Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: - (1956)
Heft: 52

Artikel: Probleme der Erdgeschichte
Autor: Heierli, Hans
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-900394

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Probleme der Erdgeschichte *)

Von Dr. HANS HEIERLI, Zürich

Die Geologie, die Wissenschaft von der Erde, befasst sich mit dem Aufbau und mit der Geschichte unseres Planeten. Dank dieser weiten Fassung des Begriffes hat der Geologe nicht nur die Ergebnisse von fast allen andern Naturwissenschaften zu benützen, sondern es ist ihm auch Gelegenheit geboten, sich selbst äusserst vielseitig zu betätigen und seinen geistigen Horizont ständig zu erweitern. Die auf den ersten Blick trockene Wissenschaft von der Erde entpuppt sich bei näherem Zusehen als eine sehr umfassende Naturwissenschaft, als ein immerwährendes Sich-Auseinandersetzen mit Problemen der anorganischen und der organischen Welt.

Mit der *Astronomie* ist die Erdgeschichte auf besonders innige Art verknüpft, indem der Geologe einerseits seine Unterlagen für den Chemismus des ihm unzugänglichen Erdinnern grösstenteils beim Astronomen beziehen muss, und indem sich anderseits in der Erforschung der frühesten Erdgeschichte die Interessensphären der beiden Wissenschaften überschneiden.

Ueber die *Entstehung der Erde* und der Planeten im allgemeinen gibt es eine grosse Zahl von Hypothesen. Sie können in zwei Gruppen eingeteilt werden: die Hypothesen über die selbständige Entwicklung des Planetensystems aus einem Urnebel oder einer Ursonne (Kant, Laplace, von Weizsäcker, Kuiper) und die Hypothesen, die die Entstehung des Planetensystems auf eine kosmische Katastrophe zurückführen wollen (Buffon, Jeans, Jeffreys, Chamberlin, Moulton). In neuerer Zeit scheint die erste Gruppe wieder etwas mehr «en vogue» zu sein, wenn man von den noch moderneren elektro-magnetischen Kosmogonien von Alfvén und der Nova-Theorie von Hoyle absehen will. Restlos überzeugend ist noch keine dieser Theorien, so dass wir über die Entstehungsart unserer Erde noch im Ungewissen sind.

Man nimmt heute auf Grund neuester Forschungen an, dass unser Planetensystem vor 4—4½ Milliarden Jahren entstanden sei. Bis aber die Vorgänge einsetzen konnten, welche den Geologen vor allem interessieren, mussten noch mindestens 2 Milliarden Jahre vergehen, denn vorerst fehlte noch der Tummelplatz der eigentlich geologischen Prozesse, nämlich die feste Erdkruste. Der gasförmige glühende Ball aus Sonnenmaterie, unsere Früh-Erde, begann sich nun zu differenzieren, indem riesige Mengen von leichflüchtigen Stoffen, vor allem von Wasserstoff, an den leeren Weltraum verloren gingen. Die Folge war eine passive Anreicherung von schweren Elementen an der Erdoberfläche und damit eine Störung des Massengleichgewichtes, welches durch Konvektionsströmungen — analog den

*) Vortrag gehalten in der Gesellschaft der Freunde der Urania-Sternwarte, Zürich.

Meeresströmungen — wieder hergestellt werden musste. Der unter gewaltigem Druck stehende Erdkern, der naturgemäss aus den schwersten Elementen besteht, war aber solchen Strömungen entzogen, und er dürfte seinen Chemismus bis heute bewahrt haben; eine Zusammensetzung, die etwa derjenigen der Meteoriten entspricht, mit absolutem Vorherrschen von Nickel (Ni) und Eisen (Fe), weshalb man von einem *Nife-Kern* spricht.

Die äussern Regionen der Erde dagegen bestanden in diesem frühen Stadium noch aus einer silizium- und sauerstoffreichen Schmelze von leichten Metallen. (Das Silizium spielt in der anorganischen Natur die gleiche überragende Rolle, welche in der organischen Welt dem nahe verwandten Kohlenstoff zukommt.) Diese sogenannte Magmaschale differenzierte sich ihrerseits weiter in eine magnesiumreiche innere Sphäre (die *Sima-Schale*) und in eine aluminiumreiche äussere Sphäre (die *Sial-Schale)*. Typische Vertreter des Sima sind die dunklen Basalte, während dem Sial etwa ein heller Granit entspricht. Diese Magmaschale begann nun im Verlauf der weitern Abkühlung von oben her zu erstarren, wobei vorerst nur einzelne Schollen, die fortwährend in Auflösung und Neubildung begriffen waren, auf dem dickflüssigen Kristallbrei schwammen. Nach und nach schlossen sich aber diese Schollen zusammen zur ersten Erstarrungskruste. Für die überhitzte Atmosphäre fiel damit der Wärmelieferant — der flüssige Erdkern — aus, und sie kühlte sich in der Folge rasch ab. Sukzessive schieden sich auf der ersten Erstarrungskruste viele der leichtflüchtigen Substanzen ab, welche in ihrer Gesamtheit schliesslich die oberste Schicht der Erdrinde bildeten.

