnittliche Zeit, die ein Teilchen in einer Zirkulation benötigt, bis es einen Umlauf vollendet hat.*

### 18.4.6 Ursachen für die Wärme im Erdinneren?

- *Vor allem radioaktiver Zerfall (v.a. in der Erdkruste), außerdem latente Wärme (der Erdkern friert aus), gravitatives Absinken schwerer Bestandteile etc.*

### 18.4.7 Vergleich Einstrahlung und Wärmeerzeugung im Erdinneren

- *Die Einstrahlung dominiert deutlich (ca. 2 Größenordnungen höher).*

### 18.4.8 Bodentemperatur, Temperaturprofil

- *exponentielle Abnahme der Temperaturschwankungen mit der Bodentiefe, außerdem Phasenverschiebung; in 3 m Tiefe sind die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen um ca. ein halbes Jahr verschoben (d.h. im Winter ist es dort am wärmsten)*

### 18.4.9 Wärmehaushaltsgleichung an der Erdoberfläche?

- $Q = (D + S)(1 - a) + A - E - r$

## 18.4.10 Energieausgleich

**19 Wind**

## 19.1 Corioliskraft

## 19.1.1 Was ist die Corioliskraft?

- *Eine Scheinkraft, die Körper in einem rotierenden System ablenkt, wenn sie sich der Drehachse nähern oder sich von dieser entfernen (d.h. wird mit zunehmender geographischer Breite größer). Stärke abhängig von der Drehgeschwindigkeit des Systems und der Bewegungsgeschwindigkeit des Körpers:*

$$\vec{F} = 2 m \vec{v} \times \vec{\Omega}$$

## 19.1.2 Hat sie auf Land-/Seewind Einfluss?

- *Nein, da die zurückgelegte Strecke zu klein ist (die Corioliskraft macht sich nur auf großen Entfernungen bemerkbar).*

## 19.2 Thermischer Wind

## 19.2.1 Definition?

- *barotrop, baroklin, äquivalent barotrop*

## 19.2.2 Wie dreht er bei Kaltluftadvektion mit der Höhe?

## 19.2.3 Wieso zyklonal?

## 19.2.4 Wieso mit Höhe zunehmend geostrophisch?

## 19.3 Geostrophischer Wind

## 19.3.1 Entstehung?

- *Gleichgewicht zwischen Druckgradientkraft und Corioliskraft*

## 19.3.2 Was passiert, wenn man Reibung nicht vernachlässigt?

- *Dann ist die Strömung nicht mehr parallel zu den Isobaren, sondern die Luft strömt in Richtung des geringeren Luftdrucks, das Tief füllt sich auf.*

## 19.3.3 Ekman-Schicht? Prandtl-Schicht?

## 19.4 Jetstream

## 19.5 Was ist Gradientwind?

## 19.6 Warum ist der Betrag des Gradientwind beim Hoch begrenzt, nicht aber beim Tief?

## 19.7 Was ist Kaltluftadvektion?

- *kalte Luft wird herantransportiert*

## 19.8 Was ist eine Front?

- *eine Luftmassengrenze*

## 19.9 Land-/Seewind?

- *Land hat eine geringere Wärmekapazität als Wasser, darum erwärmt es sich schneller und kühlt schneller ab. Wegen der dadurch entstehenden Temperaturunterschiede zwischen Land und Wasser sinkt die Luft tagsüber über dem Meer ab, strömt zum Land und steigt dort auf; nachts ist es umgekehrt.*

**20 Wolken und Feuchte**

## 20.1 Wolken

## 20.1.1 Typen von Wolken?

## 20.1.2 Vorkommen?

## 20.1.3 Wolkenbildung: Hebungsmechanismen, Kondensation?

## 20.2 Feuchte

## 20.2.1 Feuchtemaße?

- *Dampfdruck  $e$ , Sättigungsdampfdruck  $E$ , relative Feuchte  $f$ , relatives Sättigungsdefizit  $(1 - f)$ , spezifische Feuchte  $s$ , absolute Luftfeuchtigkeit  $a$ , Mischungsverhältnis  $mf$*

## 20.2.2 Wovon ist die relative Feuchte abhängig?

- *Temperatur, Oberflächenform*

## 20.3 Brunt-Väisälä-Frequenz

### 20.3.1 Was?

- *Schwingungsfrequenz der vertikalen Schwingung von Luftpaketen, z.B. erkennbar an Altocumulus lenticularis*

### 20.3.2 Warum?

- *Aufstieg von Luft => kühlt ab => sinkt ab => erwärmt sich => steigt auf*

### 20.3.3 Wann stabil?

- *Funktioniert nur bei stabil geschichteter Atmosphäre; je stabiler, desto höher ist die Frequenz (Periodendauer im Bereich von Sekunden bis Minuten), bei isothermer Atmosphäre (= stabil!) beträgt die Periodendauer etwa 6 Minuten.*

