

# Globale Tektonik im Spiegel einer Vorlesungsmitschrift aus dem Wintersemester 1922/23 an der Grazer Universität

**Bernhard Hubmann**

Universität Graz, Institut für Erdwissenschaften, A-8010 Graz, Heinrichstraße 26;  
e-mail: bernhard.hubmann@uni-graz.at

Bereits vor und unabhängig von Alfred WEGENER (1880-1930) hatten Wissenschaftler Hypothesen vorgelegt, die der „Kontinentaldrift-Theorie“ durchaus ähnlich waren, wie beispielsweise Frank B. TAYLORS (1860-1939) Versuche aus dem Jahr 1910 die Genese orogener Gürtel zu erklären. Doch hatte keiner vor WEGENER die wissenschaftliche Diskussion nachhaltig in Richtung eines Paradigmenwechsels lenken können. Einen wesentlichen Beitrag zur Unterstützung seiner Vorstellungen gelang WEGENER zusammen mit seinem Schwiegervater Wladimir KÖPPEN (1846-1940) durch die Auswertung von „Klimaproxydaten“. Speziell die Rekonstruktion der „Klimagürtel im Karbon und Perm“ (vergl. Kapitel II in KÖPPEN & WEGENER 1924) dargestellt auf „Pangaea“ zeigte eine in sich stimmige und schlüssige Untermauerung dafür, dass die Kontinente im Jungpaläozoikum entsprechend konfiguriert waren.

Im selben Jahr, in dem die Publikation über „*Die Klimate der geologischen Vorzeit*“ erschien, wurde Alfred WEGENER am 1.4.1924 als ordentlicher Professor für Meteorologie und Geophysik nach Graz berufen. Seine „Kontinentaldrift-Theorie“ war nun knapp über 12 Jahre alt und noch immer unter Geologen heftig umstritten. Auch die Grazer Geologen standen WEGENERS Ausführungen ablehnend gegenüber, und so meinte Robert SCHWINNER (1878-1953) noch 1936: „*Die Wegener'sche Hypothese ist fern von der Geologie entstanden ...*“. Um Faunen- und Florenausbreitungen in der Erdgeschichte innerhalb eines fixistischen geologischen Weltbildes plausibel erklären zu können, bediente man sich öffnender und schließender Landbrücken. Doch war das Absinken von Landbrücken zwischen den Kontinenten mit dem zu Beginn des 20. Jahrhunderts entwickelten und heute allgemein akzeptierten Konzepten der Isostasie nicht mehr länger vereinbar. Dieses Konzept geht davon aus, dass die Kontinente selbst aus leichterem Material („Sial“) bestehen als die Ozeanböden und die unter Kontinenten liegenden Krustenbereiche („Sima“). Allgemein vertrat man bereits die Annahme, dass die Kontinente im isostatischen Gleichgewicht auf dem flüssigen Erdmantel schwimmen würden. Ein Absinken der leichten Landbrücken in den dichteren ozeanischen Boden wäre daher unmöglich. Somit bot die Idee WEGENERS von Kontinenten, die zu verschiedenen erdgeschichtlichen Perioden unterschiedliche Verbindungen zueinander hatten oder auch gegebenenfalls isoliert waren, weitaus einfachere Erklärungsmöglichkeiten speziell in paläobiogeographischer wie paläoklimatologischer Hinsicht. Unüberwindbare Schwierigkeiten jedoch sah man darin, den Motor, der die Kontinentalwanderungen verursacht, dingfest zu machen.

WEGENER suchte zuerst die Ursachen der Kontinentalverschiebung im astronomischen Bereich. Die „Polflucht“ der Kontinente („Sial“) in Richtung Äquator sollte sich durch die Rotation der Erde ergeben, die zusätzliche Westdrift durch die Präzession der Erdachse sowie durch die Gezeitenreibung (ausgelöst durch die Anziehung der Sonne und des Mondes) ergeben. Diese Annahmen sind aus geophysikalischer Sicht untragbar und verstärkten nur die allgemeine ablehnende Haltung gegenüber WEGENERS Konzept.

