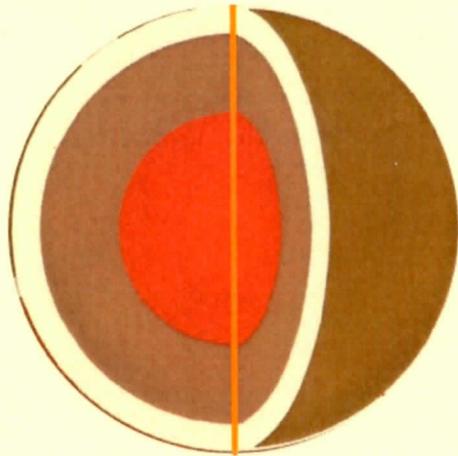


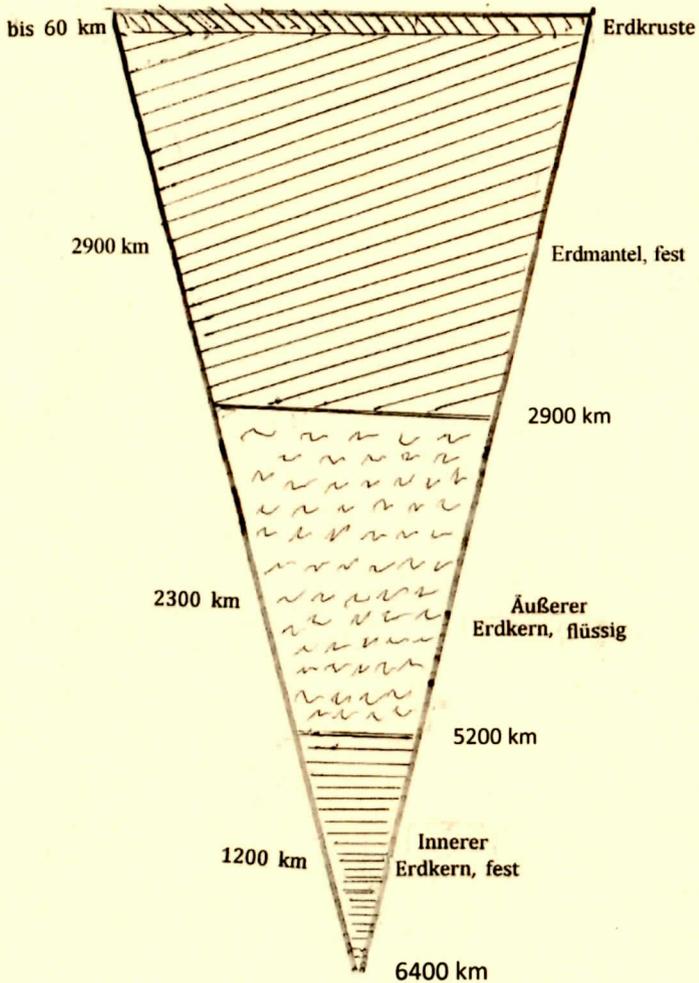
# Erdgeschichten

Kurze Einführung in die Geologie



Walter Hähnel  
2014

# Querschnitt durch die Erde Von der Erdoberfläche bis zum Erdmittelpunkt



## Erdgeschichten

Woher wissen die Wissenschaftler, wie es im Erdinneren aussieht?

Nun, hineingucken kann man nicht.

Die Erde hat am Äquator gemessen einen Durchmesser von 12.756 km. Die Erde ist keine ideale Kugel. Die durch die Umdrehungen verursachte Fliehkraft führt dazu, dass die Erde ein wenig abgeplattet ist. Dadurch ist der Durchmesser der Erde über die Pole gemessen um 42 km geringer. Das zeigt aber auch, dass sie ganz schön hart ist.

## Erdbeben

Die tiefsten Bohrlöcher auf der Erde sind etwa 15 km tief. Damit kann man noch nicht viel über das Erdinnere erfahren.

Es gibt aber Ereignisse, die Informationen über das Erdinnere ermöglichen. Das sind die Erdbebenwellen.

Bei Erdbeben entstehen verschiedene Arten von Druckwellen, die teils tief in das Erdinnere eindringen, teils sich an der Erdoberfläche fortpflanzen. Man unterscheidet P-, S- und L-Wellen. Die P-Wellen schwingen in Fortpflanzungsrichtung, wie ein Gummiband, das man streckt und loslässt. Die S-Wellen bewegen sich quer zur Fortpflanzungsrichtung. Die L-Wellen wandern über die Erdoberfläche.

Eine Besonderheit besteht darin, dass die P-Wellen nicht in Flüssigkeiten eindringen können. Sie dringen also nicht in den zähflüssigen oberen Erdkern ein, während die S-Wellen den ganzen Erdkugel durchqueren können.

Die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen ist abhängig von der Dichte der Gesteine, die sie durchlaufen. Je tiefer man in das Erdinnere eindringt, umso dichter werden die Gesteine. Die P-Wellen wandern mit einer Geschwindigkeit von 5 - 13 km pro Sekunde durch das Erdinnere; die S-Wellen etwas langsamer mit 3 - 7 km pro Sekunde.

Die Erdbebenwellen bringen also Informationen über das Erdinnere. Wenn an drei verschiedenen Orten die Wellen eines Erdbebens gemessen werden, kann man die Lage und die Tiefe des Erdbebenherdes ermitteln.

## Der Bau der Erde

Das Studium der Erdbebenwellen hat ergeben, dass das Erdinnere aus verschiedenen Schalen besteht. Die oberste Schale ist die Erdkruste, die unter den Ozeanen nur 3 - 6 km dick ist, unter den Kontinenten dagegen bis 60 km. Darunter folgt der Erdmantel, der bis in eine Tiefe von 2900 km reicht. Man unterscheidet den oberen Erdmantel bis 700 km Tiefe – dieser Bereich wird als Asthenosphäre bezeichnet – und den unteren Erdmantel.

