

Astrophysikalische Grundlagen der Geologie.

Auszug aus einem Vortrag, gehalten in der Sitzung vom 4. Februar 1927.

Von Robert Schwiner.

Astrophysik und Geologie berühren sich mehrfach. Die physikalischen Verhältnisse der Erde als Himmelskörper sind die Grundlage, auf der Geophysik und Geologie dann weiterbauen. Insbesondere ist die geologische Geschichte unmittelbare Fortsetzung jener Entwicklung, welche Sonnensystem und Erde in den vorgeologischen Zeiten durchlaufen haben. Natürlich sieht der Geologe all diese Vorgänge unter anderem Gesichtswinkel als der Astrophysiker, aber er muß doch von jenem Daten übernehmen, Gedankengänge, und zwar nicht unwichtige, drüber anknüpfen. Darum haben sich auch die Geologen stets für Astrophysik interessiert (Beleg: die Einleitungskapitel der meisten Lehrbücher, die von dem Geologen Chamberlin vertretene Planetesimaltheorie usw.), und es ist wohl nicht unangebracht, heute, wo die Astrophysik in vielem anders lehrt, als noch vor kurzem galt, Fühlung mit ihren neuen Ideen zu suchen.

Betreff Entstehung und Entwicklung des Sonnensystems hat man sich dem lange verketzerten Laplace wieder sehr genähert. Man sieht den Fixstern als Gaskugel an, die von starker Verdünnung (die Sonne bis 150 Millionen Kilometer Radius, bis zur Erdbahn aufgebläht, bleibt noch ganz in der Größenordnung des Beobachteten), sich stetig zusammenzieht und dabei immer heißer wird, so zwar, daß die Gesamtmenge der in der Zeiteinheit ausgestrahlten Energie — wenigstens auf dem größten Teil des bekannt gewordenen Entwicklungsganges — konstant bleibt: je kleiner die Oberfläche, desto intensiver strahlt sie eben (Eddington). Ein Satz, der für die Geologie äußerst wichtig ist.

Hat der Gasball anfänglich schon Rotation gehabt — was die Regel sein dürfte — so muß er sich bei zunehmender Kontraktion immer schneller drehen (damit das Rotationsmoment

konstant bleibt), und in einem gewissen Zeitpunkt wird — populär gesprochen — die Fliehkraft die Anziehung überwiegen, es kommt zu einer Trennung des instabil gewordenen Körpers, zur Bildung eines kosmischen Systems. Gerade dieses Problem hat die neuere Astrophysik viel studiert und — soweit es für den Geologen von Interesse sein kann, auch endgültig erledigt. Es sind zwei Hauptfälle zu unterscheiden:

T-Instabilität tritt ein, wenn der Körper homogen ist, oder doch die Dichte gegen das Zentrum nicht viel zunimmt. Der rotierende Körper zerfällt dann in zwei. (T=Trennung!). Dieser Fall ist sehr häufig unter den Fixsternen, fast jeder dritte ist als Doppelstern nachzuweisen, im Sonnensystem ist dieses Modell nur auf das Sekundärsystem Erde-Mond anwendbar.

A-Instabilität hat zur Bedingung eine übermächtig schwere Masse im Mittelpunkte des Gasballes; dann plattet sich dieser nach und nach zur Linse ab, diese bekommt eine scharfe Kante, und dann strömt Stoff vom Äquator ab; (A=Äquator!), der Fall unseres Sonnensystems, mit einigen Änderungen zwar, in der Hauptsache aber doch ziemlich nahe den Vorstellungen von Laplace.

Als die Erde sich derart von der Sonne trennte, bekam sie bestimmt:

1. Ihre Bahn im Sonnensystem; seit damals ist der mittlere Abstand von Erd- und Sonnenschwerpunkt der gleiche geblieben, also auch bei der Konstanz der Sonnenstrahlung (siehe oben) das solare Klima auf der Erde nicht geändert worden.¹⁾

2. Rotationsmoment. Vermutlich hatte die Erde bald nach der Trennung, noch in großer Verdünnung direkte Rotation angenommen, und zwar Jahr=Tag.²⁾

1) Die Beweislast kann hier glücklicherweise die Geologie übernehmen; denn eine Störungsrechnung auf 10^9 Jahre hinaus kann heute noch niemand durchführen. Höchstens könnte man sagen, ein Planet mit säkularer Störung des Radiusvektors wäre in solchem Zeitraum längst schon ehnamiert worden. Aber da seit Mittelkambrium (Burgess Shale) Tiere von gleicher Organisation wie die heutigen bekannt sind, ist die Konstanz des solaren Erdklimas belegt. Es wäre nun, auch ohne Eddington, eine höchst unwahrscheinliche Annahme, daß zwar sowohl Sonnenstrahlung als Erdbahnradius sich geändert hätten, aber so, daß die Wirkung dieser beiden voneinander unabhängigen Vorgänge auf das Erdklima sich genau die Waage gehalten hätte.