Parallel zu WEGENERS Vorstellungen tauchten allerdings weitere Ideen auf, die später mit der Kontinentalverschiebungstheorie in der heutigen Plattentektonik zur Synthese kamen. So entwickelte Otto AMPFERER (1875-1947) aus den Problemen der alpinen Tektonik heraus die Unterströmungstheorie, um einige Probleme der Gebirgsbildung besser erklären zu können (AMPFERER 1906). Nach seinen Vorstellungen ermöglichen abwärts gerichtete Massenströmungen unter Gebirgen Einengung und Deckentransport.

An der Grazer Universität erweiterte SCHWINNER (1920) die Theorie AMPFERERS, indem er für diese Strömungen konvektiven Massentransport im Erdinneren annahm. Hier soll das heiße Sima unter den Kontinenten aufsteigen und dabei zu den an der Oberfläche beobachteten Erscheinungen wie Dehnung und Vulkanismus führen. Dieses zähflüssige Sima fließt dann in Richtung der ozeanischen Gebiete, verursacht dabei Stauchung und Faltung der Sedimente, kühlt sich ab und sinkt wieder in die Tiefe, in der es sich wieder in Richtung auf die Kontinente bewegt (vgl. HUBMANN & FRITSCHL 2003). Als WEGENER sich eingestehen musste, dass die astronomischen Kräfte zu gering seien, die er für die treibenden Kräfte hielt, um die Bewegung der Kontinente in Gang zu setzen, erwog er in seinen letzten Jahren die Vorstellungen SCHWINNERS der thermisch bedingten Massenverlagerungen unter der festen Erdkruste als den Motor der Kontinentverschiebungen heranzuziehen.

Aus der Zeit vor WEGENERS Berufung nach Graz stammt eine schriftliche Fassung der von HERITSCH gehaltenen Vorlesung über „*Grundlagen der alpinen Tektonik*“ aus der Feder von Richard PURKERT (1901-1968), die im Besitz des Autors ist. Die schöne Schriftführung sowie die sorgfältig ausgeführten Zeichnungen des 173 handgeschriebene Seiten umfassenden Heftes (blauer Einband, Format 16,5 x 21 cm) lassen vermuten, dass es sich um eine Übertragung einer Mitschrift der Vorlesung handelt.

In Anbetracht der Tatsache, dass besonders in den zwanziger Jahren des 20. Jahrhunderts WEGENERS Theorie unter den Geologen heftig diskutiert wurde, erscheint es besonders interessant, einen Einblick zu bekommen, wie am geologischen Institut der Grazer Universität die Vorstellungen zur globalen Tektonik in den akademischen Vorlesungsbetrieb Eingang fanden. Es fällt auf, dass besonders auf die „Verschluckungstheorie“ im Sinne von SCHWINNER Wert gelegt wurde – damit befanden sich die Grazer Geologen schon nahe an den Vorstellungen der Plattentektonik!

Im Folgenden wird der Teil der „Mitschrift“, der sich auf die gebirgsbildenden Prozesse bezieht, abgedruckt. Auf dem Umschlag des Autographs von Richard PURKERT steht: „*Grundlagen d. alpinen Tektonik*“ Prof. Heritsch, WS 1923/24. Vorlesungen Dr. Purkert.“ Den Vorlesungsverzeichnissen zufolge hat aber HERITSCH diese dreistündige Vorlesung im Wintersemester 1922/23 gelesen; im Wintersemester 1923/24 las er aufbauend auf die genannte Vorlesung „Stratigraphie der alpinen Formationen“.

#### R. Schwinnners Ausgestaltung der Verschluckungstheorie:

*Ampferer ist nur durch Überlegung auf diese Anschauung gekommen. Schwinner sucht sie aber zu begründen. Er sagt, dass die Gebirgsbildung zusammenfällt mit vulkanischen und Erdbebenzonen. Auch ein gewisser zeitlicher Zusammenhang ist auffällig. Das alpine Mesozoikum ist fast frei von Gebirgsbildung und Eruptionen.*

1. Grundregel: Zusammenfallen der Gebirgsbildung mit Eruptionen zeitlich und räumlich.

2. Grundregel: Teilung in die zwei Zonen

a) Erdkern mit 6250 km Radius und b) Umarbeitungszone (Tektonosphäre) mit 120 km Radius. In 120 km Tiefe hören alle Ungleichmäßigkeiten unserer Erde auf. Unter dieser Ausgleichsfläche herrscht vollständiges hydrostatisches Gleichgewicht.

