

Plattentektonik

1. Ausgangsbeobachtungen

1.1.. Die Form der Kontinentalränder

Die Kontinentalränder zeigen auffallende Formgleichheiten z.B. Afrika - SAm, Europa - NAm.

1.2. Faunen- und Florenübereinstimmungen

Fossil belegte Faunen- und Florenübereinstimmungen in heute getrennten Kontinenten.

1.3. Lage der Magnetpole rel. zu den Kontinenten

Einige Gesteine (z.B. Basalt) werden zum Zeitpunkt ihrer Entstehung unter dem Einfluss des aktuellen Erdmagnetfeld magnetisiert. Aus der Neigung der Feldlinien zur Erdoberfläche (Inklination) kann die geogr. Breite rel. zu den Polen rekonstruiert werden (nicht aber die geogr. Länge, da die Inklination auf einer Breite um die ganze Erde gleich ist). Vergleichende Messungen an unterschiedlich alten Gesteinen zeigen, dass sich die relative Lage zu den Polen im Verlauf der Zeit verschoben hat. Da die Verschiebungswege auf verschiedenen Kontinenten jedoch einen unterschiedlichen Verlauf nehmen, kann dies nicht durch eine Verlagerung des Poles relativ zu festliegenden Kontinenten gedeutet werden. Vielmehr muss zur Erklärung angenommen werden, dass sich die Kontinente auf verschiedenen Bahnen rel. zu den Polen bewegt haben. (1) S.110, III Abb..

1.4. Kontinentale und ozeanische Kruste

Die feste Kruste schwimmt auf dem darunterliegenden Erdmantel ($\rho = 3,3 \text{ g/cm}^3$). Die Grenze zwischen Kruste und Mantel wird durch die Mohorovicic-Diskontinuität (Moho-Schicht) markiert. Es lassen sich zwei Krustenarten unterscheiden:

- a. Ozeanische Kruste: Gesteine hoher Dichte ($\rho = 3,0 \text{ g/cm}^3$) (Basalt u.ä.), relativ dünn, durchschnittliche Tiefe unter dem Meeresspiegel 3800 m.
- b. Kontinentalkruste: Gesteine geringerer Dichte ($\rho = 2,7\text{-}2,8 \text{ g/cm}^3$) (Granit u.ä.), relativ dick, durchschnittliche Höhe 685 m.

Auf der ozeanischen Kruste findet man nur geringe Sedimentmächtigkeiten, was auf ihr geringes Alter hinweist.

1.5. Ozeanische Rücken und Gräben

Durch die Mitte der Ozeane ziehen bis 2500 m hohe Gebirge, die **mittelozeanischen Rücken**. Ihre Horstlinie ist an vielen Stellen durch quer verlaufende Bruchlinien veretzt. Die Rücken werden durch aufsteigenden Basalt gebildet, in ihnen herrscht rege vulkanische Aktivität. Sie führt zu Inselbildungen (Galapagos, Island). Die Sedimentdicke nimmt von den Rücken her zu, der Hitzefluß von ihnen weg stark ab. Die Rücken stellen also sehr junge Gebilde dar, in ihrem Bereich entsteht neue Kruste. Die Auseinanderbewegung der Kruste führt häufig zu Erdbeben.

Die **ozeanischen Gräben** sind langgestreckte Tröge mit dicken Sedimenten, geringem Wärmestrom und fehlender vulkanischer Aktivität. Da hier Kruste zusammengesprengt wird, treten auch an den Gräben Erdbeben auf. In der Nähe der Gräben legen zwei Inselbögen:

- a. In der Nähe der Gräben Inseln aus verformten und metamorphisierten Sedimenten.
- b. Entferntere Vulkaninseln, die aber im Gegensatz zu den Rücken keinen Basalt, sondern Andesit ausschütten. Andesit liegt in seiner Zusammensetzung zwischen derer der ozeanischen und der kontinentalen Kruste.

2. Die historische Entwicklung der Plattentektonik-Theorie

2.1. Kontinentalverschiebungstheorie (A. WEGENER 1915)

2.2. Konvektionsströme (A. HOLMES 1929)

Mittelozeanische Rücken: Heißes (dadurch leichteres) Magma steigt auf und strömt seitlich weg, dadurch Streckung zu den Seiten hin. Abgekühlte Magma sinkt ab und führt zur Grabenbildung.

Unbefriedigend erklärt:

- Querstörungen in den Rücken (zu ihrer Erklärung werden Verwerfungen durch seitliche Scherbewegungen („strike-slip-fault“) angenommen, wie sie an Land auftreten),
- Inselbögen in der Umgebung der Gräben.

2.3. Seafloor Spreading (HESS 1960, WILSON; SYKES)

Die Vorstellung von HOLMES wird erweitert durch die Annahme, dass die ozeanische Kruste vom Rücken her seitlich wegdriftet.