Die folgende Schale ist der Erdkern, der von 2900 km Tiefe, bis zum Erdmittelpunkt in 6378 km Tiefe reicht. Der Erdkern ist unterteilt in den oberen Erdkern, der eine Art Flüssigkeit ist und den unteren Erdkern, der fest ist. Der obere Erdkern reicht von einer Tiefe von 2900 km bis zu 5200 km, der untere Teil des Erdkerns von 5200 km bis zum Erdmittelpunkt.

Die Grenzen der einzelnen Schalen zeichnen sich dadurch aus, dass dort die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen sprunghaft zunimmt. Eine solche Grenze befindet sich zwischen der Erdkruste und dem Erdmantel. Dort steigt die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen von ca. 6,7 auf 8,3 km/sec an.

Diese Grenze wurde von dem jugoslawischen Seismologen Mohorovicic entdeckt. Darum wird diese Grenze als Mohorovicic - Diskontinuität, kurz als Moho bezeichnet.

Für die Wissenschaftler war es nun interessant, zu wissen, was diese Geschwindigkeitsänderung verursacht, also welche Gesteinsart sich unter der Moho befindet. So kam man auf die Idee, dort, wo die Erdkruste unter dem Ozeanboden nicht so dick ist, ein Loch zu bohren. Man müsste ein Schiff konstruieren, das noch in 3000 bis 4000 m Wassertiefe die Erdkruste durchbohren könnte. Man machte Versuche mit Bohrschiffen in flachem Wasser. Das erste Schiff, das in der Lage war, in tiefem Wasser zu bohren, war die Glomar Challenger. Über die Reisen dieses Bohrschiffes ist ein Buch erschienen mit dem Titel: „Ein Schiff revolutioniert die Wissenschaft“. Die Bohrergebnisse haben einen Beweis für die Richtigkeit der Plattentektonik erbracht.

Doch der Plan, die Moho zu durchbohren, wurde nicht verwirklicht. Das hing damit zusammen, dass die Russen zu der Zeit den Satelliten Sputnik ins All geschossen hatten. Daraufhin wurden alle Gelder in die Raumforschung verlegt. Außerdem führte Amerika zu der Zeit den Krieg gegen Vietnam.

## Ozeanböden

Es gab noch ein anderes Problem, das die Wissenschaftler interessierte. Bis in die dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts war man der Meinung, dass die Ozeanböden aus großen, flachen Ebenen bestünden und so alt sein müssten wie die Erde – also etwa 4,6 Milliarden Jahre. Man schätzte, dass sich in 1 Million Jahren etwa

1 mm Sediment am Meeresboden bildet, dann müssten sich etwa 5000 m Sediment angesammelt haben. Man fand aber nur höchstens 500 m. Wo waren die anderen 4500 m geblieben?

Durch die Erfindung des Echolotes kamen die Forscher zu anderen Ansichten. Es stellte sich heraus, dass die Ozeanböden keinesfalls große Ebenen waren. Man entdeckte lange Gebirge und einzelne Berge auf dem Meeresgrund. Das längste Gebirge der Erde befindet sich dort. Das ist der sogenannte Mittelozeanische Rücken, der etwa 60 000 km lang und bis zu 3000 m hoch ist; er zieht sich durch alle Ozeane.

Dieser Rücken zeigt eine Besonderheit. Auf dem Scheitel des Gebirges befindet sich eine durchgehende Spalte, aus der permanent Basaltlava austritt und sich rechts und links des Rückens ablagert. Es entsteht neuer Ozeanboden in einer Ausdehnung von 6 - 10 cm pro Jahr. Da die Erde dadurch nicht größer wird, muss anderswo Meeresboden verschwinden. Man kennt solche Gebiete, die als Subduktionszonen bezeichnet werden.

## Magnetismus von Eisenmineralen

Neben dem Echolot war es eine Messmethode, die mehr Einsichten in die Geschehnisse auf dem Meeresboden brachte. Viele Gesteine enthalten Eisenminerale. Wenn ein Magma oder eine Lava abkühlt, bilden sich in dem flüssigen Material Eisenminerale, die auf Grund ihrer magnetischen Eigenschaften durch das Magnetfeld der Erde entsprechend der Lage der Pole ausgerichtet werden. Der Magnetismus der in der festen Lava eingebetteten Eisenminerale ist äußerst gering. Eine neue Messmethode erlaubte es, diesen Magnetismus zu messen.

Es gab eine Überraschung. Die neben dem Mittelozeanischen Rücken ausgetretene Lava zeigte die erwartete Polarisierung. Aber bei früherem Meeresboden, der schon vor längerer Zeit entstanden war und sich vom Mittelozeanischen Rücken wegbewegt hatte war die magnetische Ausrichtung der Eisenminerale im Gestein entgegengesetzt. Es musste also eine Polumkehrung des Erdmagnetfeldes stattgefunden haben. Bei weiteren Untersuchungen stellte man fest, dass diese Pol Umkehrungen

in der Erdgeschichte sehr oft aufgetreten sind. Allein in den letzten 4 Millionen Jahren hat es sieben Mal eine Polumkehrung gegeben. Warum und wodurch sich das Magnetfeld umpolt, ist nicht bekannt.

## Kontinentalverschiebung

Geologische Forschungen ergaben, insbesondere durch Fossilienfunde, dass vor etwa 200 Millionen Jahren alle Kontinente in einem großen Komplex vereinigt waren, den man Pangäa nennt.

Dieser Block begann auseinander zu driften und es entstanden die heute bekannten Kontinente und Ozeane.

Es war früheren Forschern schon aufgefallen, dass die Westküstenlinien Eurasiens-Afrikas und die Ostküstenlinien von Nord- und Südamerika zusammen passen. Der Meteorologe Alfred Wegener machte daraus 1910 die Kontinentalverschiebungstheorie. Als treibende Kraft für die Verschiebung nannte er die Rotation der Erde, wodurch eine Polflucht der Kontinente entstanden sei.