## 20.4 Hebungskondensationsniveau

### 20.4.1 Definition

- *Man betrachtet ein feuchtes Luftpaket; das HKN ist die Höhe, in der die Feuchtigkeit beginnt, auszukondensieren, d.h. beim Aufstieg dieses Luftpakets bilden sich in dieser Höhe Wolken.*

### 20.4.2 Konstruktion im Tephigramm

### 20.4.3 Warum verwendet man bei der Konstruktion die Sättigungsmischungsverhältnisl Linie?

### 20.4.4 Weiterer Aufstieg eines Luftpakets nach dem Hebungskondensationsniveau?

- *trockenadiabatisch*

### 20.4.5 Was passiert, wenn überschüssiges Wasser in der Wolke bleibt und nicht als Regen ausfällt?

## 20.5 Arten von Nebel, Entstehung

- *Strahlungsnebel: Boden kühlt durch Strahlung aus, warme Luft kondensiert über kaltem Boden; Advektionsnebel: warme Luft wird durch Advektion zum kalten Boden transportiert – bei Bodenturbulenz kann die Abkühlung bis in größere Höhen reichen, es bildet sich Hochnebel*

## 20.6 Was ist Seerauch?

- *Nebel über Wasserflächen: kalte Luft über warmem Wasser; die unteren, vom Wasser erwärmten Schichten steigen auf, kühlen schnell ab und kondensieren wieder => die Wasserfläche scheint zu rauchen*

## 20.7 Aufstieg von Luft

### 20.7.1 Wann und warum steigt ein Luftpaket auf?

- *durch Dichteunterschied: trockenadiabatisches Aufsteigen bis HKN, dann feuchtadiabatisch; erzwungen: orographisches Aufsteigen*

### 20.7.2 Wolkenbildung?

- *Wenn das Hebungskondensationsniveau erreicht ist.*

### 20.7.3 Stabile/instabile Schichtung?

- *Stabil: Luft größerer Dichte ist unter Luft kleinerer Dichte; instabil: Luft kleinerer Dichte ist unter Luft größerer Dichte*

### 20.7.4 Schichtung in der Atmosphäre, Gründe?

- *Troposphäre: instabil geschichtet, da Wärmezufuhr v.a. vom Erdboden (fühlbare Wärme); Stratosphäre: stabil geschichtet, da Wärmezufuhr im oberen Bereich durch Reaktion der Strahlung mit dem Gas (Ozonschicht!); Mesosphäre: Wärmezufuhr von unten (Ozonschicht), daher instabil geschichtet; Thermosphäre: im oberen Bereich absorbieren die dortigen Gasatome Sonnenstrahlung, d.h. stabile Schichtung*

### 20.7.5 Adiabatischer Aufstieg?

- *Aufstiegsbewegung ohne Energieaustausch mit der Umgebung, d.h. das Luftpaket dehnt sich beim Aufstieg aus (Volumenarbeit) und kühlt dabei ab (Verlust an Wärmeenergie).*

## 20.8 Föhn

### 20.8.1 Entstehung?

- *Luft wird an einem Gebirge feuchtadiabatisch gehoben, die Kondensation des Wasserdampfs liefert Wärme, das Wasser regnet schließlich ab, weiterer trockenadiabatischer Aufstieg, hinter dem Gebirge trockenadiabatisches Absinken (da keine Verdunstung mehr stattfindet, ist die Luft danach deutlich wärmer als auf der*

*anderen Seite).*

#### 20.8.2 Typische Merkmale?

- *Regen auf der Luvseite des Gebirges, Warmluft auf der Leeseite sowie geringe Luftfeuchtigkeit und sehr gute Fernsicht (da Wasser samt Aerosolen aus der Luft entfernt sind; außerdem kommt es zu einer instabilen Schichtung, durch die das Licht so gebrochen wird, dass man mehr um die Erdkrümmung herum schauen kann)*

#### 20.8.3 Höhe der Föhnwellen?

#### 20.8.4 Schwingungsgleichung?

#### 20.9 Leewellen-Wolken?

- *stationäre, orographische Wolken (Luft schwingt nach Strömung über ein Gebirge; dort, wo sie über dem HKN ist, bilden sich linsenförmige Wolken)*

## 21 Niederschlagsbildung

### 21.1 Niederschlagsbildung (Theorien, Größe der Aerosol- und Niederschlagstropfen)

- *u.a. Sättigungsdampfdruck über Eis ist niedriger als über unterkühltem Wasser*

### 21.2 Wieso gibt es in der Natur max. 101% Luftfeuchtigkeit, statt mehrere 100% wie im Labor?

- *Weil in der Luft Kondensationskeime vorhanden sind, die die Kondensation erleichtern; nur in sauberer Luft sind hohe Übersättigungen (bezogen auf die ebene Wasseroberfläche) möglich.*

### 21.3 Aerosole:

#### 21.3.1 Was sind Aerosole?

- *Teilchen in der Größenordnung  $\mu\text{m}$ ;  $< 0,2 \mu\text{m}$  heißen Aitkenteilchen*