3. Grundregel: Schwinner hat die Tektonosphäre verglichen mit der Troposphäre; 10 km Lufthülle, in welcher sich die meteorologischen Vorgänge abspielen. Schwinner wendet auf die Erde die Grundsätze der Thermodynamik an.

*Thermodynamische Grundlagen: Das erste Gesetz fordert die Aufstellung einer Energiebilanz (alle Fragen, die die Lufthülle betreffen). Die Änderungen im Zustand der Troposphäre sind periodisch und nach Ablauf einer Periode ist der Energieinhalt wieder da, wie im Anfang. Die Energiezufuhr Sonnenwärme und der Energieverlust: Ausstrahlung halten sich die Waage.*

2. Gesetz Entropiesatz. Als notwendige Bedingung jeden spontanen Geschehens in der Troposphäre haben wir das Vorhandensein eines Gefälles. Diese Vorgänge verlaufen in der Richtung des Gradienten. In der Troposphäre haben wir zwei Hilfsbegriffe: 1) Zyklonen, ein aufsteigender Luftwirbel, entgegengesetzt dem Uhrzeiger; Minimum; und 2) Antizyklonen, ein absteigender Luftwirbel, im Sinn des Uhrzeigers. Wenn nun in der Atmosphäre ein Energieaustausch in kurzer Zeit vorhanden ist, heißt das kurzer Zyklus. Der große Umsatz der ganzen Lufthüllenmasse heißt: langer Zyklus. Z.B. der Wechsel des großen asiatischen Sonnenminimums ist ein Angehöriger des langen Zyklus. Nun werden

*diese Verhältnisse auf die Tektonosphäre übertragen. In dem Gesteinsmantel der Erde haben wir einen Energieverlust: 1) Wärmeabgabe an der Erdoberfläche. 2) Die potentielle Energie bei aerogenetischen Vorgängen, die als ein Verlust zu bezeichnen ist bei der Entstehung der großen Unebenheiten der Erde. 3) Die geleistete molekulare Arbeit. 4) Überwindung der Kohäsion durch Kataklase 5) Erdtherm verlaufende Prozesse.*

*Dieser Energieverlust wird gedeckt durch: 1) Zufuhr von Wärme aus dem Erdkern. 2) Durch eigenen Energievorrat. 3) Durch exogen verlaufende Prozesse (Umsetzung der radioaktiven Substanzen).*

*Das Material der oberen Zonen verhält sich als fester Körper, das Material der unteren Zonen können wir als Flüssigkeit bezeichnen und zwar als Flüssigkeit mit großer innerer Reibung.*

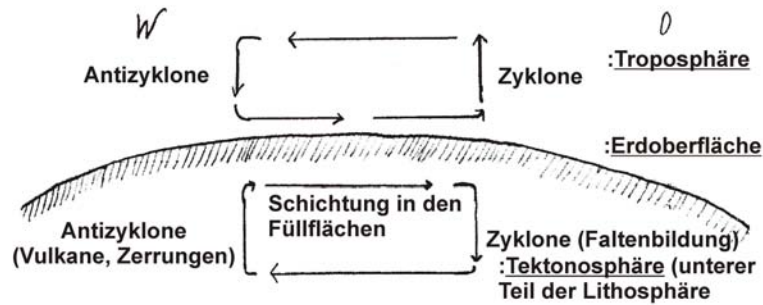
*Wo setzen die Kräfte an, welche die feste Kruste in Bewegung setzen? Nach Schwinner in der Zone, die sich unter der festen Zone befindet, zwischen Gesteinsmantel und Ausgleichsfläche. Diesen Teil nennt man die aktive Zone. Darüber die passive Zone.*

*Konvektionsströme: Wenn man zugibt, dass im Erdinneren Strömungen vorhanden sind, dann gibt es zwei Möglichkeiten: 1. Möglichkeit: Im Erdinneren sind ungleich große Schwereniveauflächen vorhanden. Es ist da eine Druckdifferenz, ein Gradient vom Ort des höheren Druckes zum Ort des niederen Druckes; dadurch entsteht eine Strömung. Der Energieinhalt ist aber nur ein geringer. Eine solche Strömung muß auch ein rasches Ende finden (Kurzer Zyklus = Ausgleich zwischen zwei Druckdifferenzen).*

