

## Kapitel 9 Zeitmessung im System Erde

(genauerer zu den Datierungsmethoden unter Quartärgeologie)

### 1) Nennen Sie Beispiele für verschieden schnelle Abläufe in der Geologie!

- Sekundenschnell: Meteoriten, Vulkane oder Erdbeben
- Max. ca. 200 Millionen Jahre (heute): Lebensdauer von ozeanischer Lithosphäre
- Milliarden Jahre: Entwicklung von Kontinenten, Entstehung der Erde

### 2) Welches Archiv können wir nutzen, um Ereignisse in der Zeit zu beschreiben?

Kurzzeitige Erscheinungen können direkt gemessen werden: Gletscherbewegung in m/Jahr, Erosion eines Strandes oder Kontinentaldrift in cm/Jahr.

Historische Überlieferungen können geologische Ereignisse zeitlich einordnen. Diese Einordnung ist jedoch viel zu fragmentarisch. Unser einziges Quellmaterial ist also das Archiv der Steine, die nicht der Erosion oder Subduktion zum Opfer fielen.

### 3) Wie alt ist die ozeanische Kruste, wie alt sind die Kontinente?

Ozeanische Kruste: ca. 200 Millionen Jahre alt. Alles, was älter ist, gelangte durch Subduktion wieder in den Gesteinskreislauf zurück und ist für Datierungen nicht mehr verfügbar.

Kontinentale Kruste: Wesentlich älter, daher ist der größte Teil der Erdgeschichte nur auf den Kontinenten zu finden.

### 4) Wie lässt sich Subsidenz rekonstruieren? Was bedarf es, um die Geschwindigkeit dieser Vorgänge zu rekonstruieren?

Aus:

- Sedimentation
  - Hebung aus der Erosion der Gesteinsabfolge
  - Deformation an Plattengrenzen (Störungen, Falten, Metamorphose)
- Um die Geschwindigkeit dieser Vorgänge zu rekonstruieren, bedarf es einer exakten Datierung der Gesteine und Gesteinsschichten.

### 5) Welche 2 Altersangaben gibt es in der Geologie?

- Relative: Knochen von Fischen in marinen Sedimenten wurden früher abgelagert, als Knochen von Säugetieren in terrestrischen Sedimenten -> Das Alter eines Ereignisses ist relativ zu einem anderen datiert

- Absolute: Bestimmung auf das Jahr genau

### 6) Wie kam man auf die Idee des Fossils?

Menschen im 17. Jhd. nahmen an, dass Fossilien keine Überreste von früheren Epochen darstellten, sondern ein Teil der Schöpfungsgeschichte sein mussten oder selbst im Gestein erwachsen waren. Später erkannte man, dass bestimmte Formen in Gesteinen den lebenden Zähnen von lebenden Fischen entsprachen. So kam man auf den Begriff des Fossils und auf die Versteinerung durch z. Bsp. Kieselsäure.

### 7) Was versteht man unter Chronostratigraphie?

Wissenschaft von der Beschreibung, dem Schichtvergleich und der Klassifizierung von Schichten im Sedimentgestein unter Eingliederung in die Zeit (relative Altersangabe).

### 8) Was ist eine stratigraphische Abfolge?

Eine chronologisch geordnete Abfolge von Schichten.

### 9) Was versteht man unter einer Formation?

Abfolge von Gesteinsschichten, die überall anhand von ihrer physikalischen Eigenschaften zu erkennen ist. Jede F. besteht aus einem einzigen Gesteinstyp oder einer eigenständigen Folge von Gesteinsschichten, die als stratigraphische Einheit kartiert werden kann.

### 10) Was sind die 2 Grundprinzipien der Stratigraphie?

- Prinzip der ursprünglichen horizontalen Ablagerung (durch Schwerkraft ungestörte Ablagerung)
- Prinzip der Lagerungsfolge (Lagerregel: jung über alt)

### 11) Welche Probleme gibt es mit den Grundprinzipien der Stratigraphie in der Natur?

- Stratigraphische Abfolge ist selten komplett (Lücken von kurzer und oder langer Dauer)
- Oft liegen Formationen weit auseinander

### 12) Wann bedient man sich Fossilien als Hilfe für die relative Altersbestimmung?

Z.B.: Allein aus der stratigraphischen Abfolge heraus, konnte man nicht erklären, ob Tonsteine in der Toskana älter, jünger, oder gleich alt waren, als eine entsprechende Abfolge in England. Fossilien schafften Abhilfe.