Diese Gesteinshülle geht auch heute noch in einer gewissen Tiefe allmählich in das flüssige Magma über. Die Erdbebenkunde liefert uns Anhaltspunkte über die Dicke der festen Kruste, die zwischen 40 und 70 km schwankt. Erdbebenwellen werden nämlich am Uebergang von fest zu flüssig wie auch zwischen Medien verschiedener Dichte gebrochen, welche Eigenschaft auch für die Abklärung der Strukturen und der Dichteverhältnisse im Erdkern verwertet wird. Anderseits ist eine Bestimmung der Erdrindendicke auch möglich mit Hilfe der geothermischen Tiefenstufe. Die Bodentemperatur nimmt bekanntlich zu, je weiter man in die Erdkruste eindringt, was sich sowohl in langen Tunnels als auch in Bergwerken feststellen lässt. Rechnet man diese Wärmezunahme weiter, so gelangt man für eine bestimmte Tiefe zu Temperaturen, bei denen das feste Gestein allmählich in den flüssigen Zustand übergehen muss. Allerdings schliesst diese Methode etliche Fehlerquellen in sich, indem einerseits auch der gewaltige Druck der überlagernden Gesteinsschichten berücksichtigt werden muss, und anderseits radioaktive Substanzen, Vulkane, Schwefellager und Salzstöcke das Mass der Temperaturzunahme, die im Mittel 1 ° C auf 30 m Tiefe beträgt, wesentlich beeinflussen können.

Der schalige Bau beschränkt sich aber nicht auf die feste Erdrinde, sondern ist auch im Erdinnern feststellbar (Fig. 1). Die

Grenzzonen der einzelnen Schalen konnten von der Erdbebenkunde recht genau festgelegt werden. Dabei ist bemerkenswert, dass die Dichte an diesen Grenzzonen von aussen nach innen jeweils sprunghaft zunimmt.