Zur Erklärung der Querstörungen wird die Grabenachse als ursprünglich durch „Transformationsverwerfungen“ („transform fault“) zerstückelt betrachtet, wobei für jeden Abschnitt eine eigene aufsteigende Konvektionszelle im Untergrund angenommen wird. Diese Annahme wird durch die Tatsache bestätigt, dass Erdbeben stets an den Querstörungen auftreten.

Wo die seitlich wegdriftende Kruste auf Kontinente trifft, sinkt sie unter diese und schmilzt. (1) Abb. S. 118, 120

Bestätigung der Seafloor-Spreading-Hypothese durch

- a. Untersuchungen des Gesteinsmagnetismus:

Etwa im Rhythmus von 700 000 a wechseln die Pole des Erdmagnetfeldes. In den erkalteten Lavamassen, die am mittelozeanischen Rücken aufstiegen, wird die jeweilige Magnetpol-Orientierung konserviert. Es zeigt sich, dass beidseitig eines Rückens die erkaltete Kruste ein z.T. symmetrisches Muster unterschiedlicher Pollage enthält. Sie ist also zu den Seiten weggewandert und hat dabei die Pol-Orientierung zum Zeitpunkt ihrer Entstehung in zwei zueinander symmetrischen Streifen „mitgenommen“.

- b. Isotopendatierungen:

Das Alter des Meeresbodens nimmt von den Rücken her zu den Kontinenten hin zu. Die Altersunterschiede der Krustenstreifen mit entgegengesetzter magnetischer Polorientierung entsprechen den Zeitabständen der Polumkehrung, wie sie aus Messungen an kontinentalen Gesteinen bekannt sind. (1) Abb. S.125

Die Seafloor-Spreading-Hypothese erklärt so das im Vergleich zu den Kontinenten geringe Alter des Meeresbodens, das sich aus den verhältnismäßig dünnen Sedimentschichten (s.o.) erschließen lässt: Die ozeanische Kruste wird ständig durch neu aufsteigende und sich seitlich ausbreitende Magma ersetzt, die jeweils ältesten Teile schmelzen an den Kontinentalrändern und verschwinden dadurch.

2.4. Plattentektonik (ISACKS, OLIVER, SYKES 1968)

Die Ansätze der Kontinentalverschiebungstheorie und des Sea-Floor-Spreading haben in dieser „Neuen Globaltektonik“ Eingang gefunden. Im Gegensatz zu den bisherigen Theorien werden aber die Linien häufiger Erdbeben und regem Vulkanismus zur Einteilung der Erdoberfläche herangezogen. Diese Linien teilen die obere Schale der Erde in „Platten“ ein, die nicht mit den Grenzen der Kontinente identisch sein müssen. Die Platten sind Teile der „Lithosphäre“ (gr. *lithos* λίθος Stein), der äußeren Schale der Erde. Unter den Ozeanen ist sie etwa 60 km, unter den Kontinenten etwa 90 km dick. Sie besteht aus der dünnen, erstarrten Krustenoberfläche und der äußeren Mantelschicht. Die Lithosphärenplatten werden als relativ starr angenommen. Sie können sich auf der darunterliegenden, weichen „Asthenosphäre“ (gr. *asthenes* ασθενής schwach) bewegen.

Wesentlich für die geologischen Geschehnisse sind die Vorgänge an den Grenzen der Platten. Zwei Platten können sich in dreierlei Art relativer zueinander bewegen:

a. Divergenzränder: Die Platten bewegen sich voneinander weg.

Je nach der Art der Platten spielen sich unterschiedliche Vorgänge ab:

– Zwei ozeanische Platten:

An der Grenze steigt Lava aus der Asthenosphäre auf (Mittelozeanischer Rücken). Sie bildet neue, basaltartige, also ozeanische Kruste (s. 1.4.) und vergrößert die Flächen der beiden Platten. Bsp: Atlantik, Indischer Ozean, Pazifik. Liegt die Divergenzgrenze im Bereich eines Kontinentes, entsteht ein neues ozeanisches Becken.

– Kontinentale Platte:

Der Kontinentalrand an der Divergenzgrenze sinkt dieser. Dabei zerbricht er in Horste, zwischen denen Vulkanite aufsteigen (Kontinentalrand des atlantischen Typs). (2) Abb. S. 260

b. Konvergenzränder: Die Platten stoßen aufeinander.