*Man muß annehmen, dass in der Erdkruste vertikale Strömungen möglich sind. Eine instabile Schichtung ist in der Umarbeitungszone vorhanden. Wenn nun eine thermisch instabile Schichtung vorhanden ist, dann findet eine Ausgleichsströmung statt. Die Folge ist dann ein Konvektionsstrom, d.h. ein solcher, der Wärme transportiert. Stellen wir uns eine Säule einer schweren Flüssigkeit im stabilen Gleichgewicht vor: Von oben nach unten nimmt der Druck zu und im gleichen Maße auch die Temperatur. Die Niveaufläche hat also gleichen Druck und gleiche Temperatur. Die Säule befindet sich im Zustand der Stabilität. Nun würden wir aus einer solchen Säule unten ein Teilchen wegnehmen können, würden es mit einem Häutchen umgeben, so dass die Wärmeabgabe und Ausdehnung verhindert würde und versetzen dieses Teilchen einfach in ein höheres Niveau. Dort ändert sich sein Lagezustand, da die Temperatur eine andere ist. Das stabile Gleichgewicht der Säule ist dadurch gestört worden. Das Teilchen dehnt sich aus und gibt Wärme ab. Diese Wärmeabgabe und Ausdehnung geschieht in einem Tempo, das sehr rasch ist und es findet eine vollständige Ausgleichung an die Fläche  $a$  statt. Der hydrostatische Auftrieb ist nach Angleichung zu Ende. Damit ist die Möglichkeit eines Weiterschreitens des Konvektionsstromes ausgeschlossen. Die thermische Schichtung an dieser Säule ist indifferent geworden. Diesen Fall können wir also ausschließen.*

*2. Möglichkeit: Wenn die Abkühlung größer ist als die Temperaturdifferenz zwischen oben und unten, dann sinkt das Teilchen in seine Ruhelage zurück, bis die thermische Schichtung wieder stabil geworden ist. Wenn die Abkühlung geringer ist als die Temperaturdifferenz von Anfangs- und Endwärme des Teilchens, so ist das gehobene Teilchen wärmer als die Niveaufläche  $a$  und daher leichter als  $b$ , welches Teilchen es verdrängt hat. Die Folge ist: der Auftrieb geht weiter, wir bekommen einen aufsteigenden Strom, der fortwährend weitergeht. Ein solcher Konvektionsstrom untergräbt seine eigene Existenz dadurch, dass er Wärme von unten nach oben bringt und die Temperaturdifferenz sich langsam angleicht. Der Gradient hat ein Ende.*

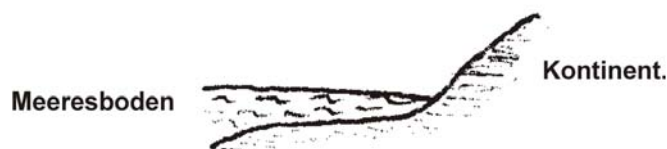
*Die Auslösung eines Konvektionsstromes kann nur von außen geschehen, nicht vom inneren Teil der Erde und zwar in den Geosynkinalen, die große Sedimentationsfähigkeit haben. In diesen wird das Gewicht größer. Das Gleichgewicht in der Tiefe wird durch Zufuhr der zu erwärmenden Massen gestört, die Bewegung wird dadurch ausgelöst und es beginnt der Konvektionsstrom. Eigentlich genau dieselbe Vorstellung wie in der Troposphäre:*



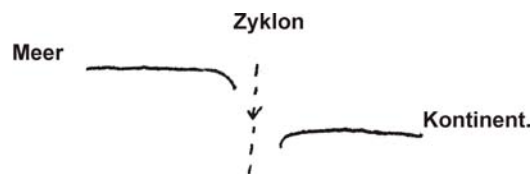
Antizyklonalgebiet ist jenes, in dem ein aufsteigender Strom stattfindet und das Tiefersteigen des Konvektionsstromes aufhört. Es findet dann einfach die Ablenkung durch die Erddrehung statt. Antizyklonalgebiete sind Gebiete der Vulkane und Zerrungen; Zyklonalgebiete sind Gebiete der Faltenbildungen. Die Antizyklonen des Erdinneren sowie der Troposphäre haben das Bestreben zu bleiben; die Zyklonen haben die Tendenz rasch vorbei zu gehen. Der aufsteigende Strom gibt infolge der Druckerleichterung Anlaß zur Entmischung des Magmas. Leichtere Teile strömen hinauf, schwache kommen nach (Wechsel von sauer zu basisch, obwohl die basischen die leichteren sind). Die Differentiationen des Magmas finden infolge der Druckerleichterung statt.