## Plattentektonik

Der Erdmantel besteht aus festem Gestein, das ähnliche Eigenschaften hat wie Pech oder Bitumen, Pech oder Bitumen kann man in Stücke schlagen. Wenn man sie jedoch längere Zeit liegen lässt, dann fließen sie auseinander.

Ähnlich verhält sich das Mantelgestein; es hat gewisse Fließeigenschaften, die aber sehr langsam vor sich gehen, etwa 5 - 10 cm pro Jahr. Diese Eigenschaften haben zur Bildung großer Wirbel im Mantel geführt wodurch an der Oberfläche riesige Platten bewegt werden. Die Platten, die eine Dicke von 200 - 300 km haben, umfassen ganze Kontinente. Es gibt sieben große Platten, in die die Erdoberfläche aufgeteilt ist: Die Nordamerikanische Platte, die Südamerikanische, die Afrikanische, die Pazifische, die Euro-Asiatische, die Indo-Australische und die Antarktische Platte. Daneben gibt es noch eine Anzahl kleiner Platten.

Dort, wo die Wirbelbewegungen aufwärts gerichtet sind, haben sich in den Ozeanen die Mittelozeanischen Rücken gebildet. Die Abwärtsbewegungen der Wirbel sind durch die Subduktionszonen gekennzeichnet, in denen der Meeresboden nach unten abtaucht.

Die Bildung neuen Meeresbodens am Mittelozeanischen Rücken wird als „Ocean Floor Spreading“ bezeichnet und die Bewegung der Platten als Plattentektonik.

Die Platten der Erdoberfläche sind Kugelschalen und ihre Bewegungen zueinander sehr unterschiedlich. An dem ozeanischen Rücken gehen sie auseinander, an den erwähnten Subduktionszonen taucht eine Platte unter die andere ab. Es gibt Bereiche, an denen sich die Platten aneinander entlang schieben. Das geschieht zum Beispiel bei der St. Andreasspalte in Kalifornien oder bei der Anatolischen Linie im Norden der Türkei. Subduktionszonen befinden sich an der Westküste von Südamerika, in Indonesien an den Inselbögen von Sumatra und Java, bei den Philippinen und bei Japan.

Bei der Bewegung der Platten kommt es zur Entstehung von Erdbeben. Die Plattenränder sind nicht glatt und wenn die Platten sich aneinander entlang bewegen, verhaken sie sich. Ist der Bewegungsdruck hoch genug, zerbrechen die Verhakungen. Dabei entstehen die Erdbeben. Kleine Erdbeben zeigen, dass die Bewegungen ohne große Störungen verlaufen. Kritisch wird es, wenn eine stärkere Verhakung der Plattenränder vorhanden ist. Dann ist mit einem schweren Erdbeben zu rechnen.

## **Gebirgsbildung**

Es gibt Gebiete, in denen nicht eine Ozeanplatte unter eine Kontinentalplatte ab-taucht, sondern dass zwei Kontinentalplatten aufeinander treffen. Dann taucht nicht eine Platte unter die andere ab, sondern die Ränder der Platten werden zusammengestaucht und es entstehen Gebirge. Gesteinsschichten werden gefaltet und übereinander geschoben, sodass ältere Schichten über jüngeren zu liegen kommen. So sind die Alpen entstanden, weil sich der Afrikanische Kontinent nach Norden bewegt hat und mit dem Europäischen Kontinent zusammen gestoßen ist. Der Himalaja ist aufgestiegen und steigt weiter auf, weil sich der indische Kontinent nach Norden bewegt und mit dem Eurasischen Block kollidiert.

## **Vulkane**

An den Subduktionszonen taucht der Meeresboden in einem Winkel von etwa 45° bis zu einer Tiefe von 700 km hinab. Das weiß man, weil dort noch Erdbeben auftreten. Durch den hohen Druck und die hohe Temperatur wird das Meeresbodenmaterial aufgeschmolzen. Die Schmelze steigt als Magma nach oben, da sie leichter ist als das umgebende Gesteinsmaterial. Das Magma kühlt sich dabei ab, so dass die Auftriebskraft nachlässt. Es sammelt sich in einer Magma - Kammer

kurz unter der Erdoberfläche. Die Abkühlung geht weiter. Nun beginnt ein Prozess, der als Dissoziation bezeichnet wird.

Wird die Schmelzpunktttemperatur eines bestimmten Minerals unterschritten, beginnt es auszukristallisieren. Die sich zuerst bildenden Kristalle sind vor allem Feldspäte, deren Schmelzpunkt hoch liegt. Entsprechend der abnehmenden Temperatur bilden sich immer mehr Kristalle, bis etwas Besonderes geschieht:

Das Magma enthält große Mengen an darin gelösten Gasen, wie Kohlendioxid, Wasser, Methan, Schwefelwasserstoff. Die Löslichkeit der Gase sinkt in dem sich abkühlenden Magma. Da kein Hohlraum vorhanden ist, können sich die Gase nicht vom Magma trennen. Es entsteht hoher Druck in der Magma - Kammer. Das ist wie bei einer Sektflasche. Erst wenn man den Korken herauszieht, bilden sich Gasblasen darin und der Sekt spritzt unter Druck heraus. In der Magma - Kammer kann der Druck der Gase so hoch werden, dass die darüber liegenden Gesteinsschichten durchbrochen werden. Die Magma - Kammer explodiert. Die sich von dem Magma trennenden Gase reißen große Mengen des Magmas mit empor und es schießt eine Feuersäule in den Himmel. Erst danach, wenn sich der Druck in der Magma - Kammer verringert hat, beginnt Lava auszulaufen. So entstehen Vulkane.

Das Anden-Gebirge in Südamerika, fast alle Indonesischen Inseln, Japan und die Philippinen bestehen aus Vulkanen, die sich im Laufe der Jahrmillionen durch Subduktion gebildet haben.