2) Über diese ziemlich verwickelten mechanischen Verhältnisse verweise ich auf K. Hillebrand, Analyse der Laplace'schen Kosmogonie. Denkschr. Akad., Wien, 96. Bd., 1919.

3. Stoffbestand; (einschließlich radioaktiver Elemente).

4. Energiegehalt; hauptsächlich als potentielle Energie. Die daraus folgende Kontraktionswärme (kaum viel unter 9000 g cal auf jedes g Erdmasse) würde zur Schmelzung, ja Verdampfung genügt haben — wenn die Erde nicht ohnedem auch als Gasball angefangen hätte.

I. Abschnitt der Geschichte der Erde. Beginnt mit der Ablösung der Erde von der Sonne und endet mit der Trennung des Mondes von der Erde, und war, in gewöhnlicher Zeit gerechnet, verhältnismäßig kurz. Die Erde konnte sich als Miniaturfixstern nicht lange halten, der Strahlungsverlust erzwang bald Kondensation, unter Saigerung der Schmelze in Metallkern, Mantel aus Silikatschlacke, Gas- und Dampföhle. Auch die Strahlung einer glutflüssigen Oberfläche könnte aus dem Energievorrat der Erde nur einige tausend Jahre genährt werden. Der Kondensation und Saigerung folgt auf dem Fuße die Bildung einer festen Kruste, aus dem sauersten Differentiationsprodukt (Granit), das spezifisch das leichteste ist und auf der Schmelze schwimmt.³⁾ Diese Kruste, deren Leitfähigkeit nicht größer sein konnte als die von solchen Gesteinen heute bekannt ist, drosselte auch bei geringer Mächtigkeit den Wärmezufluß aus dem Erdinnern fast ganz. Die Gas- und Dampföhle, nach Verbrauch des eigenen, nicht sehr großen Energievorrates einzig auf die (konstante!) Sonnenstrahlung angewiesen, mußte sich bald auf ein dem heutigen ähnliches thermisches Regime einstellen, sich teilen in Hydrosphäre und Atmosphäre mit einem Klima wie heute. Von jenem sehr frühem Zeitpunkt an, muß — mit gewissen Einschränkungen natürlich — das Aktualitätsprinzip für die Bildungen der Erdoberfläche gelten.

Die Erde ging also aus dem ungemein verdünnten Zustand in dem sich ihr Stoff von der Sonne abgelöst hatte, schnell in einen feurigflüssigen Ball mit dünner salischer Kruste über, beschleunigte daher, gegen die Gezeitenreibung, die Rotation

³⁾ Damit fällt in erster Linie die W. Thomsonsche Theorie der Erdwärme. Andererseits entkräftet das auch den von geologischer Seite öfters erhobenen Einwand, daß jene erste Erstarrungskruste tief verborgen und uns zugänglich sein müsse. Sie mag meist bis zur Unkenntlichkeit umgewandelt sein, aber es ist physikalisch nicht zu begründen, daß diese leichteste Fraktion nicht oben bleiben sollte, bzw. nach Umwälzungen wie Kork wieder empor-tauchen.

in dem Maße, daß ein Sekundärsystem gebildet wurde (was z. B. schon bei Venus nicht mehr gelang). Und zwar bei geringer Dichtezunahme in der Schmelze gegen den Erdkern (sie ist auch heute noch nicht allzu groß) trat T-Instabilität ein, der einzige Fall im Sonnensystem. Ein homogener Himmelskörper geht durch Zusammenziehung bei Erhaltung des Rotationsmomentes in immer mehr sich abplattende Rotationsellipsoide über. Aber überschreitet das Verhältnis der Hauptachsen $a:c=17:10$, so ist das Rotationsellipsoid zwar noch ein Gleichgewicht, aber ein stabiles; stabile Gleichgewichtsfigur bei so schneller Drehung ist das dreiachsige (Jakobische) Ellipsoid, das aber für $a:b:c=29:12,5:10$ auch instabil wird. Weiter ist stabiles Gleichgewicht nicht mehr möglich, die vielgenannte birnförmige Gleichgewichtsfigur (Apoid) ist nicht stabil, keine Dauer-, sondern eine Schwingungs- oder Übergangsfigur, die überleitet zum Zerfall in zwei getrennte Körper. Schwingungen aber, die einen Himmelskörper zerreißen können, entstanden durch Resonanz der erzwungenen Schwingung der Gezeitenwelle mit freien Schwingungen des Erdkörpers. Nach Poincaré erfolgte die Ablösung des Mondes bei einer Dauer der Erdumdrehung („Tag“) von 5 Stunden und 36 Minuten (heutige Stunden als Maß). Die Gezeitenperiode von 2 Stunden und 48 Minuten ist (siehe S.) zu groß für eine freie Schwingung, es dürften zwei freie Schwingungen zu je 1 Stunde 24 Minuten auf eine erzwungene gekommen sein.