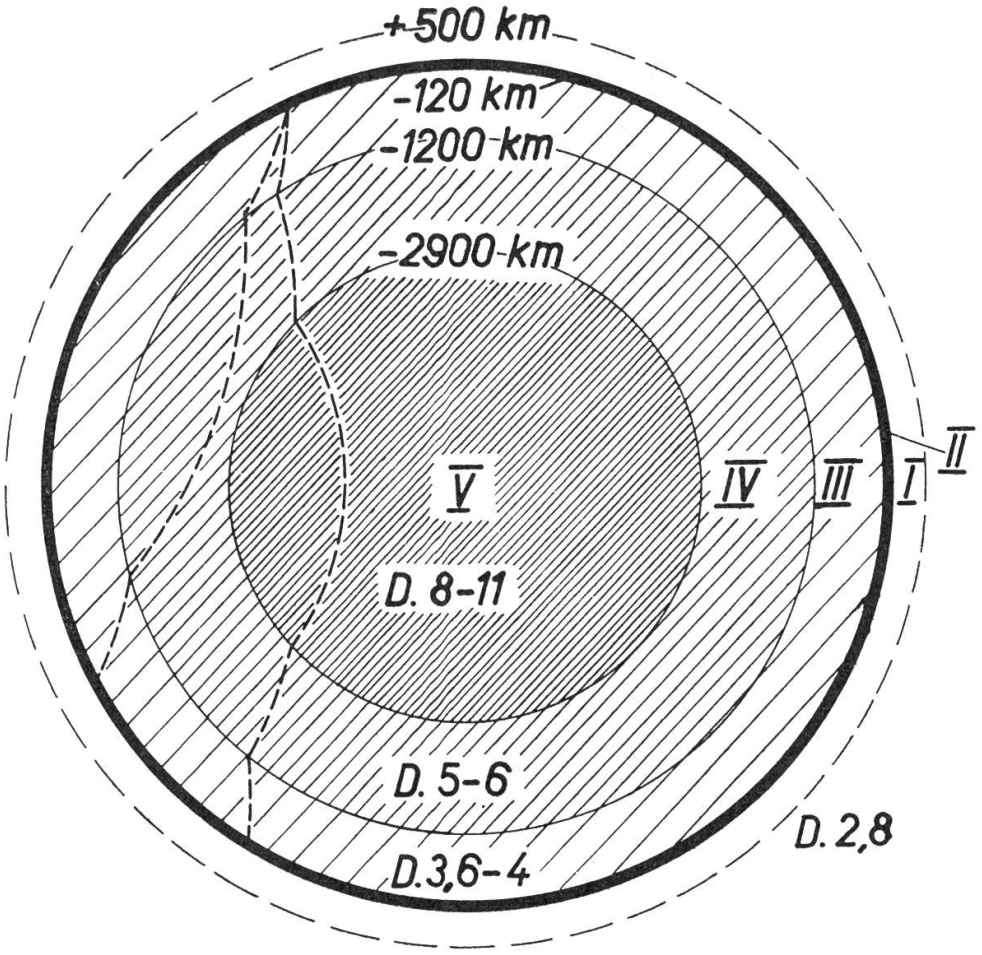

Fig. 1. Der Schalenbau der Erde

I = Atmosphäre, II = Sial, III = Sima, IV = Zwischenschicht, V = Nife-Kern, D = Dichte. Gestrichelte Linien = Verlauf von Erdbebenwellen im Erdinnern (schematisch)

Der in der überhitzten Atmosphäre reichlich vorhandene Wasserdampf konnte sich erst kondensieren, als eine bestimmte Temperatur unterschritten war. In gewaltigen Wolkenbrüchen stürzte das Wasser aus den dicken Wolken, um vorerst auf der noch heissen Gesteinsoberfläche sogleich wieder zu verdampfen. Mit der ständigen Wasserbedeckung, die nach Unterschreitung einer Oberflächentemperatur von etwa 175 ° C möglich wurde, war eine wichtige Vorbedingung für das Auftreten des Lebens geschaffen, während die Atmosphäre vorerst noch stark mit Kohlensäure und Ammoniak beladen war und somit eine Existenz von höheren Lebewesen ausschloss. Das *erste Leben* auf unserm Planeten dürfte sich in Gestalt von primitivsten Viren und Bakterien geäussert haben, welche auch ohne Licht und Sauerstoff zu vegetieren imstande sind und die ver-

giftete Lufthülle nach und nach auch für höhere Organismen geniessbar machten. Mit der Abnahme des Wasserdampfgehaltes der Luft vermochte nun auch das Sonnenlicht bis auf den Erdboden hinabzudringen, womit den Pflanzen die Möglichkeit der Assimilation mit Hilfe des Blattgrüns gegeben wurde. Landpflanzen und Landtiere finden wir allerdings erst viel später, nämlich im Silur (Tabelle der geologischen Zeitalter). Dem Geologen fehlt das Rüstzeug, um an das Problem der Lebensentstehung aus toter Materie herangehen zu können. Wenn überhaupt, so dürfte am ehesten von der Chemie und Biologie der makromolekularen Stoffe eine Lösung zu erwarten sein.

Die Ueberreste des Lebens in versteinerter Form, die *Fossilien*, spielen für die Aufstellung einer Zeitskala der Erdgeschichte eine überragende Rolle, obwohl wir damit nicht eine absolute, sondern lediglich eine *relative Zeitrechnung* erhalten können. Besonders die tierischen Hartteile wie Schalen oder Knochen sind erhaltungsfähig, indem bei der Gesteinsverfestigung die organische Substanz sukzessive durch Kalk oder Kieselsäure ersetzt wird. Um aber als Leitfossil für die Zeitrechnung brauchbar zu sein, muss ein Lebewesen ganz bestimmte Voraussetzungen erfüllen, nämlich einerseits eine relativ kurze Lebenszeit der Art aufweisen, zum zweiten eine möglichst weltweite Verbreitung gefunden haben, was meist nur für Wassertiere zutrifft. Auf Grund solcher Leitfossilien hat die Geologie eine Einteilung der Erdgeschichte in Zeitalter und Perioden vornehmen können, die je nach Region noch weiter unterteilt werden kann.