## **Saure und basische Laven**

Je nach dem Gehalt der Laven an Kieselsäure unterscheidet man saure Laven – Kieselsäure-Gehalt über 50 % und basische Laven mit weniger Kieselsäure. Der Kieselsäure-Gehalt der Laven bestimmt ihre Fließfähigkeit. Saure Laven sind dickflüssig und fließen nur langsam, oft unter Bildung von großen Blöcken. Basische Laven sind dünnflüssig, manchmal so dünn wie Wasser und bilden beim Abkühlen die Formen der Fließbewegungen wenn sie in dünner Schicht auslaufen.

Neben dem Ausbruch von Magma und Gasen kann es zur Bildung von Glutwolken, pyroklastischen Strömen aus Lavabrocken, Aschen und Gasen kommen, die mit einer Temperatur von 700 - 800° und einer Geschwindigkeit bis zu 300 km/Std. zu Tal schießen und alles unter sich in kurzer Zeit zerstören.

So ist z.B. die Stadt St. Pierre auf der Antilleninsel Martinique mit 29 000 Menschen im Jahr 1902 durch einen pyroklastischen Strom in kurzer

Zeit vollständig zerstört worden, sodass nur ein Mensch das Unglück überstand, weil er in einer Arrestzelle eingesperrt war.

Große Mengen ausfließender basischer Lava bilden interessante Säulenstrukturen. Diese Säulenbildungen sind keine Kristallbildungen, wie oft angenommen wird. Sie entstehen bei der Abkühlung durch Schrumpfungsprozesse. Im Idealfall entstehen sechseckige Säulen. Die Lava kühlt sich sowohl von der Ober- als auch von der Unterseite ab. So kann man aus der Lage der Säulen ersehen, wie die Lava geflossen ist. Stehen die Säulen senkrecht, dann ist die Lava über ebenes Gelände geflossen.

Bei der Abkühlung wird aus der Lava ein festes Gestein. Je nach der chemischen Zusammensetzung der Lava bilden sich bei der Abkühlung die verschiedensten Minerale. Bei dem Austritt der Lava aus dem Vulkan hat sie in der Regel eine Temperatur von etwa 1200°. Wenn sie sehr schnell abkühlt, besteht keine Zeit zur Bildung von Kristallen dann ergibt es ein schwarzes Material, das man „Obsidian“ nennt – vulkanisches Glas – mit glänzenden Bruchflächen.

## Hot Spots

Neben den Vulkan-Bildungen, die in den Subduktionsgebieten und an den Mittelozeanischen Rücken vorhanden sind, gibt es noch weitere Arten von Vulkanen.

An verschiedenen Stellen der Erde steigen heiße Magmamassen aus großer Tiefe auf, vermutlich von der Grenze Mantel-Erdkern in 2900 km Tiefe in Form von Strömen mit einem Durchmesser bis zu 150 km, die „Plums“ oder „Diapire“ genannt werden. Dicht unter der Erdkruste bilden sie große Magma - Kammern. Wenn sie zur Oberfläche durchbrechen und Vulkane entstehen nennt man sie „Hot Spots“– heiße Flecken. Die Plums sind stationär, sie verändern ihre Lage nicht. Die Platten bewegen sich über die Hot Spots hinweg.

Die Hawaii-Inseln sind durch solch einen Plum entstanden. Sie liegen etwa in der Mitte der Pazifischen Platte, die sich über den Diapir hinwegbewegt. Auf diese Weise ist eine Kette von Vulkanen entstanden, von denen nur die jüngsten als Inselberge vorhanden sind. Die älteren sanken in den Meeresboden ein und verschwanden von der Meeresoberfläche. Die Ersten dieser Vulkane sind vor etwa 70 Millionen Jahren entstanden. Vor 40 Millionen Jahren änderte sich die Bewegungsrichtung der Pazifischen Platte, wodurch ein Knick in der Vulkankette entstand. Vorher war die Bewegungsrichtung der Platte etwas mehr nach Süden gerichtet.

Unter dem Yellowstone-Park in den USA befindet sich ein Diapir, das nahe der Oberfläche eine riesige Magma - Kammer gebildet hat, die etwa 80 km groß ist. Sollte sie einmal ausbrechen – und in absehbarer Zeit ist damit zu rechnen – wird nicht nur ganz Nordamerika zerstört werden, sondern die ganze Welt würde in Mitleidenschaft gezogen.

Ein anderer Plum befindet sich unter der Insel Island. Hier besteht eine besondere Situation, denn Island liegt direkt auf dem Mittelatlantischen Rücken. Plum und Mittelatlantischer Rücken sind stationär. Darum findet hier keine Plattenbewegung statt. In der Mitte der Insel befindet sich der Spalt des Mittelatlantischen Rückens und teilt die Insel in eine Hälfte, die zur Nordamerikanischen Platte gehört und die andere Hälfte zur Eurasischen Platte.

Verkleinerte Formen dieser Vulkanart sind die atlantischen Inseln Madeira, Azoren, Kanarische Inseln und die Kapverden. Hier befindet sich kein Plum, der von der Grenze Erdmantel - Erdkern aufsteigt. Diese Inseln sind vermutlich dadurch entstanden, dass im oberen Mantel durch den Zerfall radioaktiver Elemente ein Wärmestau entstand, der das Mantelmaterial aufgeschmolzen hat und als Magma nach oben gewandert ist.

Man hat viele alte Hot Spots auf der Erdoberfläche entdeckt. Sie befinden sich in der Regel nicht an Plattengrenzen; es ist ein sogenannter Intraplatten - Vulkanismus.

Bei den verschiedenen Vulkanarten treten auch verschieden zusammengesetzte Laven auf. Die Vulkane der Subduktionszonen fördern meist kieselsäurereiche, saure Laven. An den Mittelozeanischen Rücken und den Hot Spots entstehen basische, also kieselsäurearme (unter 50%) Laven, wobei die Magmas der Plums sich noch von denen der Rücken unterscheiden.