Über die hier ablaufenden Vorgänge entscheidet auch hier die Art der Platten:

ba. Eine ozeanische und eine kontinentale Platte:

Bei Kollision taucht die (schwerere) ozeanische Platte unter die kontinentale (diese ist zwar dicker, aber leichter!), wird (ab etwa 1100-1200 °C) eingeschmolzen und damit in ihrer Fläche verkleinert. (Subduktion). Es entsteht ein Kontinentalrand des pazifischen Typs. (2) Abb. S. 260

bb. Zwei ozeanische Platten:

Sie können beide abtauchen. (s.3.2.2.)

bc. Zwei Kontinentalränder:

Sie können nicht abtauchen, sie verformen sich gegenseitig und werden miteinander verschweißt. (Bildung von „Narben“ oder „Suturen“). An der Auftrefflinie werden Gebirge aufgeworfen. Bsp.: Anschluß von Indien an Asien mit der Bildung des Himalaya.

c. Scherungsränder: Die Platten gleiten aneinander vorbei.

Beide Platten bleiben in ihrer Größe erhalten, da weder Krusten Neubildung noch Subduktion stattfindet. (Beisp.: kalifornische Küste, San Andreas-Fault).

Global gesehen wird also die Neubildung ozeanischer Kruste ausgeglichen durch die Subduktion an Konvergenzrändern.

3. Anwendung der Plattentektonik

3.1. Vorgänge an Konvergenzrändern

3.1.1. Überblick

Konvergenzränder sind von besonderem Interesse für die Gestaltungsgeschichte der Kontinente. Die Vorgänge, die sich bei der Kollision abspielen, sind abhängig

- a. von der Art der Platten (ozeanisch oder kontinental) und
- b. von ihrer relativen Bewegung (welche Platte ist „ortsfest“ und welche beweglich).

Beispiele: (1) *Abb.8.1*: alte (bis präkambrische) Zonen: im Inneren der heutigen Kontinente gelegen; jüngere (kambrische und jüngere) schon zur Ruhe gekommen (Appalachen, Alpen) oder noch aktiv (Anden, Himalaya).

3.1.2. Kollision zweier ozeanischer Platten

(Vgl. 2.4.bb) An der abtauchenden Kante wird die Platte gebogen, sie zerbricht, vor allem an ihrer Oberfläche, in gestaffelt stehende Verwerfungsblöcke. Aus der abtauchenden Oberfläche werden Splitter abgehobelt und zusammen mit (basaltischen) Teilen der ozeanischen Kruste nach unten gezogen. Dieses Material kann zwei Wege einschlagen: Es kann zu einem Vorbogen aufgehäuft oder weit in die Tiefe gezogen werden. Die Anteile sind von Ort zu Ort sehr verschieden.

Der Vorbogen (*forearc*) wird vor der oben verbleibenden Plattenkante aufgetürmt. Er besteht überwiegend aus Sedimenten, die ja die Oberfläche der abtauchenden Platte bedecken, vermischt mit Bruchstücken der ozeanischen Kruste. Durch die hohen Kräfte und die teilweise Verlagerung in tiefere Zonen werden die Sedimente stark verformt und metamorphosiert. Im Verlauf der Subduktion werden immer weitere abgerissene Stücke unter die schon vorhandenen geschoben, so dass der Bogen sich immer weiter erhöht. Taucht er schließlich aus der Wasseroberfläche auf, entstehen Inseln.

Zwischen dem Vorbogen und der nicht abtauchenden Platte bildet sich ein Vorbogenbecken (*forearc basin*), in das Sedimente von beiden Platten hineingetragen werden. Das subduzierte Material (also die abgetauchte Platte und der Sedimentteil, der nicht als Vorbogen in oberen Regionen verblieb) erreicht bei einer Tiefe von 100 bis 150km eine Zone, in der das Sedimentmaterial zu schmelzen beginnt. Dabei werden eingeschlossenes Wasser und CO₂ freigesetzt. Der aufgebaute Gasdruck transportiert Schmelze nach oben, heftige Vulkanausbrüche sind die Folge (Krakatau, Vesuv, Mt. St. Helens). Auf der oberen Platte entsteht so eine Vulkankette (Vulkanbogen). Die ausgeworfene Lava ist vom andesitischen Typ mit viel vulkanischer Asche.

Auf der Rückseite der Vulkankette kann ein *Backarc-Basin* einsinken. Es wird vermutlich durch Seafloor spreading erzeugt. Belege für diese Annahme sind die dünne Kruste, ein starker Wärme fluß und magnetische Anomalien.

Bei den entstehenden Inselbögen muss man also zwischen nichtvulkanischen (aus abgeschabtem Sediment) und vulkanischen (aus aufsteigender Magma) unterscheiden.

(1) *Abb.8.3. S.151*

3.1.3. Kollision einer ozeanischen mit einer kontinentalen Platte

3.1.3.1. Die prinzipiellen Vorgänge

(Vgl. 2.4.ba) Die dichtere ozeanische Platte taucht unter die kontinentale ab. Ein Inselbogen aus aufgehäuften, abgeschabtem Sediment entsteht meist nicht, das Material bleibt vor der dickeren kontinentalen Platte liegen, wodurch diese vergrößert wird. Dahinter senkt sich ein flaches Vorbogenbecken ein. Wie beim Zusammenstoß zweier ozeanischer Platten liefern aber auch hier die tief abgetauchten Krustenteile das Material für aufsteigendes Magma, so dass sich ebenfalls ein (vulkanischer) Inselbogen ausbildet.