Tabelle der geologischen Zeitalter

(Die Zahlen geben die Dauer in Jahrmillionen an)

Neozoikum (Neuzeit)	Quartär (0,6)	Erste Menschen
	Tertiär (60)	Entwicklung der Säugetiere
Mesozoikum (Mittelalter)	Kreide (80)	Erste Blütenpflanzen
	Jura (35)	Erste Vögel
	Trias (25)	Erste Säugetiere
Paläozoikum (Altertum)	Perm (40)	Erste Koniferen
	Karbon (70)	Erste Reptilien
	Devon (40)	Erste Amphibien und Ammoniten
	Silur (100)	Erste Fische und Amphibien
	Kambrium (90)	Erste Trilobiten
Archaikum (Urzeit)	Algonkium (über 500)	Selten Fossilien
	Archaikum i. e. S. (?)	Keine Fossilien

Die *absolute Zeitrechnung* steckt noch in den Kinderschuhen. In Nordeuropa haben die Flussablagerungen nach der grossen Eiszeit erlaubt, eine Chronologie der letzten 15 000 Jahre aufzustellen. Diese sogenannten Warven zeigen eine feine Jahresschichtung, die abgezählt werden kann. Geht man aber weiter zurück, so versagt diese Methode, weil bei der Gesteinsverfestigung die Jahresschichtung verwischt wird. Hier wie auch bei den aus dem Magma entstandenen Erstarrungsgesteinen helfen die in der Erdkruste recht häufigen radioaktiven Elemente, die in einer bestimmten Zeit, der sogenannten Halbwertszeit, zur Hälfte zu Blei zerfallen. Besonders an Uranmineralien wird diese Methode angewandt. Setzt man die Menge des bereits vorhandenen Bleis in Beziehung zum verbliebenen Uran, so kann mit empirischen Formeln das Alter des Minerals und damit des Gesteins berechnet werden. Verschiedene Komplikationen können Fehlrechnungen von Jahrmillionen bewirken, doch ist die Bleimethode im allgemeinen gut brauchbar, und wir können damit heute die absolute Dauer der Erdperioden recht genau angeben (Tabelle der geologischen Zeitalter).

Neben der Erdgeschichte interessieren den Geologen aber auch die Vorgänge auf und in der festen Erdkruste. Die Kräfte, welche im Wechselspiel auf die Erdrinde einwirken, stammen einerseits von aussen her (aussenbürtige oder exogene Kräfte), anderseits aus der Erde selbst (innenbürtige oder endogene Kräfte). *Exogene Faktoren* haben im allgemeinen die Tendenz, alle Höhenunterschiede auszugleichen, das Relief zu einer Fast-Ebene abzutragen: der sandbeladene Wind in der Wüste, Gletscher im Hochgebirge, das fliessende Wasser, die Meeresbrandung, gesteinssprengende Sonnenstrahlung und Frost. Ihre Wirkung auf die Erdoberfläche ist meist recht augenfällig. Das Studium dieser von aussen kommenden Kräfte gehört in die Grenzgebiete zwischen Geologie und Geographie, in die Geomorphologie.

Das Tummelfeld der Geologen, und insbesondere der Theoretiker unter ihnen, ist hingegen die Deutung der aus dem Erdinnern stammenden, der *endogenen Kräfte*. Und hier wieder stehen die *gebirgsbildenden Kräfte* im Vordergrund. Der Altvater der Geologie, Eduard Suess, hat mit seiner Kontraktionstheorie den Anfang der Deutungsversuche gemacht. Diese Hypothese beruht auf der Annahme, dass sich der Erdkern infolge Abkühlung langsam zusammenziehe, und dass sich die feste Erdkruste beim Nachsinken in Falten lege. Der Betrag der Verkürzung des Erdumfanges (in 50 Mio. Jahren etwa 12 km) reicht aber bei weitem nicht für die Erklärung der grossen Gebirge aus — wir haben zum Beispiel in den Alpen Ueberschiebungsbeträge von mindestens 300 km. Eine Zusammenziehung wird auch kompensiert durch die Wärmeproduktion der radioaktiven Stoffe.

Alfred Wegener sieht als treibende Kräfte der Gebirgsbildung (der Orogenese) einerseits die Polfluchtkraft, welche die Kontinente — die ja auf dem flüssigen Magma-Untergrund schwimmen —

gegen den Aequator zu treibt, anderseits die Westdrift, die Trägheit der Festlandschollen gegenüber der Rotation. Diese Hypothese hat auch heute noch viele Anhänger, und die beiden erwähnten Kräfte dürften einen wesentlichen Anteil an der Entstehung der Gebirge haben.