Aufeinanderfolgen von Zyklonen und Antizyklonen: Nach der variszischen Gebirgsbildung haben wir die vulkanische Tätigkeit im Karbon und Perm so lange, bis die Magmamassen erschöpft sind. Dann folgt eine Zeit der Ruhe. Im Mesozoikum nur epirogenetische Bewegungen.

Faltenbildung: Nur wo Zyklonen absteigen, ist der Ort für Faltenbildung. Um Kontinentalrand erfolgt das Absteigen der Zyklonen. Die unteren Teile der Scholle werden mit in den Zyklonenwirbel hineingerissen, infolgedessen saugen sie von den höheren Partien immer mehr ab und wir bekommen dann in den Zyklonalgebieten ein Absteigen, ein Triften. Die Schichten, die in den Geosynklinalen sind, verlieren gleichsam ihre Unterlage. Die Unterlage wird zu klein, infolgedessen rücken diese Massen zusammen. In der Mitte werden sie hinunter gesaugt. An den Rändern werden sie zusammengeschoben und gefaltet: Verschluckungszone. Die Kontinente reichen tief unter den Meeresboden hinein:



Dieselbe Schwereniveaufläche liegt im Kontinent in tieferer Lage als im Meer (Schwerefläche mit hydrostatischem Gleichgewicht). Die Simamassen liegen also tiefer:



Dadurch entsteht ein drehendes Kräftepaar, welches bewirkt, dass die obere Scholle an die untere angepresst wird. Einseitiger Schub!:



Die Füllflächen sind ausgestaltet durch die Horizontalströmung. Geben die Strömungen gleichmäßig, dann bleiben die Schollen in Ruhe. Wenn aber die Ströme zusammenlaufen, bekommen wir Bewegungen der Schollen gegeneinander, Pressungen, Trümmer und Verwerfungscharren.

Bei Divergenz der Strömungen werden Schollen auseinandergerissen und wir bekommen entweder vor oder hinter dem Kettengebirge Zerrungs- und Pressungsgebiete. Das, was die Füllflächen auf der Erdoberfläche ausmachen, ist fest und zu-

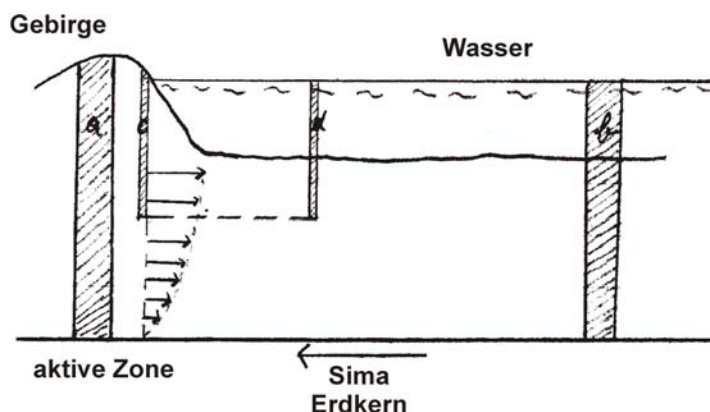
oder zwischengeordnet den epirogenetischen Vorgängen. Die sogenannten Massive sind solche Gebiete, in welchen einfach eine Füllströmung vorhanden ist und die uns gleichsam die Festigkeit vortäuschen, diese aber nicht haben können, weil ein Gesteinskörper von Bewegungsflächen zersetzt, keine solche Festigkeit überhaupt haben kann. (Böhmische Masse). Wenn wir die Verteilung der Vulkane auf der Erde betrachten, so sieht man, dass sie den Grundformen der Kettengebirge folgen, im Großen und Ganzen an den Kontinentalrändern. Der Vulkanismus folgt den Knittungen im Äußeren der Erdoberfläche.