Beispiele: Westküste von SAm; entlang der Aleuten von Alaska bis Kamtschatka, W-Küste von NAm (Hier aber keine direkte Kollision, sondern Scherung).

3.1.3.2. Die Bedeutung der relativen Beweglichkeit

Je nach der relativen Beweglichkeit der beiden Platten sind zwei Fälle zu unterscheiden: (2) *Abb. S. 261*

- a. Ozeanische Platte bewegt sich, Kontinentalplatte ruht.

Die vorrückende ozeanische Platte unterfährt die kontinentale. Vor ihrem weitgehend ungestörten Schelfbereich entsteht durch aufsteigendes Magma eine Kette von Inseln (vulkanischer Inselbogen, z.B. Westpazifik).

- b. Kontinentale Platte bewegt sich, ozeanische Platte ruht.

Die vorrückende kontinentale Platte überfährt die ozeanische. Der Schelf wird von Magma aus der Subduktionszone durchsetzt und aufgefaltet. Es entstehen Gebirge des „andinen“ Typs (z.B. Westküste von Nord- u. Südamerika).

Im Subduktionsbereich wird kontinentales Krustenmaterial in die Tiefe gezogen, schmilzt dort auf und steigt (landeinwärts) wieder auf. Es kann unter der Oberfläche zu Granit erstarren, es entstehen Intrusionen. Bricht es in Vulkanen nach außen durch, so wird Lava ausgeworfen, die im Gegensatz zur dunklen Lava aus ozeanischer Kruste hell gefärbt ist.

Manchmal kann auch ozeanische Kruste auf den kontinentalen Rand deckenartig aufgeschoben werden (Obduktion).

3.2. Vorgänge beim Zerfall eines Kontinentes

3.2.1. Spalten- oder Grabenbildung (Rifting)

(1) *Abb. S. 138, 140*

Aktuelle Beobachtungsbeispiele: Afrikanische Gräben (erste Bruchstellenbildung), Rotes Meer und Golf von Kalifornien (junge Ozeane durch auseinander treibende Bruchstücke).

Abfolge der Vorgänge:

- a. Lokale Erwärmung

Eine kontinentale Lithosphärenplatte wird aus einer Wärmequelle, die unter ihr liegt, aufgeheizt.

- b. Aufwölbung und Expansion

Durch die Erwärmung wölbt sich die Lithosphäre nach oben (Dombildung).

- c. Graben-(Rift-)bildung

Die aufgewölbte spröde Kruste zerbricht. Meist gehen vom Mittelpunkt der Aufwölbung drei Bruchlinien aus. In den Bruchlinien sinken Lithosphärenblöcke ab, es entstehen Gräben (Grabenbruch, *rift valley*).

Durch die Absenkung im Graben und die fortgesetzte Erhitzung, die die Platte von unten schmelzen lässt, wird die Lithosphäre zunehmend dünner. In den Spalten zwischen den eingesunkenen Blöcken steigt Lava auf, es entstehen Vulkane. Liegen die aufgewölbten Grabenschultern über dem Meeresspiegel, so setzt an ihnen Erosion ein, das abgetragene Material wird in die seitlich der Gräben liegenden Gebiete transportiert.

Durch die Einsenkung eines Grabens wurde die Lithosphärenscholle gespalten (*rifting*). Danach kann in der Entwicklung über längere Zeit (u.U. mehrere Mio a) ein Stillstand eintreten, bis die beiden Spaltstücke auseinandertreiben (*drifting*).

d. Vereinigung mehrerer Aufwölbungspunkte

Liegen mehrere Wölbungen nahe beieinander, so können sich ihre Bruchlinien zu großen Grabensystemen vereinigen. Einer der jeweils drei Bruchlinien endet dann blind und führt nicht zu einer Trennung der Kontinentalplatte.

3.2.2. Auseinandertreiben (Drifting), Entstehung passiver Kontinentalränder

Sobald sich die gespaltenen Schollenstücke auseinander bewegen, strömt von unten in die verbreitete Grabenspalte Magma ein. Es bildet neue ozeanische und damit schwerere Kruste.