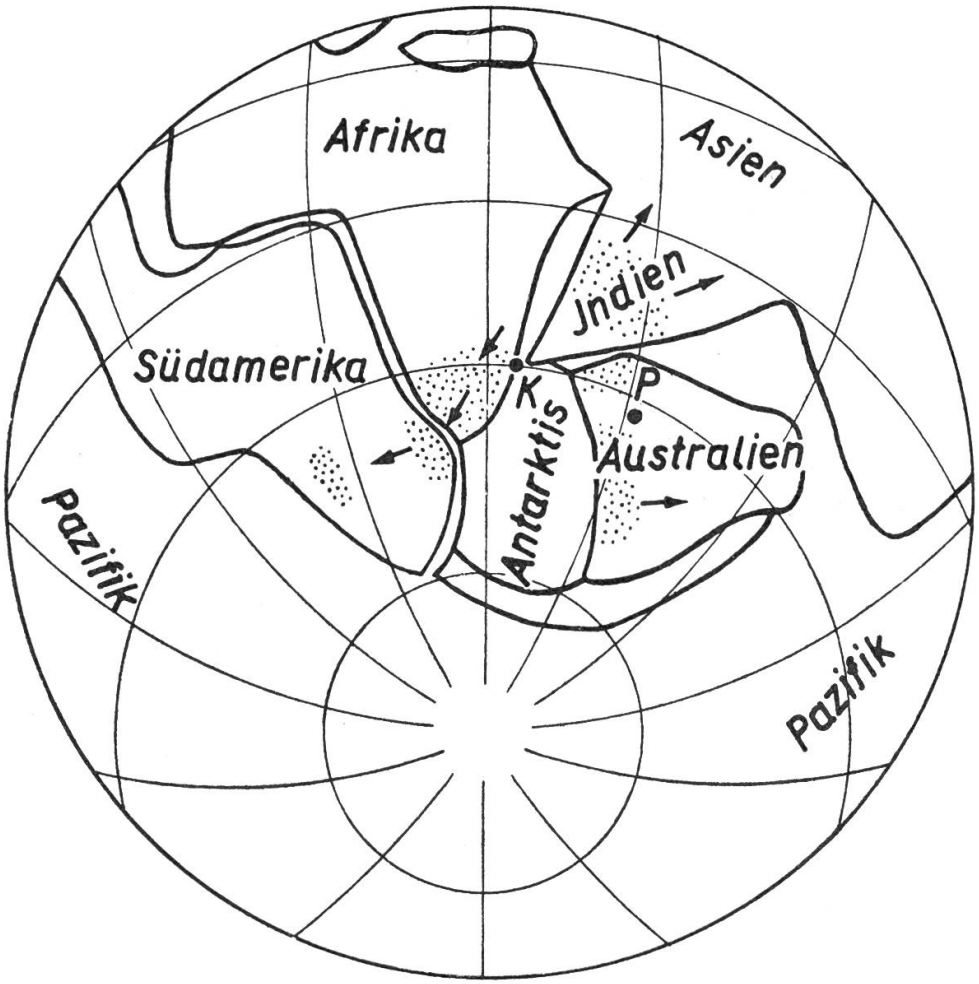

Fig. 2. Der Gondwanakontinent im Jungpaläozoikum

nach A. Wegener, bezogen auf die heutige Lage Afrikas.
K, P = Lage des Südpols im Karbon resp. Perm. Punktiert = vereiste Gebiete, Pfeile = Richtung der Eisbewegung.

Dass die Kontinentalschollen gegenseitig beweglich sind, dafür liegen besonders in den Südkontinenten viele Beweise vor. So darf man heute auf Grund vieler Tatsachen annehmen, dass auf der Südhalbkugel einst eine gewaltige zusammenhängende Landmasse bestand, das Gondwanaland, dem Südamerika, Afrika, Vorderindien und Australien angehörten (Fig. 2). Dieser Gondwanakontinent soll auseinandergebrochen sein, als sich der Mond im Raume des Stillen Ozeans ablöste und eine riesige Narbe hinterliess. Eine solche Hypothese über die Mondentstehung ist allerdings recht zweifelhaft.

Viele Hypothesen, welche sich mit der Gebirgsbildung befassen, nehmen Ausgleichsströmungen im magmatischen Untergrund der Erdkruste an. Entweder sollen Strömungen, die gegen die Kontinente gerichtet sind, diese letztern emporheben, oder es sollen abwärts verlaufende Magmabewegungen die Erdkruste verschlucken, oder aber das Magma soll sich an Unregelmässigkeiten an der Unterfläche der festen Erdrinde stauen und diese dadurch zerbrechen. Die festgestellte Tatsache, dass die Kontinente spezifisch leichter sind als die Ozeanböden, führte zur Lehre von der Isostasie, vom Schwereausgleich, wonach die Kontinente eine aufsteigende Tendenz besitzen und dadurch an ihren Rändern zerbrochen und gefaltet werden.