## **Verwitterung**

Die Erdoberfläche ist nicht nur durch Plattenbewegungen, Vulkane und Erdbeben einer ständigen Veränderung unterworfen. Die Atmosphäre wirkt auf sie ein.

In Wasser lösliche Minerale werden aus den Gesteinen ausgelaugt. Der Sauerstoff der Luft oxidiert bestimmte Stoffe. Wasser spült das Lockermaterial in Bächen, Flüssen und Strömen ins Meer. Man nennt diese Vorgänge Verwitterung.

Die Verwitterung führt dazu, dass im Laufe der Jahrtausende ganze Gebirge wieder verschwinden können.

In Schweden gab es vor 2 - 1 Milliarden Jahren ein großes Gebirge, das im Laufe der Zeit bis auf die Basis abgetragen worden ist. Die Alpen müssten auf Grund Ihres Alters eigentlich niedriger sein. Aber durch die Bewegung des Afrikanischen Blockes wachsen sie jedes Jahr um etwa 1 cm. Durch die Verwitterung wird dieser Zentimeter wieder abgetragen, sodass sich die Höhe der Alpen nicht verändert

## Was ist Sand?

Bei der Verwitterung von Gesteinen bleiben zwei Stoffe zurück, die unlöslich in Wasser sind. Das sind der Quarz,  $\text{SiO}_2$ , und Ton, ein Gemisch aus Aluminiumsilikat (Ton) und Aluminiumoxid (Tonerde).

Die Erdkruste enthält etwa 60% Quarz, 15% Aluminiumoxid und 6% Eisen-Verbindungen neben vielen anderen Stoffen.

Die Gesteine der Erdkruste bestehen also zu Dreiviertel aus unlöslichen Stoffen. Das erklärt, warum man auf der Erde überall Sand findet.

Es gibt mehrere Arten von Sand. Weiße Sande können entweder aus Quarz oder aus zerriebenen Muschel- oder Korallenteilen bestehen, rote und braune Sande bestehen aus Quarzkörnern, die nur äußerlich durch Eisenoxide gefärbt sind. Grüne Sande kommen sehr selten vor; sie bestehen aus einem besonderen Mineral, aus Glauconit. Schwarze Sande entstehen bei der Verwitterung von Basalten. Die darin enthaltenen schwarzen Minerale, Hornblende oder Augit, sind schwer löslich und bleiben als Sand zurück. Darum gibt es auf den vulkanischen Atlantikinseln – Azoren, Madeira, Kanaren, Kapverden – keinen hellen sondern schwarzen Sandstränden.

Wie entsteht Sand? Warum ist er so gleichmäßig feinkörnig?

Wenn ein quarzhaltiges Gestein verwittert, etwa Granit, bleiben die Quarzbestandteile zurück, die einige Millimeter groß sein können. Bei Sonneneinstrahlung erhitzt sich die Oberfläche der Körner ohne dass sich das Innere auch erwärmt. Das obere Material dehnt sich etwas aus und es entstehen Spannungsrisse. Wasser dringt in diese Risse ein, gefriert im Winter und sprengt Teile der Oberfläche ab.

Dieser Prozess setzt sich solange fort, bis das Quarzkorn so klein geworden ist, dass es sich bei der Sonneneinstrahlung sogleich vollständig erwärmt und es nicht mehr zu Spannungen zwischen Oberfläche und Innerem kommt. Das ist dann erreicht, wenn die Körner etwa einen halben Millimeter groß sind. Eine weitere Verkleinerung der Körner geschieht durch Abreibung gegeneinander.

So ist es zu verstehen, dass Sand überall auf der Erde etwa die gleiche Korngröße aufweist.

Woher aber kommen die riesigen Sandmassen der Wüsten der Erde und der Strände an den Meeren? Schon seit Beginn der Erde hat es die Verwitterung gegeben. Viele Gebirge entstanden, wurden abgetragen und neue bildeten sich. Da die Erdkruste zu etwa 60% aus  $\text{SiO}_2$ , Quarz, besteht, haben sich im Laufe der Zeit so viele Sandmassen angesammelt.

Flüsse transportieren die Sedimente ins Meer. Sand und der feinkörnige Ton lagern sich am Meeresboden ab. Aus Sand wird im Laufe der Zeit Sandstein und aus dem Ton Schiefer.

## Salz

Eine besondere Sedimentart ist das Salz. Im Laufe der Jahrmillionen ist es mehrfach vorgekommen, dass in heißen Zonen der Erde ganze Meere ausgetrocknet sind.

Das ist vor etwa 6 Millionen Jahren mit dem Mittelmeer geschehen. Zu der Zeit war die Meerenge von Gibraltar geschlossen.

Wenn Meerwasser verdunstet, bleiben die darin enthaltenen Salze zurück.

Vor etwa 250 bis 230 Millionen Jahren war Norddeutschland von einem Meer bedeckt. Dieses Meer war nur durch einen flachen Bereich mit dem Ozean verbunden. Bei dem heißen Klima verdunstete das Wasser und es floss ständig neues in das Becken. So sind im Laufe der Zeit etwa 1000 m Salzsichten entstanden, die heute 4000 - 5000 m unter der Erde liegen. Wenn man bedenkt, dass Meerwasser etwa 3,5 % gelöste Salze enthält, dann kann man sich vorstellen, wie viel Meerwasser im Laufe von Millionen Jahren verdunstet ist.

Das Salz wird unter hohem Druck und hoher Temperatur weich und plastisch. Da es leichter ist als die darüber liegenden Sedimente, hat es die Tendenz, aufzusteigen. Die Salzmassen durchdringen die Sedimente und steigen als Salzstöcke oder Salzstrukturen teilweise bis nahe an die Oberfläche auf. In Norddeutschland sind der Segeberger Kalkberg und der Lüneburger Kalkberg bis an die Oberfläche aufgestiegen. Sie bestehen aber nicht aus Kalk, sondern aus Gips, denn Gips bildet die obersten Schichten der Salzstöcke und darunter befindet sich das Salz. In Norddeutschland gibt es im Untergrund viele sehr unterschiedliche Salzstrukturen.