Mit zunehmender Verbreiterung macht das kontinentale Rift eine Reihe von Veränderungen durch, die schließlich in die Ausbildung eines neuen Ozeans münden, der sich mit zunehmender Entfernung der Grabenränder stetig verbreitert. An den Grabenrändern fehlen Vulkanismus und Erdbeben, weshalb sie als „passive“ Rändern bezeichnet werden. (1)Abb. S.144

a. Fortgeschrittenes Rift mit weitgehend geschlossenen engen Becken:

Die noch steilen Grabenränder sind durch absinkende Blöcke treppenartig gestaltet. In den Bruchspalten dringt Magma nach oben und führt zu aktivem Vulkanismus. Auf den Treppen wird Abtragungsmaterial und vulkanischer Auswurf abgelagert. Bei heiß-trockenem Klima ist der Grabenboden wüstenartig, zeitweise eindringendes Meerwasser verdunstet und lässt Salzablagerungen zurück.

b. Junges, enges Meer:

Bei zunehmender Verbreiterung wird der Graben dauerhaft von einem engen Meer erfüllt. Auf den Kanten der untergetauchten Treppenstufen wachsen Riffe heran, hinter denen sich Lagunen ausbilden. Das flache Meer ist fruchtbar, in Folge der hohen biologischen Produktion wird viel organische Materie im Schlamm abgelagert. Aus ihr entstanden viele große Öllagerstätten. (Näheres dazu (1) S. 146)

Die Grabenschultern entfernen sich immer weiter von der heißen Aufwölbungszone, an der sie entstanden waren. Sie kühlen ab, verdichten dadurch und sinken daher zunehmend ab, wodurch der Grabenrand eine Neigung zum Grabeninnenraum hin erhält. Das zunächst nach außen weisende Gefälle wird geringer und die Transportrichtung für abgetragenes Material wendet sich nach innen zum neu entstandenen Ozean.

Bsp.: Golf von Kalifornien

c. Verbreiteter Ozean:

In Folge der weiteren Absenkung des Meeresbodens steigt der Meeresspiegel an den Grabenrand heran. Auf den Treppenstufen mit ihren Riffen werden Sedimente abgelagert, die die Flüsse vom Festland heranbringen.

d. Ausbildung eines Kontinentalschelfes:

Bei ausreichend großen Mengen an festländischem Abtragungsmaterial werden auf den absinkenden Grabenrändern mächtige Sedimentschichten abgelagert.
Bsp.: O-Küste von N-Amerika, dort 6-10 km mächtig.

3.2.3. WILSON-Stufen

Nach der Vorstellung von WILSON kann der Zerfall eines Kontinentes bis zu seinem Wiederverschmelzen zyklisch in sechs Stufen beschrieben werden:

a. embryonale Stufe (Riftstadium)

Grabenbruch innerhalb des Kontinentes (z.B. vorderasiatisch-ostafrikanisches Grabensystem)

b. Junge Stufe (Rotes-Meer-Stadium)

Kontinent durch Seafloor Spreading aufgerissen und durch ein schmales Meer getrennt.

c. Reife Stufe (Atlantikstadium)

Platten weit voneinander entfernt, in der Mitte entsteht aus aufsteigendem Mantelmaterial ständig neue ozeanische Kruste.

d. Absinkende Stufe (Pazifikstadium)

Plattenabbau durch Subduktion.

e. weitgehend geschlossene Stufe (Mittelmeerstadium)

Platten angenähert, dazwischen kleines Restmeer.

f. völlig geschlossene Stufe (Himalajastadium)

Kollision der Plattenränder unter Aufwölbung von Gebirgen.

3.2.4. Hotspots

Als mögliche Ursache für einen Kontinentalzerfall, wie er z.B. Pangäa zerbrechen ließ, werden besonders heiße Stellen tief unter der Lithosphäre angenommen. Über ihnen entstehen nach dieser Vorstellung die Aufwölbungen. Wandert eine Lithosphärenplatte über einen stationären Hotspot, so enteht eine Kette von Domen, die die Bewegung der Platte nachzeichnet.

Die Theorie der Hotspots wird durch die Existenz von Vulkanketten gestützt, die weit entfernt von Grabenrändern liegen (z.B. Hawaii, Yellowstone, Eifel, Kilimandscharo, Osterinseln, Galapagosinseln). Mit Bruchspalten, wie sie an Grabenrändern vorhanden sind, können sie daher nicht erklärt werden (vgl. 2.4.3.c.). Vielmehr können sie als Folge der Plattenwanderung über einen Hotspot gedeutet werden. Die Wanderungswege können aber aus den „eingefrorenen“ magnetischen Eigenschaften der Gesteine erschlossen werden (s. 2.3.). Tatsächlich lassen sich die postulierten Wanderungen über einen stationären Hotspot-Punkt aus den paläomagnetischen Daten bestätigen. Ob eine Hotspot-Kette zum Kontinentalzerfall führt, könnte davon abhängen, ob die Wärmeisolationseigenschaften der jeweiligen Platte die aufsteigende Hitze schnell genug abströmen lässt oder es zu einer starken lokalen Aufheizung und damit Aufwölbung kommen kann.