### 13) Was besagt das Prinzip der Faunenabfolge?

Fossilien befinden sich in den Schichten eines Aufschlusses in einer bestimmten Reihenfolge (z. Bsp. von unten nach oben), wie man sie auch in anderen Aufschlüssen findet, so dass die Schichten verschiedener Standorte

miteinander korreliert werden können. Durch die Faunenabfolge kann man so verschiedene Aufschlüsse an verschiedenen Orten stratigraphisch übereinander legen.

#### 14) Was ist die Paläontologie?

Wissenschaft zur Erforschung des Lebens vergangener Erdzeitalter

#### 15) Welche Fossilien findet man überwiegend?

- Invertebraten: Wirbellose Tiere wie Venusmuscheln, Austern und anderen Schalentieren  
- Seltener: Knochen von Wirbeltieren, wie Säugetiere, Dinosaurier, oder Reptilien.  
→ Weiter zeigte sich, dass Pflanzenreste in einigen Gesteinen häufig vorkamen, wie z. Bsp. in den Kohleflözen, in anderen Gesteinen, wie der Metamorphite, kaum bis gar nicht aufgrund der hohen Deformation. Auch Intrusivgesteine liefern keine Überreste, da durch die hohen Temperaturen alles Material zerstört wird.

#### 16) Was sind Diskordanzen? Welche 2 Arten werden unterschieden?

Lücken in der Schichtenfolge: Die Grenze, an der sich 2 verschiedene Formationen berühren, wird als Diskordanz bezeichnet. Es handelt sich um eine Grenze 2er Schichten, die nicht kontinuierlich abgelagert wurden.

Verantwortlich sind tektonische Vorgänge, wie Heraushebung aus dem Meer, Erosion, Absenkung unter das Meer unter Bildung neuer Schichten.

Erosionsdiskordanz: Entsteht durch Heraushebung, Erosion, Absenkung und Neusedimentation unter dem Meer.

Winkeldiskordanz: Schichten stoßen T-Förmig aufeinander durch zusätzliche Verkippung der unteren Lagen vor neuer horizontaler Ablagerung

#### 17) Eine ... repräsentiert wie eine Sedimentationsschicht, eine bestimmte...!

Schichtlücke; Zeitspanne

#### 18) Wozu ist es sinnvoll, sich Kombinationen von Verbandsverhältnissen mit Geländebeobachtungen an Diskordanzen und stratigraphischen Abfolgen anzusehen?

- Es lässt sich selbst in geologisch kompliziert gebauten Gebieten der Werdegang durch eine relative Datierung rekonstruieren.

#### 19) Warum ist die bekannte Geologische Zeitskala eine relative Zeitskala?

Weil durch Korrelation der Fossilabfolge globaler Formationen, nur das relative Alter der Gesteine bestimmt werden konnte. Ergänzt wurde dieses rel. Datierung mit absoluten Datierungsverfahren.

#### 20) Beschreiben Sie die Geologische Zeitskala!

Die Abgrenzung der Einheiten in der geol. Zeitskala erfolgte dort, wo ein abrupter Wechsel der Fossilienfunde stattfand, es also zum Aussterben mancher Arten und zum Vorschein neuer Arten kam, oft war ein Massenaussterben dafür verantwortlich. Daraus ergibt sich aber auch, dass nur ab dem Kambrium (älteste Epoche mit fossiler Überlieferung 510ma) diese Arbeitsweise und Skala aufgebaut werden konnte, dh. erst im Phanerozoikum als Zeitalter des „sichtbaren Lebens“.

Das wesentlich längere Erdzeitalter davor, das Proterozoikum als Zeitalter des „nicht sichtbaren Lebens“, müssen wir auf andere Weise zeitlich einordnen. Die geologische Zeitskala ist in geochronologischer Hinsicht in:

- Äon
- Ära
- Perioden
- Epochen und
- Altern

eingeteilt, wobei das Äon der längste Zeitabschnitt ist. Über allen Ären befindet sich noch eine größere Zusammenfassung (Äone): Das Phanerozoikum, Proterozoikum (Neo-Meso-Paläo), das Archaikum (Neo, Meso, Paläo, Eo) und das Hadaikum. Gegenwärtig leben wir im Holozän, im Quartär, im Neogen, im Känozoikum und im Phanerozoikum.

#### 21) Wie viele große Massenaussterben sind bekannt und was waren die größten?

ca. 5 große Massenaussterben sind bekannt, die größten 2:

1.) Am Ende des Perms an der Grenze Paläozoikum - Mesozoikum. Dieses MA löschte nahezu 95 % aller Arten aus. Gründe hierfür, wurden noch nicht gefunden. Meteoriten, Vulkane oder die Bildung Pangäas könnten Ursachen sein.