In einer gewissen Tiefe besteht zwischen Festland und Meer eine beträchtliche Temperaturdifferenz, indem einerseits die kalten Wassermassen auf den Meeresboden absinken, anderseits aber unter den Kontinenten in gleicher Tiefe eine Temperatur von etwa 150 ° herrschen muss (geothermische Tiefenstufe). Dieser Wärmeunterschied soll sich nach einer Hypothese in einem Absinken der kalten und daher schweren Ozeanböden äussern, welche die Tendenz haben, sich unter die leichtern Kontinente zu schieben.

Trotz der Vielfalt von Hypothesen zur Erklärung der gebirgsbildenden Kräfte ist man heute noch weit entfernt von einer alle Tatsachen befriedigenden Lösung. Wahrscheinlich werden viele verschiedene Faktoren, von denen sicher noch lange nicht alle bekannt sind, harmonisch zusammenwirken im Bestreben, Teile der Erdkruste bis über 10 km Höhe aufzufalten.

In einem Gas oder in einer Flüssigkeit können sich zerrende und stauende Kräfte kontinuierlich wieder ausgleichen. Die feste Erdrinde vermag aber auf Zug und Druck erst zu reagieren, wenn die Spannungen ein gewisses Mass überschritten haben, dann allerdings mit grosser Heftigkeit. So beobachten wir im Laufe der Erdgeschichte einen periodischen Wechsel von langen, relativ ruhigen Zeiträumen der Ablagerung von Sedimenten und von kurzen, lebhaften Gebirgsbildungsphasen. Dabei stellt man fest, dass sich der Rhythmus der Gebirgsbildung seit der geologischen Frühzeit immer mehr beschleunigt hat (Fig. 3), wie auch aus folgender Zusammenstellung gebirgsbildender Zyklen in chronologischer Reihenfolge hervorgeht:

1. Kaledonischer Zyklus	ca. 180 Mio. Jahre
2. Variskischer Zyklus	ca. 130 Mio. Jahre
3. Kimmerischer Zyklus	ca. 80 Mio. Jahre
4. Laramischer Zyklus	ca. 60 Mio. Jahre
5. Savischer Zyklus	ca. 40 Mio. Jahre
6. Alpiner Zyklus	ca. 20 Mio. Jahre

Wir stehen also vor einer Steigerung der gebirgsbauenden, tektonischen Aktivität, je mehr wir uns der Jetztzeit nähern. Auf welchen Ursachen diese Beschleunigung beruht, soll am Beispiel *Europas* demostriert werden (Fig. 4):