Zu den Kontinenten steigen die Geoisothermen hoch hinauf. Sie kreuzen sich mit den Schwerniveauflächen; daher kann es an dieser Grenze vom Kontinent zum Meer kein hydrostatisches Gleichgewicht geben. Wenn nun diese Strömungen hinunterreichen bis in die aktive Zone, dann ist Anlaß, dass kurze Zirkel auf kurze Entfernungen entstehen können. Die Gebirgsbildung hingegen geht über die ganze Erdoberfläche, daher ein langer Zirkel. An der pazifischen Küste, wo große Höhen und große Vorflächen vorhanden sind, ist eine bedeutende Beweglichkeit vorhanden und infolgedessen die Gegebenheit für fortwährende Bewegungen:

Erdbeben: Diese an Kontinentalrändern haben niemals ihren Stoßpunkt im Kontinent, sondern im Meer. Die Faltungsrichtung im Meer ist immer gegen den Kontinent gerichtet. In den Geosynklinalen sammeln sich die Sedimente, es handelt sich da ausschließlich um Seichtwassersedimente. Die Geosynklinalen sinken langsam: Alpenvorland, Poebene. Das Sinken ist ein Ausgleich des hydrostatischen Gewichtes. Wenn so eine Geschichte ins Werk gesetzt wird und Konvektionsströme ein Gebirge aufrichten, dann ist aber die Sache noch nicht zu Ende. Denn es haben die Vortiefen der Gebirge noch immer eine Überschwere. Dabei haben auch nach der Faltung die Vortiefen die Tendenz zu sinken. Dabei bekommen wir im Ring der wie im Ring der Gebirge Senkungszone. Nach dem großen Zyklus werden die Geosynklinalen weiter in die Tiefe sinken langsam und die neue Gebirgsbildung wird langsam aufgearbeitet. Aus der geologischen Geschichte sieht man das: Die kaledonische Faltung im Silur nördlich der Alpen. Die Geosynklinale sinkt nach Süden ab. Im Norden Festland mit dem roten Wüstensandstein. Im Devon ist die Geosynklinale in Mitteldeußland. Dieses ist ein Flachmeer. Im Mesozoikum ist unser Alpengebiet die Geosynklinale. Die Geosynklinale verlagert sich nach Süden weiter: Mittelmeer. Der pazifische Küstenzyklus regeneriert sich fortwährend.

Vulkanische Gebiete schützen gleichsam kleine Abschnitte der Geosynklinalen vor dem Absinken verursacht durch die Abkühlung. Sie bleiben wie Horste stehen. Aus der Poebene schauen nur die Vulkane heraus. Im Senkungsgebiet von Ungarn ragen die Vulkane vom Plattensee heraus. Quarzporphyr bei Bozen; Zentralgranit der Tauern wahrscheinlich ein karbonisches Intrusivgestein. Diese haben die mittleren Zonen der Alpen vor dem Hinunterstürzen geschützt, beziehungsweise das Meer ist nur in geringen Flächen über sie hinweggegangen. Gebiete mit jungem Vulkanismus machen die Senkung der umgebenden Geosynklinale nicht mit.

Wie epirogenetische Bewegungen entstehen:



a und b halten einander das Gleichgewicht; anfangs auch c und d im Gleichgewicht; durch den Abtrag vom Gebirge aber wird c geringer, während d die größere Schwere bekommt. Da das Meer immer schwerer wird, findet dann eine Bewegung gegen den Kontinent statt. Es entsteht ein Zyklon, dessen Gradient oben gegen das Meer, in der Tiefe gegen den Kontinent gerichtet ist und diesen Strom bedingt die langsame Verstellung auf der Erdoberfläche. Solche kleine Zyklonenbewegungen sind unsere epirogenetischen Bewegungen, die an einem kleinen Teil der Erde Verschiebungen verursachen wie Aufwölbungen, Höbenschaltung, Verstellung usw.

Orogenetische Bewegungen: Es sind jene Bewegungen, die nicht auf Ungleichmäßigkeit im kleinen Zirkel beschränkt sind, sondern deren Strömungssysteme über die ganze Erde hinweggeht. Große Zyklonen und Antizyklonen sind vorhanden. Ein so großer Zyklus wird hervorgebracht durch Senkung, ermöglicht nur dadurch, dass tiefere Schichten sich im instabilen Gleichgewicht befinden.