## Altersbestimmung

Wie stellen die Geologen das Alter eines Gesteins oder eines Fossils fest? Da gibt es verschiedene Methoden. In einer Sandgrube sieht man die einzelnen Schichten. Es ist klar, dass die oben liegenden Sedimente jünger sein müssen als die darunter. Das ist schon eine Methode zur Altersbestimmung. Aber das gilt nicht immer. Bei der Gebirgsbildung, bei der Zusammenstauchung von Gesteinsschichten, kann es auch vorkommen, dass die älteren Schichten über jüngeren liegen.

Es gibt verschiedene Altersbestimmungsmethoden, die auf dem Zerfall von radio-aktiven Stoffen beruhen. Von den meisten Elementen gibt es Isotope, Atome mit gleichen Eigenschaften, aber verschiedenem Atomgewicht. So gibt es vom Kohlenstoff, Carbon, mit dem Atomgewicht C-12 das Isotop C-14, das radioaktiv zerfällt mit der Halbwertszeit von 5570 Jahren. Das heißt, von 1 Gramm C-14 ist nach 5570 Jahren nur noch die Hälfte vorhanden. Der Anteil dieses Isotops an der Gesamtmenge des Kohlenstoffs ist sehr gering. Auf 1 Billion C-12-Atome kommt 1 Atom C-14.

Alle Lebewesen nehmen, solange sie leben, mit der Atemluft, Kohlendioxid auf, das einen bestimmten Gehalt an C-14-Atomen aufweist. Der Kohlenstoff wird im Körper permanent umgelagert so dass der Gehalt des C-14 im Körper der gleiche ist wie in der Atemluft. Stirbt das Tier oder die Pflanze, hört die Zufuhr von C-14 auf und es sinkt der C-14 Gehalt im Körper durch den laufenden zerfall. Trotz des geringen Anteils des C-14 am Gesamtkohlenstoff ist es möglich die vergangene Zeit nach dem Tode des Lebewesens bis maximal 50 000 Jahre zu bestimmen. Man nennt dieses Verfahren die Radiokarbon-Methode.

An Hand von Elementen mit unterschiedlichen Halbwertszeiten kann man so auch das Alter von Gesteinen bestimmen. Es gibt radioaktive Elemente mit Halbwertszeiten von Millionen oder Milliarden Jahren. Voraussetzung ist nur, dass man die Halbwertszeit der betreffenden Isotope und das ursprüngliche Verhältnis des radioaktiven Isotops zu den anderen Elementteilen kennt. So lässt sich auch das Alter von Gesteinen mit Millionen oder Milliarden Jahren bestimmen.

## Formationstabelle

Das Ergebnis dieser Forschungen war die Aufstellung einer Geologischen Zeittabelle, auch Formationstabelle genannt. Man hat die gesamte Erdgeschichte in 4 große Abschnitte aufgeteilt. Der älteste und auch längste Abschnitt ist das Archaikum, das vom Beginn der Erde vor 4,6 Milliarden Jahren begann und bis 550 Millionen Jahre reichte.

Es folgen das Erdaltertum oder Paläozoikum von 550 Millionen Jahren bis 230 Millionen, das Erdmittelalter oder Mesozoikum von 230 Millionen bis 65 Millionen, die Erdneuzeit oder das Känozoikum von 65 Millionen Jahren bis heute.

Die einzelnen Abschnitte, auch Formationen genannt, hat man weiter unterteilt. Das Paläozoikum in die Formationen Kambrium, Ordovizium, Silur, Devon, Karbon, Perm.

Das Mesozoikum umfasst die Formationen Trias, Jura, Kreide und das Känozoikum mit Tertiär und Quartär.

## Biologische Veränderungen der Erdoberfläche

Die Erdoberfläche wird nicht nur durch physikalische und chemische Prozesse permanent verändert. Flora und Fauna, also die Tier und Pflanzenwelt, haben einen großen Anteil daran; nicht nur auf der Erdoberfläche, auch auf dem Meeresboden.

Wälder bedecken große Teile der Erde, Agrarflächen bestimmen das Gesicht der Landschaften. Wüsten, die sich immer mehr ausbreiten, sind die kahlen Flächen des Erdballs.

In den Ozeanen bilden Korallen große Riffe. Tang und Seegraswiesen überziehen den Meeresboden.

Die Pflanzenwelt hat sich zuerst in flachen Meeresgebieten entwickelt. Erst zum Ende der Silur-Zeit vor etwa 400 Millionen Jahren haben die Pflanzen das Festland erobert. In der Karbon-Zeit gab es dann schon riesige Wälder aus farnartigen Bäumen. Die Besiedelung des Festlandes durch die Pflanzen war die Voraussetzung der Entwicklung der Tierwelt auf der Erde.

## Entstehung des Lebens

Es hat anfangs für lange Zeit kein Leben auf der Erde gegeben. Vor 4,6 Milliarden Jahren sind das Sonnensystem und auch die Erde entstanden. Aber erst 1 Milliarde Jahre danach trat das erste Leben auf.

Wie das Leben entstanden ist wissen wir nicht. Die Wissenschaftler nehmen an, dass das Leben auf chemischem Wege zustande gekommen ist. Aus Kohlenstoff, Wasser und anderen Elementen haben sich größere Moleküle entwickelt.

Im Jahr 1955 machte eine Forschergruppe unter Stanley Miller Versuche mit dem Gasmisch der Urerde, die Kohlendioxid, Wasser, Stickstoff und andere Gase enthielt, aber noch keinen Sauerstoff. Sie behandelten das Gemisch mit elektrischen Entladungen und UV-Licht. Es entstanden Aminosäuren, die Bausteine des Lebens.