#### 21.3.2 Wie sind sie zusammen gesetzt?

#### 21.3.3 Größenverteilung, mit welchen Formeln annäherbar?

- *sehr viele kleine Teilchen, wenige große; von der Masse her dominieren allerdings die großen Teilchen*

#### 21.3.4 Wirkung von Aerosolen als Kondensationskeime

#### 21.3.5 Krümmungseffekt

- *Je stärker die Oberfläche eines Tropfens gekrümmt ist (d.h. je kleiner der Tropfen ist), desto höher ist der Sättigungsdampfdruck über dieser Oberfläche.*

#### 21.3.6 Lösungseffekt

- *Wenn das Aerosolteilchen wasserlöslich ist, senkt es den Sättigungsdampfdruck über dem Wassertropfen. Je besser die Löslichkeit, desto geringer der Sättigungsdampfdruck.*

#### 21.3.7 Was ist Feinstaub?

- *Feine, unsichtbare Staubpartikel, die v.a. bei Verbrennungsvorgängen entstehen (Dieselmotoren).*

#### 21.3.8 Warum ist Feinstaub ins Gerede gekommen?

- *Weil diese gesundheitsschädlichen Partikel so fein sind, dass sie von den Atemwegen nicht mehr herausgefiltert werden können und so bis in die Lungenbläschen vordringen können. Wenn insgesamt viel Staub in der Luft ist, lagern sich die Feinstaubpartikel an den größeren Partikeln an und werden aus der Luft entfernt, reiner Feinstaub hält sich dagegen länger in der Luft.*

#### 21.3.9 Zählt Feinstaub auch zu den Aerosolen?

- *ja*

### 21.4 Unterschiede bei kalten und warmen Wolken

- *warm: Kondensation an Keimen, Kollision, Koaleszenz; kalt: Koagulation, Adhäsion, Resublimation*

### 21.5 Gewitter

#### 21.5.1 Entstehung

- *Luftelektrizität/luftelektrisches Feld; Schönwetterfeld; Luftaufstieg als Generator, Ladungstrennung; Erde/Wolken als Kondensator; Ionosphäre*

#### 21.5.2 Luftmassengewitter (Frontgewitter, squall lines)

- Gewitter durch die erzwungene schnelle Hebung von Luft an einer Kaltfront
- 21.5.3 Was ist ein Wärmegewitter?
  - Gewitter durch die schnelle Hebung bei starker Erwärmung des Erdbodens
- 21.5.4 Was bewirkt der Regen bei einem Gewitter?
  - Zum einen bremsen die fallenden Regentropfen die aufsteigende Luft ab (Turbulenzen), zum anderen kühlt das Wasser den Erdboden ab, wodurch Luft nicht mehr so stark aufsteigt. Daher können nur solche Gewitter längere Zeit „leben“, bei denen Niederschlags- und Luftaufstiegszone getrennt sind.

## 22 Klima

### 22.1 Klimavergleiche

22.1.1 Vergleich Jahrestemperatur Hamburg und nördl. Eismeerhafen

22.1.2 Unterschiede Klima Sibirien/Westeuropa (bei gleicher Breite)

- Sibirien: kontinentaler, d.h. größere Temperaturunterschiede zwischen Sommer und Winter, weniger Niederschlag

### 22.2 Erdbewegung

22.2.1 Wie entstehen Jahreszeiten?

- Cosinusgesetz, Exzentrizität der Erdbahn, Eiszeiten

22.2.2 Gründe für die Schwankung der Solarkonstante

- Elliptizität der Erdachse (+ Schwankungen der Elliptizität), Variationen in der Sonnenaktivität usw.

22.2.3 Milankovich-Periode, Eiszeiten?

- Präzession der Erdachse, Periodendauer 25700 Jahre

### 22.3 ENSO-Mechanismus

- El-Niño-Southern-Oscillation: Normalerweise treibt der Passatwind das kalte Wasser des Humboldtstroms (fließt aus der Antarktis kommend parallel zur Küste Südamerikas) nach Australien => dort erhöhter Wasserspiegel, kaltes Wasser führt zu Niederschlägen; bei El Niño ist dieser Vorgang gestört => kaltes Wasser bleibt in Südamerika, erhöhte Regenfälle führen dort zu Überschwemmungen, Dürre in Südostasien; benannt nach dem Christkind, da die Auswirkungen zur Weihnachtszeit (= ein halbes Jahr nach Ausbleiben der Passatwinde) am stärksten sind

### 22.4 Was ist der Treibhauseffekt?

- Die Erde empfängt Sonnenstrahlung im solaren Spektralbereich und strahlt diese Energie im terrestrischen Spektralbereich wieder ab. Wäre die Erdoberfläche im reinen Strahlungsgleichgewicht, würde eine globale Durchschnittstemperatur von ca. -15 °C herrschen; die Atmosphärgase absorbieren aber im infraroten Bereich und strahlen einen Teil der Energie zurück auf die Erde (d.h. vermindern die terrestrische Abstrahlung in den Weltraum), diese zusätzliche Einstrahlung erhöht die Durchschnittstemperatur um ca. 30 °C.