Vergleich zwischen Epirogenese und Orogenese: In der Ursache: Die Orogenese wird verursacht durch eine Instabilität der vertikalen Schichtung, welche einen Konvektionsstrom auslöst. Die Epirogenese ist verursacht durch Abweichungen vom Gleichgewicht. Der Energieaustausch geschieht: Bei der Orogenese von unten nach oben und zwar geschlossen über die ganze Erdoberfläche, also ein langer Zirkel. Von Urzeit an sind diese Vorgänge periodisch. Eine Revolutionsperiode wird in langer Zeit verarbeitet, wobei schon längst eine Instabilität der Schichten vorhanden ist und dann genügt eine kleine Anregung, um diese Ummwälzung hervorzubringen.

Bei Epirogenese ist der Energieaustausch horizontal durch einen kurzen Zirkel gegeben. Vielleicht auch eine Periodizität vorhanden, aber er müsste sich in kleineren Intervallen wiederholen.

Bei Orogenese wird das Schwerepotential gegen die Schwere vergrößert. Daher verschärft sich das Relief, d.h. die orogenetischen Bewegungen schaffen die ganzen Unebenheiten der Erdoberfläche.

Bei Epirogenese sehen wir das Gegenteil. Sie arbeitet mit der Schwere. An der Oberfläche bewirkt sie die Verkleinerung des Schwerepotentials infolge der Ablagerung. Eine Verflachung des Reliefs tritt ein.

Die typische Tektonik ist bei Orogenese: Faltung, Überschiebung usw.

Bei Epirogenese: Hebungsbrüche, Senkungsbrüche, Flexuren, etc.

Die Orogenese baut die Kontinente auf; d.h. an der pazifischen Seite baut sie auf, an der atlantischen Seite erfolgt immer eine Ablagerung. Im Verlauf der geologischen Geschichte werden die Kontinente nicht größer. Die Kontinente werden durch Anschweißen der neuen Faltungszonen aufgebaut. Die Epirogenese lässt die Kontinenttafeln langsam hinuntersinken auf das alte Krustenniveau.

Warum beschränken sich die orogenetischen Bewegungen auf die Geosynkinalstreifen?

Die Kontinente sind widerstandsfähiger, weil unter dem Schutz der daraufliegenden Gesteinsmassen die aktive Zone gegen Wärmeverluste weitgehend geschützt ist. Der Ozeanboden ist relativ ruhig, weil die Bewegungen dort gleich sind. Für diese Unterströmungstheorie brauchen wir keine Wurzeln, keinen einseitigen Schub, keine stauenden Massen usw. Im nördlichen Teil der Zentralalpen haben die Zyklonen Faltenzugstraßen gehoben. Die großen Störungsgebiete unserer Alpen streben gleichsam der Tiefe zu, was sich in den Schweremessungen ausdrückt. Das Alpenvorland hat Überschwere. In den Alpen drin sind zwei große Schweredifferenzen: Graubünden und Simplon. Am Nord- und Südrand der Alpen sind Zyklonen gegangen, die eingesaugt haben und die das Übereinanderstapeln der Deckenflotte hervorgebracht haben. Dagegen werden die Antizyklonen gelegt an der Südseite gegen die Poebene und Adria, auf der anderen Seite in der mitteldeutschen Gebirgs-Schwelle.

#### Literatur:

AMPFERER, Otto (1906): Über das Bewegungsbild von Faltengebirgen. – Jahrbuch der k.k. Geologischen Reichsanstalt Wien, **106**: 539-622, Wien.

HUBMANN, Bernhard & FRITSCHL, Else (2003): Robert Schwinner (1878-1953), ein Vorkämpfer der Plattentektonik. - Ausstellungskatalog der Universitätsbibliothek Graz, 120 S., Graz.

KÖPPEN, Wladimir & WEGENER, Alfred (1924): Die Klimate der geologischen Vorzeit. – IV + 256 S.- Berlin (Borntraeger)

SCHWINNER, R. (1920): Vulkanismus und Gebirgsbildung. Ein Versuch. - Zeitschrift für Vulkanologie, **5**: 175-230, Berlin.

SCHWINNER, R. (1936): Lehrbuch der physikalischen Geologie. Bd. I: Die Erde als Himmelskörper. Astronomie, Geophysik, Geologie in ihren Wechselbeziehungen.- XII + 356, Berlin (Borntraeger).

TAYLOR, Frank B. (1910): Bearing of the Tertiary Mountain belt on the Origin of the Earth's Plan. - Geological Society of America Bulletin, **21/2**: 179-226, Boulder.