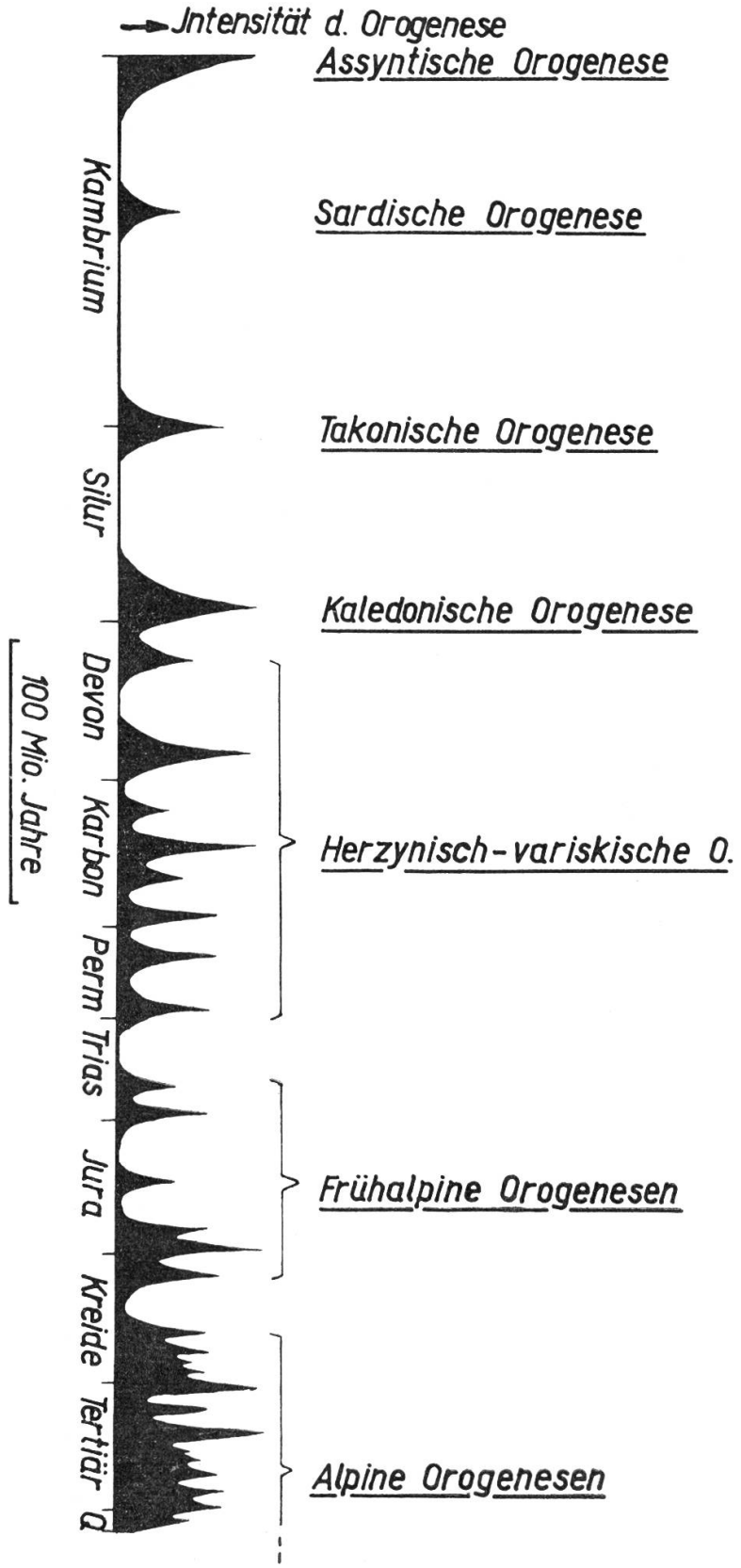

Fig. 3. Abfolge der Gebirgsbildungen seit dem Kambrium

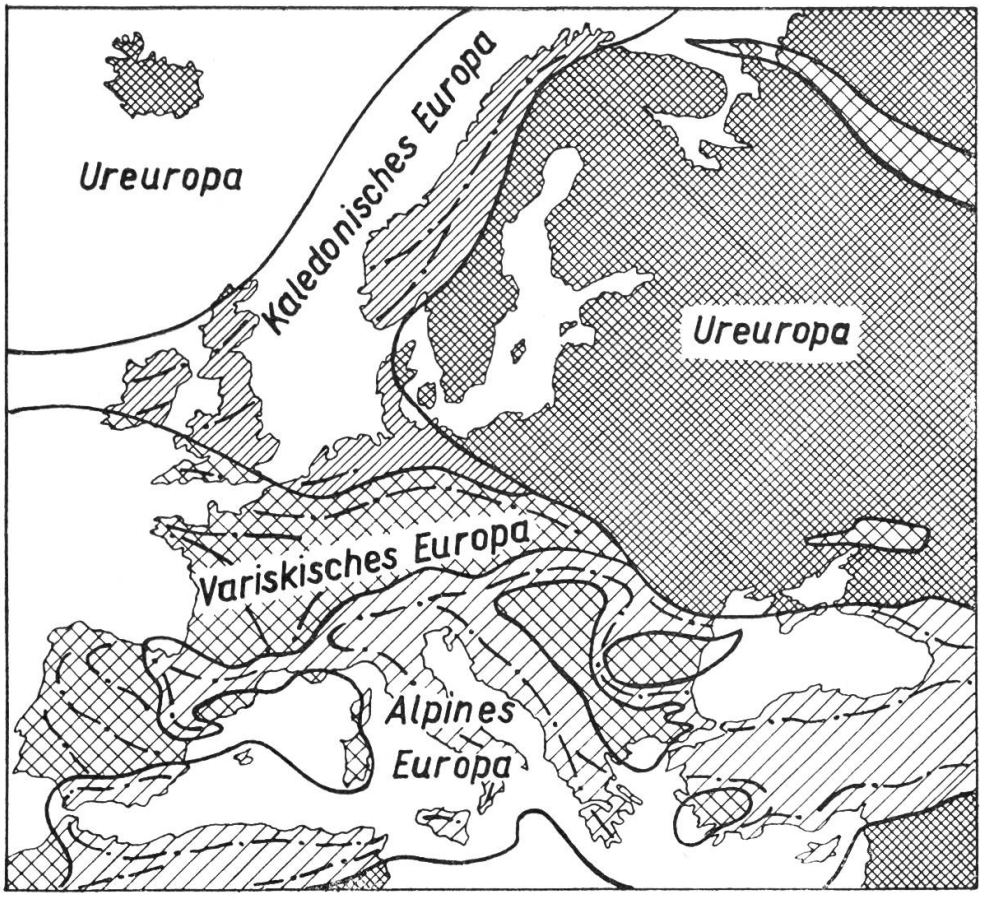

Fig. 4. Der Bau Europas
nach Bülow, ergänzt.