### 22.5 Klimazonen

22.5.1 Wodurch werden Klimazonen primär bestimmt?

- Vom Einstrahlungswinkel der Sonnenstrahlung.

22.5.2 Wieso keine reine Breitenabhängigkeit?

22.5.3 Gibt es auch eine Einteilung der Klimazonen anhand der vorkommenden Vegetation?

- ja, z.B. sind so die Klimazonen in Gebirgen gut erkennbar

## 23 Obere Atmosphäre

### 23.1 Stoffzusammensetzung der Atmosphäre

- 78% Stickstoff, 20% Sauerstoff, 0,9% Argon, 0,03% Kohlendioxid, Edelgase, Wasserdampf

23.2 Warum ist die Stratopause in 50 km Höhe und nicht in 20 km (wo das Ozonmaximum ist)?

- sie ist am Wendepunkt der Temperaturkurve (z-T-Diagramm)

### 23.3 Ionosphäre, Thermosphäre

23.3.1 Warum sind die Teilchen dort so schnell?

- *große freie Weglänge*

23.3.2 Was misst ein Thermometer dort?

- *Wegen der geringen Teilchendichte wird wenig Energie auf das Thermometer übertragen, daher zeigt dieses eine geringe Temperatur an. Das Thermometer misst die Gleichgewichtstemperatur zwischen Wärmeleitung (= niedrig, da wenige Teilchen) und Abstrahlung, nicht aber die durchschnittliche kinetische Energie pro Teilchen.*

23.3.3 Wie misst man die Temperatur richtig?

- *z.B. aus der Strahlung (Wiensches Verschiebungsgesetz)*

23.3.4 Warum wird ein Satellit dort nicht so heiß?

- *analog zum Thermometer*

23.4 Magnetosphäre?

23.5 Welche Ionen gibt es über 500 km Höhe?

- *H-Ionen (Protonen)*

23.6 Atmosphärenrand

23.6.1 Massenbilanz am oberen Atmosphärenrand?

- *raus: Wasserstoff, Helium; rein: solare/kosmische Partikelstrahlung, Staub, Meteoriten*

23.6.2 Zusammenhang zwischen Fluchtgeschwindigkeit und Masse der Teilchen?

- *Bei gleicher Temperatur (d.h. gleicher kinetischer Energie) haben Teilchen mit geringerer Masse eine höhere Geschwindigkeit*

23.6.3 Wie kommt Helium in die Atmosphäre?

- *radioaktiver Zerfall von Uran und Thorium bildet Alphateilchen, durch Aufnahme von Elektronen entsteht Helium*

23.6.4 Reichert sich Helium in der Atmosphäre an?

- *nein, es verschwindet in den Weltraum*

23.7 Ozonbildung?

- *UV-Strahlung spaltet Sauerstoff-Moleküle in einatomige Sauerstoff-Radikale; diese reagieren mit anderen Sauerstoff-Molekülen zu Ozon, welches ein anderes Absorptionsverhalten als Sauerstoff hat und deshalb Energie aus jenen Wellenlängenbereichen absorbieren kann, für die der Sauerstoff transparent ist (Wirkung als Treibhausgas).*

23.8 Wolken

23.8.1 Gibt es oberhalb der Troposphäre Wolken?

- *Ja, erstens die leuchtenden Nachtwolken in der Mesosphäre (möglich, da dort instabile Schichtung), zweitens die PSC (polar stratospheric clouds).*

23.8.2 Rolle der PSCs?

- *Diese Wolken bilden sich in der Polarnacht und enthalten Chlor; dieses wird im Frühling schlagartig als atomares Chlor freigesetzt, welches Ozon zerstört – daher das schnelle Wachstum des Ozonlochs im jeweiligen Frühling.*

## 24 Strahlung

24.1 Woher kommt die elektromagnetische Strahlung?

- *Im solaren Spektralbereich von der Sonne, im terrestrischen Spektralbereich von der Erde bzw. von Wolken (Schwarzkörperstrahlung der jeweiligen Objekte).*

24.2 Einstrahlung auf die Erde, Atmosphäreinfluss

24.3 Ausstrahlung, Spektralbereich, Mechanismen

24.4 Unterschied zwischen Temperaturprofil der Stratosphäre und einer Atmosphäre im Strahlungsgleichgewicht?

- *In der Stratosphäre herrscht eine stabile Schichtung, die Temperatur nimmt von unten (Tropopause) nach oben (Stratopause) zu. In einer Atmosphäre mit Strahlungsgleichgewicht strahlt jede Schicht gleichmäßig nach oben und unten, da aber die Energiezufuhr ausschließlich von unten erfolgt (Gase absorbieren v.a. im terrestrischen Spektralbereich, der von der Erdoberfläche ausgesandt wird), würde die*