3.3. Orogenese

3.3.1. Begriffsbildung

Unter dem Begriff Orogenese (gr. *oros* ὄρος Gebirge) werden alle gebirgsbildenden Prozesse zusammengefaßt (Faltung, Aufrichtung, Metamorphose, Erhebung). Daneben wird auch die Bezeichnung Tektonogenese (gr. *tektonikos* τεκτονικός die Bau-

kunst betreffend) verwendet, der Begriff Orogenese soll dann für die Gebirgsbildung im geographisch-morphologischen Sinne verwendet werden.

Der früher weit verbreitete Begriff der Geosynkline (Geosynklinale; gr. *synklinein* συνκλίειν zusammenneigen) für ein Sedimentbecken, aus dem ein Gebirge aufgefaltet wird, hat an Bedeutung verloren. Die mit diesem Begriff verknüpfte Vorstellung von nacheinander ablaufenden Absenkungs-, Verformungs- und Ablagerungsprozessen wird ersetzt durch die Vorgänge, die sich bei der Kollision von Platten abspielen.

3.3.2. Schilde und Tafeln

Die Grundlage der heutigen Kontinente sind präkambrische Gesteine, die als „Schilder“ bezeichnet werden. Sie sind oft mit Sedimentgesteinen überdeckt. Wegen der hohen Stabilität der Schilde bleiben diese Sedimente in ihrer Schichtung von tektonischen Veränderungen (Gebirgsbildungen) meist weitgehend verschont. Sie werden daher auch als „Tafeln“ oder „Plattformen“ bezeichnet.

Beispiel: (1) S.154ff

4. Die Entstehung der Kontinente

4.1. Übersicht

Die Kontinente bedecken heute ungefähr 36% der Erdoberfläche (29% über, 7% unter Wasser); die Mächtigkeit der Erdkruste (nicht der Lithosphäre) schwankt von 20 bis 90 km, mit einem Mittel von 35 bis 40 km. Kontinente entstehen, weil die mittlere Dichte ihres Materials geringer ist als die des Mantels darunter und die der umgebenden ozeanischen Kruste. Sie schwimmen oben auf dem Mantel, ähnlich wie Schlacken auf geschmolzenem Stahl treiben. Kontinente liegen deutlich höher als die Meeresböden. Abgesehen von Gebirgsgebieten sind Kontinente große flache Schollen, deren Oberflächen im Mittel nur einige hundert Meter über dem Meeresspiegel liegen. Die durchschnittliche Meereshöhe (darin eingeschlossen die Gebirge) ist ungefähr 0,9 km, während die Oberfläche der ozeanischen Kruste im Mittel 3,7 km unter dem Meeresspiegel liegt.

Die Kontinente unterscheiden sich von den Meeresböden auch durch ihr Alter. Während die ozeanische Kruste überall weniger als 200 Millionen Jahre alt ist, erreichen einige kontinentale Gesteine ein Alter von 3,8 Milliarden Jahren. Es überrascht deswegen kaum, dass die Kontinente vielfältiger und komplexer aufgebaut sind.

4.2. Die Form von Kontinenten

Die Gesteine der kontinentalen Gebiete machen alle tektonischen Vorgänge und Verwitterungsprozesse durch, die an oder nahe der Erdoberfläche stattfinden. Sie sind andauernd der Abtragung ausgesetzt und wurden wiederholt von Ozeanen überflutet. Das Ergebnis dieser äußeren Einwirkung ist eine komplexe Mischung aus magmatischen und metamorphen Gesteinen sowie Sedimentgesteinen. Dennoch kann man Kontinente nur mit Hilfe dreier grundlegender Komponenten beschreiben:

- der Schilde,
- der stabilen Plattformen und
- der jungen Gebirge.

Man kann sich einen einfach aufgebauten Kontinent so vorstellen, dass diese drei Elemente in ihm ungefähr konzentrisch angeordnet sind. In der Mitte befindet sich der Schild - eine flache Ebene alter metamorphosierter Gesteine. Darum herum befinden sich stabile Plattformen: Schildgebiete, die von Sedimentgesteinen bedeckt sind. Dann folgen Gebirgsketten, wobei die ältesten dem Schild am nächsten liegen, die jüngsten an der Grenze des Kontinents.

Das ist jedoch eine Verallgemeinerung. Normalerweise verschmolzen alte Kontinente miteinander. Deswegen haben sie mehr als einen Schild und Plattformen sind durch alte Gebirgszüge voneinander getrennt. Bisweilen brach der Kontinent auch auseinander, wobei Schild und Plattform dann nahe an der neuen Kontinentalgrenze liegen.