Unser Kontinent wird eingerahmt von drei alten starren Massen, von Laurentia im Nordwesten (Island), Eurasia im Nordosten (Russland) und Afrika im Süden. Dazwischen lag ursprünglich eine breite, instabile Zone, von der an der Wende Silur-Devon zum ersten Mal ein Teil aufgefaltet und den alten Schollen angegliedert wurde: die kaledonischen Gebirge von Skandinavien und Grossbritannien. Die nächstfolgende Gebirgsbildung, die herzynisch-variskische des obern Erdaltertums, erfasste sodann grosse Teile Spaniens, Frankreichs und Mitteldeutschlands. Auch diese Gebirgszone wurde an die alten Massive angebaut. Durch die sukzessive Verengerung des labilen Zwischenraumes wurden nun immer kürzere Zeitspannen benötigt, bis die stauenden Kräfte die notwendige Grenze überschritten hatten, und deshalb stellen wir in der jüngsten Vergangenheit, im Neozoikum (alpine Gebirge) eine ungeheure Steigerung des gebirgsbildenden Rhythmus fest, die bis zum heutigen Tag anhält.

Neben den Gebirgen, aber an Ausdehnung weit hinter diesen zurückstehend, müssen zum Schluss noch einige andere Erscheinungen erwähnt werden, welche auf endogene Kräfte zurückgeführt

werden können. Steife Erdrindenzonen, wie etwa der kanadische Schild oder Afrika, reagieren auf die Kräfte aus dem Erdinnern nicht durch Bildung von Falten, sondern zerbrechen, wobei oft grosse Gebiete einsinken können, wie dies zum Beispiel bei den ostafrikanischen Grabenbrüchen der Fall ist, die den afrikanischen Kontinent in Nord-Süd-Richtung durchreissen. Auffälligerweise ist der Verlauf solcher Brüche — die man auf der ganzen Erde antrifft — nicht beliebig; vielmehr werden einige wenige ganz bestimmte Richtungen bevorzugt. Den tiefern Grund dieser Gesetzmässigkeit hat man sich noch nicht einwandfrei erklären können; wahrscheinlich dürfte die Anlage solcher Bruchsysteme in geologisch sehr frühe Zeit zurückgehen, als sich die erste Erstarrungskruste bildete und die Anordnung der Schwächezonen längs vorbestimmten Richtungen — ähnlich einem Kristall — erfolgte. Im Zusammenhang solcher Zerrungserscheinungen in Festlandblöcken drang das flüssige Magma an die Erdoberfläche und baute Vulkane auf. Anderseits manifestieren sich plötzliche Verschiebungen der einzelnen starren Blöcke in Form der Erdbeben. Aus der Häufigkeit von Beben und Vulkanen kann direkt auf labile Zonen der Erdrinde geschlossen werden.

Dem Geologen stellen sich noch unzählige weitere Probleme allgemeiner und regionaler Art, die hier nicht erwähnt werden konnten. Und nicht umsonst ist die Schweiz von jeher ein Zentrum der Erdkunde gewesen, dürfen wir uns doch des Besitzes des wohl interessantestens Abschnittes der Erdkruste, der Alpen freuen.

Résumé

Problèmes relatifs à l'histoire de la Terre

L'article ci-dessus traite dans sa première partie des relations entre l'astronomie et la géologie, puis expose les hypothèses les plus importantes sur l'origine de la Terre. Les résultats récents de la sismologie expliquent la constitution de l'écorce et de l'intérieur du globe en couches concentriques, et rendent compte de l'épaisseur de cette croûte. L'auteur aborde ensuite le problème de l'origine de la vie; il montre le rôle joué par les fossiles de plantes et d'animaux pour fixer l'échelle relative du temps, et par les éléments radioactifs pour l'échelle absolue. La seconde partie de l'article est consacrée à diverses théories sur l'orogénèse et au déroulement cyclique des différentes phases, avec application à l'Europe.

Einige Standardwerke der Geologie:

Beringer, C. C.: Die Urwelt. — Kosmos, Stuttgart, 1951.

Bubnoff, S. v.: Grundprobleme der Geologie. — Berlin, 1954.

Kayser / Brinkmann: Abriss der Geologie (2 Bde.). — Stuttgart, 1950 und 1954.

Wegener, A.: Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. — Braunschweig, 1922.