*Temperatur dann von unten nach oben abnehmen.*

#### 24.5 Wärmebilanzgleichung

- $L+B+V+Q=0$  ;  $Q$  : Strahlungsbilanz;  $V$  : Verdunstung;  $B$  : Wärmestrom nach innen;  $L$  : fühlbare Wärme;

#### 24.6 Rolle von Wolken, cloud forcing

- *Cloud forcing ist der Einfluss der Wolken auf die Energiebilanz am Oberrand der Atmosphäre; Wolken erhöhen die Albedo (im Vergleich zu Clear Sky Climatology), aber erwärmen auch die Erde.*

#### 24.7 solare Einstrahlung: Menge, Umsetzung

- *Solarkonstante: 1367 W/m<sup>2</sup>*

#### 24.8 Breitenabhängigkeit der Strahlungsbilanz

- *Kosinus-Gesetz*

#### 24.9 Strahlungsbilanz am oberen Rand der Atmosphäre?

- *Gleichgewicht zwischen solarer Einstrahlung und terrestrischer Ausstrahlung*

#### 24.10 Photonenschicksale in der Atmosphäre

- *Absorption, Emission, Reflexion, Ionisationsprozesse*

#### 24.11 Strahlungsbilanz eines Satelliten, Gleichgewichtstemperatur?

- *6°C*

#### 24.12 Warum strahlt die Atmosphäre nach unten stärker als nach oben?

- *unten: Emission und Reflexion terrestrischer Strahlung; oben: nur Emission, keine Reflexion, da von dort keine terrestrische Strahlung kommt*

#### 24.13 atmosphärische Gegenstrahlung

- *Strahlung der Atmosphäre (im terrestrischen Spektralbereich)*

#### 24.14 Solarkonstante: warum ist $\frac{1}{4}$ das globale Mittel?

- *Empfangen wird die Sonnenstrahlung mit der Projektion der Erdkugel auf die Strahlungsrichtung = Kreisfläche. Die Erdoberfläche ist jedoch eine Kugeloberfläche und 4-mal so groß wie die Querschnittsfläche der Erde, daher ist das Mittel der Strahlungsleistung nur ein Viertel.*

#### 24.15 Welche Gase absorbieren?

- *Alle Gase, aber in jeweils unterschiedlichen Wellenlängenbereichen, welche sich auch teilweise überlagern.  
UV: Ozon; terrestrisch: Kohlendioxid, Wasserdampf, Ozon, Methan, sonstige Treibhausgase*

#### 24.16 Fenster der Atmosphäre?

- *Ein atmosphärisches Fenster ist ein Wellenlängenbereich, in dem die Gase kaum absorbieren. Beispiel: bei solarer Strahlung im optischen Spektralbereich, bei terrestrischer Strahlung bei 10  $\mu\text{m}$ ;*

#### 24.17 Was geschieht alles mit der eingestrahnten Energie?

#### 24.18 Temperaturverlauf in der mittleren und höheren Atmosphäre, Gründe dafür

#### 24.19 Strahlungsabsorption

#### 24.20 Sondierung im terrestrischen Spektralbereich

#### 24.21 Strahlungsbilanz

##### 24.21.1 Was ist das?

- *Summe aller einfallenden und ausgesandten Strahlungsleistungen*

##### 24.21.2 Übers Jahr und über die ganze Erde gemittelt?

- *Die Erde steht im Strahlungsgleichgewicht, daher ist das Gesamtmittel Null.*

##### 24.21.3 Vom Pol zum Äquator?

- *Der Äquator empfängt mehr Strahlungsleistung als er emittiert, beim Pol ist es umgekehrt. Die Differenz wird durch Massetransporte (Wind, Meeresströmungen) vom Äquator zu den Polen transportiert.*

## 25 Thermodynamik

### 25.1 Hauptsätze

## 25.1.1 1. Hauptsatz

- *Energie kann nur umgewandelt, nicht erzeugt werden:*

$$dU = \delta Q + p dV = c_p dT + p dV$$

## 25.1.2 2. Hauptsatz

- *Wärme ist nicht vollständig in Arbeit umwandelbar, die Entropie nimmt niemals ab:*

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \geq 0$$

## 25.1.3 3. Hauptsatz

- *Nernstsches Theorem: Der absolute Nullpunkt kann nicht erreicht werden.*

## 25.2 thermodynamische Gleichungen

**26 Sonstiges**

## 26.1 Vegetationsindex

## 26.2 Prinzip der Fernerkundung

- *Strahlungsmessung*

## 26.3 Bestimmung von L, V (Sverdrup)

## 26.4 Extinktionsmethode

## 26.5 energetische Verdunstungsformel

- $$V = -\frac{R_L}{R_W} \frac{r}{c_p \cdot p} \alpha_L (E - e_L)$$

## 26.6 Elektrodeneffekt

## 26.7 Wozu Strahlungsschutz beim Assmann-Psychrometer?

- *Strahlung verfälscht die Messung*

# Experimentalphysik

## 27 Atomphysik

27.1 Woher kennt man den Aufbau der Atome?

27.2 Rydberg-Atome, Größenmessung

- *Rydberg-Atom = sehr hoch angeregtes Atom, dessen Radius entsprechend extrem angewachsen ist; das angeregte Elektron sieht nur eine abgeschirmte Kernladung*