2.) Ende der Kreidezeit, das bekannteste, aber nicht größte Massenaussterben, bei dem nur 75% aller Arten ausstarben, ua. die Dinosaurier. Diese Evolutionsstufe ebnete erst den Weg für die Entstehung der Säugetiere, wie den Menschen! Der Grund hierfür wird wahrscheinlich ein Einschlag eines Meteoriten bei Mexico gewesen sein mit anschließendem globalem Kollaps.

#### 22) Vor dem Paläozoikum, bzw. dem Kambrium, fand man keine Fossilien mehr in den Gesteinsschichten. Hier liegt die Grenze zum Präkambrium, die Ära des Neoproterozoikum. Mit welcher Methode kann man jetzt noch das Alter bestimmen?

- Radioaktivität

#### 23) Wie konnte man das Alter der Erde und das Alter des Sonnensystems exakt bestimmen?

Das Alter vieler Gesteine lässt sich mit dem radioaktiven Zerfall der Elemente wie Uran oder Radium messen. So

kam man auch zu der Erkenntnis, dass einige präkambrischen Gesteine mehrere Milliarden Jahre alt sein mussten. Im Jahre 1956 bestimmte die Geologin Clare Paterson durch den Zerfall des Urans in Meteoriten das Sonnensystem und die Erde vor 4,56 Milliarden Jahren entstanden war.

#### **24) Was ist ein Isotop?**

Isotope sind Nuklide, also Atomkernsorten, mit gleicher Protonen, aber unterschiedlicher Neutronenzahl. Isotope sind somit Atome eines selben Elementes, jedoch mit unterschiedlichen Massenzahlen.

#### **25) Beschreiben Sie, wie radioaktive Atome die „Uhren der Gesteine“ sind!**

Ein Mutteratom zerfällt radioaktiv in ein Tochteratom. Ein gebräuchliches Element für radiometrische Altersbestimmungen ist Rubidium, das 37 Protonen besitzt und aus 2 natürlich vorkommenden Isotopen besteht: Rubidium -85: besteht aus 38 Neutronen und ist stabil  
Rubidium -87 besteht aus 40 Neutronen und ist radioaktiv / instabil  
→ Ein Neutron im Kern des Rubidiums kann spontan unter Freisetzung eines Elektrons in ein Proton übergehen, welches im Kern verbleibt. Somit wird aus dem Rubidium-Atom mit 37 Atomen ein Strontium-Atom mit 38 Protonen und 39 Neutronen.

Die Zeit, in der die Hälfte aller Mutteratome in Tochteratome zerfallen ist, wird Halbwertszeit (HWZ) genannt. Von Rubidium -87 beträgt die HWZ 47 Milliarden Jahre.

Um das radiometrische Alter bestimmen zu können, muss die Menge des im Gestein vorliegenden Mutterisotopes bekannt sein. Am Ende der ersten HWZ, ist die Hälfte der Mutterisotope in Tochterisotope zerfallen. Nach wiederum der Hälfte, ist nur noch  $\frac{1}{4}$  der Mutterisotope vorhanden.

Das Verhältnis von  $^{87}\text{Sr}$  zu  $^{87}\text{Rb}$  wird mit einem Massenspektrometer bestimmt, einem hochpräzisen und empfindlichen Instrument, das selbst winzige Isotopenmengen nachweisen kann. Mit Hilfe dieser Messungen und über die Zerfallsrate, lässt sich die Zeit berechnen, die seit dem ersten Ticken der radioaktiven Uhr vergangen ist. Das radiometrische Alter eines Gesteins entspricht dem Zeitpunkt, zu dem die Isotope in den entsprechenden Mineralen eingebaut wurden und damit die radioaktive Uhr des Minerals zu ticken begann. Dieser Einbau geschieht bei der Auskristallisation einer Schmelze oder im Verlauf der Metamorphose durch Rekristallisation.

#### **26) Wo liegen mögliche Fehlerquellen bei der radiometrischen Datierung?**

##### Bei der Auskristallisation einer Schmelze

-> wird die Anzahl der Tochterisotope jedoch nicht unbedingt auf 0 gesetzt, daher muss bei der Bestimmung des radiogenen Alters die ursprüngliche Menge mitberücksichtigt werden.

##### Durch Verwitterung

-> kann ein Mineral einen Teil seiner Tochterisotope abgeben, oder es kann durch Fluide, die im Gestein zirkulieren, verunreinigt werden. Ebenso können bei der M. TI, die sich seit der Kristallisation angereichert haben, teilweise oder vollständig verloren gehen, so dass ein jüngeres Alter gemessen wird.