So stellt man sich die Entstehung des Lebens vor. In flachem Wasser bildeten die organischen Stoffe feine Häutchen, aus denen kleine Bläschen hervorgingen, die sich dann selbst vermehrten. Auf diese Weise entstanden vermutlich die ersten bakterienartigen Zellen.

Es gibt auch die Vorstellung, dass das Leben aus dem Weltall durch Meteoriten auf die Erde gekommen sein kann. Aber dadurch ist die Entstehung des Lebens nicht geklärt, nur auf einen anderen Himmelskörper verlagert.

## **Bakterien**

In einem Zeitraum von etwa 3 Milliarden Jahren – von 3,6 Mrd. bis 550 Millionen Jahren vor unserer Zeit – haben sich die Bakterien nach dem ersten Auftreten des Lebens zu einer großen Vielfalt entwickelt. Bakterien sind Einzeller und sie werden in zwei Gruppen geteilt: Bakterien, die keinen Zellkern enthalten und als Procareonten bezeichnet werden –und in solche, die einen Zellkern enthalten und Eucarionten heißen.

Sie unterscheiden sich durch ihren Stoffwechsel. Manche Arten verwenden Schwefelwasserstoff als Energiequelle, andere Kohlendioxid. Es entstanden auch Bakterien, die bereits die Fotosynthese entwickelt hatten und Sauerstoff produzieren konnten.

Dadurch hat sich im Laufe der Zeit Sauerstoff in der Erdatmosphäre angereichert.

Eine besondere Form der Eucarionten sind die Cyanobakterien oder auch Blaualgen genannt, Sie bilden dünne Häutchen, die mit Sedimenten gemischt im Flachwasser buckelartige Gebilde formen, die geschichtet sind und als Stromatolithen bezeichnet werden. Sie entstanden schon vor mehr als 2 Milliarden Jahren und bilden sich auch heute noch.

Alle vielzelligen Lebewesen die später entstanden, haben sich aus Bakterien entwickelt, der einen Zellkern enthalten, also aus Eucarionten.

## Entwicklung der Vielzeller

Vor etwa 600 Mill. Jahren fand eine bedeutende Entwicklung der Lebewesen statt. Der Sauerstoff war nun kein Gift mehr, sondern wurde als Energiequelle verwendet.

Binnen kurzer Zeit entwickelte sich eine Unmenge von vielzelligen Wesen, deren Überreste man im Süden von Australien, am Burgess-Pass in West-Kanada und in Jünnan in West-China gefunden hat. In diesen Gebieten waren die Erhaltungsbedingungen so gut, dass man alle Einzelheiten der als Abdrücke vorliegenden Organismen erkennen kann. Das liegt daran, dass die Tiere in sehr feinkörnigen Sedimenten eingebettet wurden.

Es waren Lebewesen, die noch keine festen, harten Körperteile hatten. Diese entstanden etwas später, vor etwa 550 Millionen Jahren. Muscheln mit harter Kalkschale, Krebse mit einer äußeren Chitin-Haut.

## Fossilien

Als Fossilien bezeichnet man die Überreste vorzeitiger Lebewesen. Oft findet man nur Abdrücke oder die Hartteile der Organismen – Kalkschalen, Panzer, Knochen, aber auch die ganzen Tiere – eingeschlossen im Gestein.

Die Evolution, die schon am Beginn der Lebewelt wirksam war, hat im Laufe der Jahrtausende unendlich viele verschiedene Lebensformen entstehen lassen. Die Lebenszeiten der einzelnen Tierarten waren sehr unterschiedlich. Viele Arten lebten einige Hunderttausende, andere starben früher aus. Trilobiten gab es nur im Paläozoikum. Ammoniten finden wir nur in Sedimentschichten aus dem Mesozoikum. Säugetiere, die zwar schon als Kleintiere im Mesozoikum lebten entwickelten sich – ähnlich wie die Saurier im Mesozoikum – in gleichem Maße im Känozoikum. Die ersten Vorfahren des Menschen erschienen vor etwa 3,5 Millionen Jahren.

Mit Hilfe der Fossilien lässt sich auch eine Zeiteinteilung vornehmen. Die zeitliche Eingliederung eines Fossils lässt sich an der Bezeichnung erkennen. Wenn zum Beispiel ein Ammonit mit der Bezeichnung Lias

alpha 3 gekennzeichnet ist, dann bedeutet das, dass er im Erdmittelalter zur Zeit des Juras gelebt hat, in der unteren Stufe des Juras, im Lias, der weiter gegliedert wird in die Stufen alpha, beta, gamma usw., die noch weiter unterteilt werden in mehrere Schichten.

Auf diese Weise ist die geologische Zeittafel, auch Formationstabelle genannt, zustande gekommen. Sie gibt aber nur die größeren Zeitabschnitte an. Von der Wissenschaft werden die einzelnen Zeitabschnitte immer weiter unterteilt.

## **Massenaussterben**

Die Entwicklung der Lebewesen im Laufe der Jahrmilliarden von den einzelligen Bakterien zu den Vielzellern und dem Menschen ist kein kontinuierlicher Vorgang gewesen. Die Evolution ist durch mehrfache gravierende Einschnitte unterbrochen worden. Es hat mehrfach Ereignisse gegeben, bei denen große Teile der Lebewesen ausstarben. Zu bestimmten Zeiten fand ein Massenaussterben statt.

Die Ursachen dafür waren sehr unterschiedlich und sind zum Teil auch nicht bekannt. Es waren Klimaänderungen wie Ansteigen der Temperaturen, Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre, Meteoriteneinschläge und Vulkanausbrüche, die große Mengen von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre brachten.

Vor 2,5 Milliarden Jahren gab es bereits Bakterien, die durch die Fotosynthese Sauerstoff produzierten und die Atmosphäre mit Sauerstoff anreicherten.

Sauerstoff war zu der Zeit noch ein Gift für andere Lebewesen.