4.3. Die grundlegenden Komponenten eines Kontinents

Die drei grundlegenden Einheiten der Kontinente, die Schilde, die stabilen Plattformen und die Zonen der Gebirgsbildung, weisen alle charakteristische Eigenschaften auf. Die Schilde sind große Gebiete frei daliegender präkambrischer Gesteine in niedriger Meereshöhe; sie bilden den Kern jedes Kontinents. Schilde sind ziemlich flach, und ihr einziges Relief besteht aus widerstandsfähigen Gesteinsformationen, die sich wenige Dutzend Meter über die Umgebung erheben. Bei näherer Betrachtung erweisen sie sich jedoch als komplexe Strukturen magmatischer und sedimentärer Gesteine mit Verwerfungen und Verschweißungen. Sie wurden stark deformiert und metamorphosiert, enthalten Graniteinschlüsse und wurden schließlich fast bis auf Meereshöhe abgetragen. Die meisten, wenn nicht alle, Schilde stellen die Wurzeln von Gebirgen dar, die schon vor langer Zeit abgetragen wurden. Seither blieben sie stabil und waren keiner Gebirgsbildung mehr unterworfen. Nicht alle Schilde sind jedoch gleich alt. Große Schildgebiete sind von horizontalen Sedimenten bedeckt („stabile Plattformen“); wie die Schilde selbst haben sie seit dem Präkambrium keine Gebirgsbildung mehr durchgemacht. Die stabilen Plattformen sind die großen Tiefebenen der Erde. Die Meeressedimente über ihnen stammen von Transgressionen.

Schließlich gibt es jüngere Zonen der Gebirgsbildung - große lineare Gebiete, in denen Gebirge durch Kollisionen zweier Kontinente oder einer kontinentalen mit einer ozeanischen Platte aufgefaltet werden. Einige Gebirgszüge sind immer noch im Entstehen begriffen, etwa die Anden und der Himalaja. Andere wie die Appalachen und der Ural werden nicht mehr höher.

4.4. Die Entstehung der Kontinente

Der Ursprung der Kontinente ist nicht sicher bekannt. Ihr Mindestalter wird durch die ältesten bekannten Gesteine (ungefähr 3,8 Mia a) gegeben. Noch ältere Gesteine könnten durch Metamorphose oder Aufgeschmelzen verschwunden sein. Damit wurde die radiometrische Uhr neu gestellt. Mit geochemische Untersuchungen konnte in den ältesten präkambrischen Gesteine ältere, etwas unterschiedlich zusammengesetzte Krustenmaterialien nachgewiesen werden. Wahrscheinlich bildete sich sehr früh in der Erdgeschichte eine Ur-Kruste.

Theorien über die weitere Geschichte der Ur-Kruste:

- a. Die frühe Kruste lieferte die Hauptmasse für die heutigen Kontinente. Aufgrund ihrer geringen Stabilität wurde sie schnell tektonisch umgestaltet, ohne dass sich ihre Gesamtmenge wesentlich geändert hätte.
- b. Die Urkruste, schon ursprünglich relativ dünn, zerfiel in Folge der damals starken Konvektionen und durch Meteoriteneinschläge in kleine Stücke. Die heutigen Kontinente wuchsen aus kleinen Kernen durch Aufnahme von Material aus

dem oberen Mantel heran (z.Zt. mehrheitliche Meinung).

Als Modell wird eine Subduktionszone am Rand der Kerne angenommen: Ozeanische Lithosphäre wandert unter sie und schmilzt durch die steigenden Temperaturen auf, dabei schmelzen Mineralien geringerer Dichte zuerst und steigen auf Grund ihrer geringen Dichte nach oben. Aufsteigendes Magma lässt Vulkane und Intrusionen entstehen. In den mittelozeanischen Rücken aus dem Mantel aufgestiegenes Material gibt also letztlich seine leichteren Anteile an den damit wachsenden Rand kontinentaler Kruste ab.

- c. Die ursprüngliche Kruste ist nur als Ergebnis des Seafloor Spreading entstanden, auf die Annahme von Kontinentalkernen wird verzichtet.

4.5. Kontinentwachstum und Gebirgsbildung

Am wachsenden Kontinentalrand entstehen in der Subduktionszone (vgl. 3.1.3.2.b) Gebirge (Bsp.: Anden.) Schilde erscheinen daher als Wurzeln abgetragener Berge aus ihrer Wachstumsvergangenheit.

Das Wachstum erfolgte nicht kontinuierlich, wahrscheinlich sogar eher sporadisch, dazwischen wurden die Gebirge abgetragen, weil zumindest im betreffenden Bereich kein Seafloor Spreading stattfand. In der Ruhephase abgelagerte Sedimente werden bei der nächsten Wachstumsphase mit einbezogen. Die Grünstein-Gneis-Regionen im Innenteil der Schilde könnten auf diese Weise während des Archaikums entstanden sein, an ihrem Rand lief die Wachstumsphase während des Proterozoikums ab. Radiometrische Altersbestimmungen präkambrischer Gesteine lassen mehrere Wachstumsphasen erkennen:

- a. Vor 3,8 bis vor 3,5 Mia a: ca. 10% der kontinentalen Kruste,
- b. vor 2,9 bis vor 2,6 Mia a: ca. 60%,
- c. vor 1,9 bis vor 1,7 Mia a und vor 1,19 Mia a bis vor 900 Mio a und später die restlichen 30%.