27.3 Moseley-Gesetz

27.4 Rydberg-Konstante

27.5 Atomuhr

27.5.1 Wie funktioniert sie?

- *genutzt wird ein Hyperfeinstrukturübergang von Cs-133*

27.5.2 Wieso  $m_F=0$  Niveaus?

27.5.3 Atomsekunde, kosmische Sekunde, Schaltsekunde

27.6 Zeeman-Effekt

27.7 Paschen-Back-Effekt

27.8 Woher stammen die Elemente schwerer als Fe-56?

- *Aus Supernovae-Explosionen. Elemente leichter als Fe-56 können durch Fusion entstehen, weil dieser Vorgang exotherm ist; schwerere Elemente dagegen benötigen Energie, um erzeugt zu werden. Bei einer Supernova kollabiert ein Stern gravitativ (nachdem die Fusion zum Erliegen gekommen ist), dabei werden die Elektronen in den Kern gedrückt, es entsteht ein Neutronenstern. Die schweren Elemente werden also „gravitativ zusammengebacken“.*

27.9 Unterschied zwischen Sonnen- und Supernovaneutrinos?

27.10 Was ist Entropie?

27.11 Gasentladung, Leuchtstoffröhre

27.12 Heliumspektrum: warum keine  $S=0$  zu  $S=1$ -Übergänge?

- *LS-Kopplung: Verbot von Übergängen Triplett-Singulett*

27.13 Wieso gibt es keine verbotenen Übergänge mit  $\Delta L$  ungleich 1 bei Atomen, jedoch bei Kernübergängen?

27.14 21-cm-Linie des Wasserstoffatoms

- *Hyperfeinstrukturübergang im Grundzustand*

27.15 Schalenmodell für Atome: Rutherford, Bohr, Dirac

- *Rutherford: Streuversuch  $\Rightarrow$  schwere Kerne, die die positive Ladung und Masse versammeln; Bohr: diskrete strahlungsfreie Elektronenbahnen; Dirac: Materiewellen, Orbitale, Aufenthaltswahrscheinlichkeit*

## 28 Radioaktivität

28.1 radioaktiver Zerfall

28.2 spontane Kernspaltung und Potenzialtopf

28.3 Zerfallsreihen

- *Thorium, Neptunium, Uran, Actinium*

28.4 Alpha- und Beta-Zerfall, Massenbetrachtungen

- *Alphazerfall: Massenverlust ( $4 u$ ); Betazerfall: kein Massenverlust (Umwandlung zwischen Proton und Neutron)*

28.5 Warum zerfällt ein freies Neutron, warum nicht im Kern?

28.6 Lebensdauer von Protonen?

- *unendlich*

28.7 Antineutrino?

28.8 Oklo-Reaktor:

28.8.1 Wie hat er funktioniert?

- *Einsickerndes Regenwasser wirkt als Moderator und ermöglicht die Kernspaltung in der Uranlagerstätte.*
- 28.8.2 Wodurch Regelung?
  - *Nachdem der Reaktor so heiß geworden ist, dass das Wasser verdampft ist, fehlte der Moderator, die Kernspaltung kam zum Erliegen.*
- 28.8.3 Wie wurde er entdeckt?
  - *Auffällig war, dass, umso höher der Gesamt-Uran-Gehalt im Gestein war, desto stärker war das U-235 im Vergleich zu U-238 abgereichert => es war verbraucht worden.*