#### **27) Welche Messung eignet sich für sehr junge, bzw. sehr alte Gesteine?**

##### Jung:

-  $^{137}\text{Cs}$ : Cäsium-137, nicht natürliches Isotop, entsteht bei unterirdischen Atombombentests: Maximum: 1963 und 1984 (Tschernobyl). Eignet sich für sehr junge Sedimente

##### -C14-Datierung

- eignet sich für mehrere Jahrtausendaltes Material bis ca. 35.000 Jahre vor heute: Sterben Tiere oder Pflanzen ab, so entspricht das Kohlenstoffisotopenverhältnis der radioaktiven Isotope mit den stabilen Isotopen das, der damaligen Zusammensetzung der Luft. Da das  $^{14}\text{C}$  jedoch ein flüchtiges Gas ist, muss man in diesem Fall den  $^{14}\text{C}$ -Anteil der Pflanze mit den damaligen Verhältnissen in der Luft vergleichen (Vergleich Mutter-Tochterisotop. Probleme und Gefahren: Reservoir-Effekte)

##### Alt:

- Rubidium-87; Uran-238; Kalium-40

- mehr zu den Datierungsmöglichkeiten unter „Grundlagen des Quartärs“.

#### **28) Geologische Zeitskala – was war typisch für die 4 Äonen?**

##### Präkambrium (4,6 Milliarden Jahre bis 542 Millionen Jahre) mit:

###### Hadaikum (4,6-3,9 Milliarden Jahre):

- Erde war einem Bombardement aus Meteoriten ausgesetzt
- Kollisionen eines Protoplaneten der Größe des Marses führte zur Entstehung des Mondes
- Erde musste sich rasch abgekühlt haben, da es ab 4,4 Milliarden Jahren erste Gesteine gab, die auf Wasser hindeuteten.

###### Archaikum (3,9 bis 2,5 Milliarden Jahre):

- System Geodynamo und System Klima war vorhanden.
- Saure Kruste und erste plattentektonische Vorgänge
- Erste Fossilien primitiver einzelliger Mikroorganismen

###### Protektozoikum (2,5 Milliarden Jahre bis 542 Millionen Jahre):

- Klima und Plattentektonik wie heute wirksam

- Ende des Präkambriums am Ende des Proterozoikums
- Im Verlauf stieg durch Mikroorganismen der Sauerstoffgehalt deutlich an, was zur Eisenoxidausfällung und einer Rotfärbung der Sedimente führte.
- Zunahme des Sauerstoffgehaltes führte auch zur Zunahme mehrzelliger Algen und Tieren

**Phanerozoikum (542 Millionen Jahre bis heute) mit:**

- Paläozoikum ( 542-252), Mesozoikum (252-65) und Känozoikum (65-jetzt)
- heißt übersetzt: Sichtbares Leben

→ passend, da es alle Ären umfasst, die sichtbares Leben hervorbrachten

**29) Was versteht man unter Sequenzstratigraphie?**

- Durch künstlich erzeugte seismische Wellen (Erdbeben, Explosionen), lässt sich ein Untergrundprofil ohne Bohrungen erstellen. Grundeinheit der mit seismischen Wellen festgelegten Profile ist eine Sequenz, eine Schicht, die diskordant über- und unterlagert wird. Da der Meeresspiegel weltweit steigt oder sinkt, lassen sich Sequenzen in marinen Sedimenten gut korrelieren.

**30) Was versteht man unter Chemostratigraphie?**

In carbonatreichen Sedimenten, kann der Eisen oder Mangangehalt schwanken, wenn sich zum Zeitpunkt der Ausfällung die Zusammensetzung des Meerwassers ändert. In den späteren Sedimentgesteinen bleiben solche Veränderungen der Wasserzusammensetzung überliefert und datiert. Da auch das weltweit auftreten kann, dient die Chemostratigraphie hier auch der Korrelation anderer Sedimente mit Schichtlücken oder Sedimente ohne Fossilien.

**31) Was ist Magnetostratigraphie?**

- Wichtigste Methode bei der Ermittlung von Sedimentationsraten entlang der Kontinentalränder und in der Tiefsee durch die Überlieferung der Magnetfeldumkehr.

**32) Zeitmessung im System Klima – Nennen Sie für die Bestimmung der Klimazyklen im Quartär, mehrere Methoden!**

- Massenbestimmungen der stabilen Sauerstoffisotope in Foraminiferengehäusen. Dadurch lässt sich die Umgebungstemperatur bestimmen (Eiszeiten binden mehr O16, daher höhere Zahl an O18 in den Weltmeeren und in den Organismen)
- C14- Datierung um Alter und Entstehung der Schalen von Tieren zu bestimmen
- Co2 –Gehalt in winzigen Gasblasen im Eis untersuchen: Leider kann das Alter der Gasblasen nicht genau datiert werden, da diese zu wenig C14 enthalten. Durch Aschelagen im Eis kann dann aber ähnlich wie bei der Dendrochronologie das Alter ermittelt werden, ebenso durch die radiometrische Datierung.