Diese werden von der sich ausdehnenden ozeanischen Kruste mittransportiert, gelangen dann in eine Subduktionszone, werden gegen den benachbarten Kontinent gedrückt und mit ihm verschleißt.

4.6. Mikroplatten als zweiter Wachstumsmechanismus

4.6.1. Erste Hinweise

Über viele Jahre hinweg rätselten die Geologen darüber, warum Der größte Teil Alaskas und ein mehrere hundert Kilometer breiter Streifen längs der Westküste Kanadas und der USA ist mosaikartig aus Hunderten kleiner Bereiche aufgebaut, die sich sowohl in ihren Gesteinen als auch den eingeschlossenen Fossilien scharf voneinander absetzen ("exotische" Gebiete oder *Terrane*). Ihrem Ursprung finden sich unter ihnen Kontinentbruchstücke, Relikte toter Inselbögen, ozeanische Plateaus, Stücke von mittelozeanischen Rücken oder Sedimentplattformen. Ihre Größe liegt zwischen wenigen bis vielen tausend Quadratkilometern. Die Fossilien zeigen durch ihre Lebensräume, dass sie aus z.T. weit vom amerikanischen Kontinent entfernt gelegen haben mussten.

4.6.1. Erklärung der Beobachtungen: wandernde Terrane

Die ursprünglich über den Pazifik verstreut gelegenen Terrane gelangten nacheinan-

der durch das Seafloor Spreading nach Nordamerika und verschmolzen mit dem Kontinentalrand, wobei die an Konvergenzrändern üblichen Verformungen, Drehungen und Kippungen statt fanden.

Weiteres Beispiel:

Der zum Pazifik hin liegende, gebirgige Abschnitt von Antarctica mit Byrd Land und der antarktischen Halbinsel.

Das Phänomen der Terrane (auch als Mikroplattentektonik bezeichnet) scheint an allen Pazifikküsten vorhanden zu sein, ihre Erforschung ist im Gange.

4.7. Plattentektonik im Präkambrium

Zunächst wurde die Theorie der Plattentektonik an den geologischen Vorgängen in den vergangenen 200 Mio a entwickelt. Wahrscheinlich fanden ähnliche Vorgänge auch im Präkambrium statt, die Beweisführung ist allerdings wesentlich schwieriger. Infolge der von heute abweichenden Bedingungen (höhere Erdtemperatur, dünnere, weniger steife Platten, schnelleres Seafloor Spreading) liefen die Prozesse in modifizierter Form ab: Die Platten neigten eher zu Verbiegungen als Brüchen und Verwerfungen; sie tauchten weniger steil ein und der (Inselbogen-)Vulkanismus erfasste eine breitere Zone.

4.8. Kontinentaldrift vor Pangäa

Für die Rekonstruktion der Kontinentverteilung während der letzten 200 Mio a ist eine relativ sichere Datengrundlage vorhanden. Da die ozeanische Kruste höchstens bis zu diesem Alter zurückreicht, können nur ungenaue Vorstellungen über die Zeit vor Pangäa entwickelt werden. Sie beruhen u.a. auf der Verbreitung von Fossilien, der Anordnung alter Gebirgszüge, klimatischen Indikatoren oder der Anordnung von Sedimenten.

Bsp.: Die Hochländer Schottlands und Norwegens entstanden im Silur und Devon durch eine Kollision des nordamerikanischen mit dem europäischen Kontinent, vergleichbar mit der Auffaltung des Himalaja.

Daraus abgeleitete Vorstellungen:

- a. Pangäa entstand im Perm durch Verschmelzung mehrerer Festlandsgebiete, deren Formen nicht den heutigen Kontinenten entsprachen
- b. Pangäa existierte nur für weniger als 100 Mio a.
- c. Die heutige Kontinentgestaltung ist nur für die Zeit nach Pangäa charakteristisch.
- d. Plattentektonische Vorgänge fanden in der ganzen Zeit nach dem Kambrium statt, möglicherweise in früheren Zeiten in modifizierter Form.

Literatur

- (1) ANDEL, TJEERD H. van, Das neue Bild eines alten Planeten, Hamburg 89
- (2) HOHL (Hrsg.) Die Entwicklungsgeschichte der Erde, Leipzig 81
- (3) CHRONIC, H., Pages of Stones Vol 4,
- (4) CLARK, L. (Hrsg.), Wie die Erde entstand (Das Wissen unserer Zeit), Gütersloh 86