## 29 Kerne und Teilchen

- 29.1 Einteilung der Elementarteilchen
  - *Leptonen und Hadronen*
- 29.2 Detektoren, Linear- und Zirkularbeschleuniger (Synchronisation?)
- 29.3 schwache Wechselwirkung
  - *kurzreichweitig (wie die starke Wechselwirkung), um den Faktor 1000 schwächer als die starke WW, sehr massereiche Austauschbosonen (W, Z)*
- 29.4 leptonische und semileptonische Wechselwirkung
- 29.5 Prozesse ohne Beteiligung von Leptonen
- 29.6 starke Wechselwirkung, Reichweite
- 29.7 Rutherford-Versuch, Streuquerschnitt, Formfaktor
- 29.8 Neutronenstreuung
- 29.9 Neutrino nachweis
- 29.10 Messung der Elementarladung
  - *Milikan-Experiment*
- 29.11 Pion: Messung von Ladung, Masse, Spin; Mott-Streuung; Zerfall Pion zu Myon;
- 29.12 Parität, Paritätsverletzung
- 29.13 Funktionsweise eines Kernspintomographen
- 29.14 Proton im Magnetfeld: wirkendes Drehmoment und Energiedifferenzen der Einstellungsmöglichkeiten
- 29.15 Kernmagneton: Größenordnung, Vergleich mit Bohrschem Magneton
  - *Größenordnung 1/1000 des Bohrschen Magnetons*
- 29.16 Wechselwirkung Photon-Atom: Photoeffekt, innerer Photoeffekt, Auger-Effekt, Einsteinformel, Compton-Effekt, Paarbildung, Streuung, Rayleigh-Streuung, spontane und erzwungene Emission
- 29.17 Kernfusion
  - 29.17.1 kalte Fusion
  - 29.17.2 Laserfusion
  - 29.17.3 Plasmafusion
  - 29.17.4 Coulomb-Wall
  - 29.17.5 Lawson-Kriterium
  - 29.17.6 Warum funktioniert Fusion H+H auf der Sonne aber nicht auf der Erde?
    - *Die Fusion passiert nur sehr selten, daher ist sie in der Sonne nur möglich, weil dort gigantische Mengen an Wasserstoff vorhanden sind, so dass in der Summe viele Fusionen zusammen kommen; auf der Erde in kleinem Maßstab funktioniert das aber nicht.*
- 29.18 Kernspaltung
  - 29.18.1 Warum U-235 statt U-238?
    - *gerade Neutronenzahl => beim Zerfall muss zusätzlich die Paarungsenergie überwunden werden => bei U-238 sind schnelle Neutronen zur Spaltung nötig, allerdings ist bei schnellen Neutronen der Wirkungsquerschnitt geringer als bei thermischen Neutronen*
  - 29.18.2 Zerfallsarten

- 29.18.3 Z-N-Diagramm, magische Zahlen
- *magische Kerne = Kerne mit abgeschlossenen Protonen- oder Neutronenschalen; doppelt magische Kerne = Protonen- und Neutronenschale ist abgeschlossen*
- 29.18.4 Wie viele stabile Nuklide gibt es?
- *Es gibt ca. 110 Elemente; wenn jedes davon ca. 3–4 stabile Isotope hat, kommt man auf etwa 350 stabile Nuklide.*
- 29.18.5 Steuerung des Reaktors, verzögerte Neutronen
- *Ein geringer Anteil der bei der Kernspaltung entstehenden Neutronen wird nicht sofort (im Nanosekunden-Bereich) frei, sondern erst verzögert (ca. Sekunde). Ein mit prompten Neutronen überkritischer Reaktor ist nicht steuerbar, da die Kettenreaktion zu schnell abläuft; auf die verzögerten Neutronen kann man mit den Steuerstäben (die ein Neutronengift wie Bor enthalten) dagegen gut reagieren => Ziel ist es, den Reaktor für prompte Neutronen unterkritisch zu halten und die Kritikalität durch verzögerte Neutronen herzustellen.*
- 29.18.6 kritische Masse, Wirkungsquerschnitt
- 29.19 Warum sind Atome mit  $Z > 50$  stabil?
- 29.20 Quarks: Farbladung, Quarkeinschluss, Baryonen und Mesonen, wie lässt sich die negative Parität aus der Quarkstruktur erklären?, Eichbosonen
- 29.21 Austauscheteilchen
- *Vektorbosonen: EM = Photonen; starke Wechselwirkung = Gluonen; schwache Wechselwirkung =  $Z^0$ - und  $W^\pm$ -Bosonen; Gravitation = Gravitonen;*
- 29.22 Quantenzahlen: Wasserstoffatom im Grundzustand, He- und H-Termschema, Singulett, Triplett, Interkombinationsverbot, Strahlungsübergänge
- 29.23 Deuteron: Bindungsenergie, Spin und Isospin für D, D-Proton und D-Neutron
- *Isospin = Spin von Proton und Neutron => Isotope haben wegen des Isospins unterschiedliche Kernspins*
- 29.24 Feinstruktur und Hyperfeinstruktur; Größenordnung der Aufspaltung
- *Feinstruktur durch Spin-Bahn-Kopplung, Hyperfeinstruktur durch Spin-Kernspin-Kopplung; Feinstruktur ist ca. 1000-mal größer als Hyperfeinstruktur*
- 29.25 Lamb-Shift
- *Aussendung virtueller Photonen => Energieniveaushiftung*
- 29.26 Stern-Gerlach-Versuch
- 29.26.1 Warum inhomogenes Feld?
- *damit die magnetisch unterschiedlich ausgerichteten Atome auseinander gezogen werden*
- 29.26.2 Warum nicht mit einem Elektronenstrahl?
- *man benötigt eine Präzessionsbewegung; Elektronen würden sich einfach nach dem Feld ausrichten*
- 29.27 Warum strahlt ein beschleunigtes Teilchen?
- *Beschleunigung = Schwingung oder Kreisbewegung (in Projektion = Schwingung) => Hertzscher Dipol*
- 29.28 Röntgenquellen
- *Bremsstrahlung (Abbremsung und Ablenkung von Elektronen im Kernfeld, kontinuierliches Spektrum), Rekombination von kernnahen Elektronenschalen (charakteristische Strahlung, diskrete Energieniveaus), optische Anregung*
- 29.29 natürliche Linienbreiten für Röntgenstrahlung
- 29.30 Mößbauer-Effekt
- 29.31 Tröpfchenmodell des Kerns
- *Dichte des Kerns ist weitgehend konstant, d.h. unabhängig von der Massen- oder Kernladungszahl, genauso wie die Dichte in einem Wassertropfen konstant ist, unabhängig von dessen Größe*
- 29.32 Symmetrieterm
- 29.33 Massendefekt