Vor 700 bis 600 Millionen Jahren war die Erde ein „Schneeball“.

Durch Verwitterungsprozesse an der Oberfläche der Erde war der CO<sub>2</sub>-Gehalt (durch Kalkbildung) in der Atmosphäre so stark gesunken, dass der Treibhauseffekt nicht mehr gegeben war. Die Erde kühlte sich so stark ab, dass die ganzen Ozeane und die Kontinente viele Millionen Jahre lang von Eis bedeckt waren. Durch starke Vulkanausbrüche kam wieder genügend CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre, sodass die Vereisung zurückging.

Zu Beginn des Kambriums vor 550 Millionen Jahren fand sozusagen eine Explosion in der Lebewelt statt. Es entstanden viele neue Meerestierarten, die sich von den früher lebenden dadurch auszeichneten, dass sie Haarteile am und im Körper bildeten

An der Grenze Kambrium - Ordovizium vor 500 Millionen Jahren starben etwa 80 % aller Meerestiere aus – vermutlich durch einen Klimawechsel.

Vor 360 Millionen Jahren im oberen Devon starben etwas 50 % aller Tier- und Pflanzenarten aus.

Vor 250 Millionen Jahren fand innerhalb von 200 000 Jahren an der Grenze Perm - Trias und damit an der Grenze Paläozoikum – Mesozoikum das größte Massensterben der Erdgeschichte statt.

Es verschwanden etwa 90 % aller Meeresbewohner und 60 % aller das Land bewohnenden Arten (Reptilien und Amphibien). Die Ursache für dieses Massensterben ist bis heute nicht bekannt. Eine Ursache könnten riesige Vulkanausbrüche in Sibirien gewesen sein (Sibirischer Trapp).

Vor 200 Millionen Jahren am Ende der Trias starben 50 bis 80 % aller Tierarten aus – vermutlich durch starken Vulkanismus.

Vor 65 Millionen Jahren am Ende der Kreide-Zeit starben etwa 50 % aller Tierarten aus vor allem die Dinosaurier. Man vermutet zwei Ursachen. Die eine ist der Ein-schlag eines großen Meteoriten in Yukatan, Mexiko, und der andere gewaltige Basaltausgänge in Indien (Dekkan-Trap).

## **Der Mensch als Naturzerstörer**

Die Lebewesen, die die Erdoberfläche am stärksten verändert haben sind die Menschen. Riesige Städte verdrängen die Natur. Flughäfen, Autobahnen, Schienenstränge zerschneiden die Landschaften. Urwälder werden abgeholzt. Tiefe Tagebaue zerlöchern die Erde. Und Untertage wühlen sie wie die Maulwürfe.

Das wirtschaftliche Verhalten der Menschen gegenüber der Natur ist rücksichtslos. Es fehlt das nachhaltige Wirtschaften. Alles, was Gewinn bringt, wird gemacht – ohne Rücksicht auf die Folgen. Die Schäden an der Natur sind nicht mehr rückgängig zu machen.

Man hat den Eindruck, der Mensch ist eine Fehlentwicklung der Evolution. Zwei Bestrebungen sind in ihm vorhanden: der Altruismus und der Egoismus. Der Egoismus hat in unserer Zeit offenbar die Überhand bekommen. Der Altruismus, die Verantwortung jedes Einzelnen für die menschliche Gesellschaft, die Solidarität sind verloren gegangen.

Es besteht keine Aussicht, dass sich das wirtschaftliche Verhalten der Menschen ändern wird. Der Mensch wird sich leider selbst ausrotten.

## C.6. – Geologische Zeit-Tafel

<b>Formationstabelle</b>			
Ära	System / Periode	Serie / Epoche	Beginn vor
Känozoikum	Quartär 1,8 Mill. J.	Holozän Pleistozän	10.000 J. 1,8 Mill. J.
	Tertiär 63 Mill. J.	Pliozän Miozän Oligozän Eozän Paläozän	65 Mill. J.
Mesozoikum	Kreide 75 Mill. J.	Ober – Kreide Unter – Kreide	140 Mill. J.
	Jura 55 Mill. J.	Malm Dogger Lias	200 Mill. J.
	Trias 35 Mill. J.	Keuper Muschelkalk Buntsandstein	250 Mill. J.
Paläozoikum	Perm 50 Mill. J.	Zechstein Rotliegendes	280 Mill. J.
	Karbon 65 Mill. J.	Ober – Karbon Unter – Karbon	345 Mill. J.
	Devon 50 Mill. J.	Ober – Devon Mittel – Devon Unter – Devon	395 Mill. J.
	Silur 40 Mill. J.	Ober – Silur Unter – Silur	450 Mill. J.
	Ordovizium 65 Mill. J.	Ober – Ordovizium Unter – Ordovizium	500 Mill. J.
	Kambrium 70 Mill. J.	Ober – Kambrium Mittel – Kambrium Unter – Kambrium	550 Mill. J.
Algonkium Archaikum			2600 Mill. J. 4500 Mill. J.

Walter Hähnel 1913 in Hamburg-Bergedorf geboren, Arbeiterfamilie. Wegen Arbeitslosigkeit des Vaters 1929 Abgang von der Schule mit Mittlerer Reife. Kein Studium. Lehre als Chemielaborant. Ab 1930 Teilnahme an einer sozialistischen Gruppe (ISK) und nach der Machtergreifung Hitlers wegen illegaler Arbeit 1937 zu 11 Monaten KZ-Haft verurteilt.

Nach dem Kriege 30 Jahre lang tätig als geologischer Präparator am Geologischen Institut der Universität Hamburg. 1976 Pensionierung. 1980 ein halbes Jahr als Präparator in Benghazi, Libyen. 1982 für 4 ½ Jahre in Mexiko tätig (Aufbau einer Zweiguniversität). Ab 1987 zehn Jahre auf Teneriffa gelebt. 1997 nach Deutschland zurückgekehrt. Lebt seitdem in Lübeck.