- 29.34 Bindungsenergie und Potenzial der Nukleonen im Kern: Bindungsenergie pro Nukleon, warum haben nicht alle Kerne die maximale Bindungsenergie?
- 29.35 Potenzial bei der Annäherung zweier Kerne
- *zuerst Coulombpotenzial  $1/r^2$ ; dann wirken die Kernkräfte => Potenzialtopf*
- 29.36 Strahlung: Hohlraumstrahlung, Planck, Rayleigh-Jeans, UV-Katastrophe, Messung der Strahlungsverteilung
- 29.37 Quantenmechanik, Gründe dafür: Photoeffekt, Strahlungsgesetz, Wärmekapazität der Festkörper
- 29.38 Welle-Teilchen-Dualismus
- 29.39 Massenspektrometer; Messung der Massen von instabilen Kernen und Neutronen?
- *Massenspektrometer verwenden ein elektrisches Feld als Energiefilter und ein Magnetfeld als Impulsfilter*
- 29.40 Bethe-Bloch-Formel

### 30 Festkörperphysik

- 30.1 Bändermodell: Isolator, Halbleiter, Metall, Supraleitung; Abhängigkeit des Widerstands von der Temperatur; dotierte Halbleiter; pn-Übergang;
- 30.2 Supraleitung:
- 30.2.1 Sprungtemperatur
- 30.2.2 Cooper-Paare
- *Elektronen verbinden sich zu Paaren => sind Bosonen statt Fermionen, können somit alle im Grundzustand sein*
- 30.2.3 Hochtemperatursupraleiter
- *z.B. YBCO*
- 30.3 Solarzelle, Fermi-Energie
- 30.4 Bragg-Reflexion: Röntgenstreuung, elastisch/inelastisch, Absorption/Emission/Reflexion
- 30.5 Wellenausbreitung im Festkörper: diskrete Energien, Gitterstruktur

### 31 Geophysik

- 31.1 Kernfusionsmechanismen auf der Sonne: pp- und CNO-Zyklus
- *pp-Zyklus: Protonen fusionieren nacheinander zu Helium*
  - *CNO-Zyklus: Kohlenstoff fusioniert mit Wasserstoff zuerst zu Stickstoff und dann zu Sauerstoff, dieser zerfällt mit einem Alpha-Zerfall (= Helium) wieder zu Kohlenstoff => Kohlenstoff dient als Katalysator*
- 31.2 Solarkonstante
- 31.3 Verteilung der Radioaktivität im Erdinneren
- 31.4 Wärmeproduktion: Verhältnis Auskristallisation/Radioaktivität? Wie schnell würde Erde abkühlen ohne Radioaktivität?
- 31.5 Wärmeleitungsgleichung
- $j = -\lambda \text{ grad } T$
- 31.6 Konvektion: Rayleighzahl, chaotische Konvektion, Bernarzelle
- 31.7 Warum finden sich die radioaktiven Elemente v.a. im Erdmantel? Uran hat eine extrem hohe Dichte, daher müsste es auf jeden Fall absinken. Was für eine Dichte hat Pechblende? Was ist Pechblende?
- *Pechblende ist  $UO_2$  und hat eine Dichte von ca.  $10 \text{ g/cm}^3$  (d.h. halb so groß wie von reinem Uran)*
  - *radioaktive Atome sind sehr groß und lassen sich darum schlecht in ein Kristallgitter einbauen, d.h. sie finden sich eher in der Schmelze, mit der sie an die Erdoberfläche transportiert werden*
- 31.8 Aufbau der Erde; Druck und Temperatur
- 31.9 Phasendiagramm eines Minerals und von Wasser

- 31.10 kosmische Strahlung: Primär- und Sekundärstrahlung; Detektoren;
- 31.11 Warum ist die Erde rund? Viskosität, Äquipotenzialflächen der Gravitation, Kugelflächenfunktionen, Abweichung von der Kugelgestalt
- 31.12 Mondfrequenz
- 31.13 Gezeiten: Richtung des Drehimpulses, Gezeitenreibung, Verlangsamung der Erdrotation, was macht es für einen Unterschied ob sich der Mond gleich oder entgegengesetzt wie die Erde rotiert?
- 31.14 Drehimpulsvektor? Drehimpulserhaltung => Mond entfernt sich von Erde
- 31.15 Messung seismologischer Wellen