Wie erwähnt, sind bei Anwendung des Aktualitätsprinzipes auf die erste Erstarrungskruste wohl einige Vorbehalte zu machen. Andererseits weichen auch die vermutlich ältesten Schichtkomplexe des Archäikums von den späteren (rein aktualistisch zu erfassenden) Bildungen in manchem ab; so durch:

1. Überwiegen von magmatischem Material (und zwar meist saurem);
2. Ungewöhnliche Verknüpfung von Tiefengestein mit „suprakrustalen“ Bildungen;
3. Häufige und weitgehende Anatexis (Mischgesteine);
4. Fließende, Intrusionstektonik; allgemeine gleichmäßige Durchbewegung (unter Mobilisation im Gefüge).

Das wären gerade jene Eigenschaften, die man den Bildungen in jener ersten Erstarrungskruste zuschreiben möchte, und wir

versuchen daher, diese zu parallelisieren mit den ältesten Grundgebirgskomplexen; aus „katarchäischem“ Granitgneis, Metabasit (erste Eruptions- oder Differentiationsfolge: sauer-basisch) und in beschränktem Ausmaße suprakrustale Bildungen. Dann ist die Ablösung des Mondes gleichzustellen der „Laurentischen Revolution“. Analog gewissen Vorstellungen der Stellar-
astronomie können wir annehmen, daß die Trennung beider Körper gefolgt war von einer Temperaturerhöhung, von einer Art Wiederaufkochen des Schmelzflusses. Der Mond wurde dabei fast ganz wieder aufgeschmolzen, die Erde überschwemmt von dem Granitmagma einer neu beginnenden Eruptionsfolge, auf welchem die Schollen der zerrissenen ersten Erstarrungskruste flottierten unter Einfluß einer Gezeitenreibung, die bei der damaligen Mondnähe ungeheuer sein mußte. Nur solche gewaltige, aber ungemein gleichmäßige, mechanische Beeinflussung unter den physikalischen und anderen Bedingungen jenes Granitbades konnte jene einförmige Vergneisung weiter Gebiete erzeugen, wie sie nur im Archäikum beobachtet, aber vom aktualistischen Standpunkt schwer erklärt werden kann.⁴⁾ Jene Schollen sind also durch Zerreißen aus einer ursprünglich zusammenhängenden Schale hervorgegangen und das zeigen sie, bzw. die aus ihnen später hervorgegangenen heutigen Kontinente, deren Kern jene alten Sial-Schollen sind. Derart erklären sich: Der Parallelismus der Ränder der Atlantischen Spalte, die wie Sektoren aneinander passenden S.-Spitzen der Südkontinente und andere „geographische Homologien“⁵⁾. An der Stelle, wo der Mond abriß (Hals des Apoids), fehlte nicht bloß die Kruste, sondern auch zunächst die darunter folgenden Lagen intermediären Magmas; reines Sima (Peridotit etwa), das eine saurere Schlacke — als Wärmeschutz — nicht mehr abscheiden konnte, lag hier bloß, ein Anlaß ständiger, heftiger Konvektionsströmungen. Diese hinwiederum hielten jenes Loch frei, ja sie erweiterten es im Laufe der erdgeschichtlichen Umwälzungen. Derart ist der Stille Ozean, wenn auch nicht nach Form

⁴⁾ A. G. Högbom, Fennoskandia. Hdbch. d. Reg. Geol., IX/3, Heidelberg 1913, S. 120.

⁵⁾ A. Frey, Beitr. z. Geophys., Bd. XV/4, 1926, 410—411, hat nachgewiesen, daß Verschiebungen solcher kontinentgroßer Schollen in jenem frühen Entwicklungsstadium der Erde leicht erklärbar, später dagegen kaum mehr möglich sind. Nach dieser Rechnung ist die Wegenersche Hypothese unzuverlässig, und nur zum Teil aufrecht zu halten.

und Ausdehnung, sondern seinen geophysikalischen Bedingungen nach, auf jene Abrißstelle des Mondes zurückzuführen. Die Laurentische Revolution hinterließ also:

1. Felder aus Sial-Schollenpackungen, Fragmente der ersten Erstarrungskruste, als Kerne der Kontinente: Das spezifisch Leichteste oben schwimmend, den Untergrund durch geringe Wärmeleitfähigkeit und Ra-Gehalt vor Abkühlung schützend, un-
gemein stabil.

2. Eine tiefgelegene Fläche aus bloßgelegtem Sima (Pazifik), von starken Konvektionsströmungen bewegt, unruhig — heute noch Herd der allermeisten Weltbeben — als Ganzes doch un-
gemein dauerhaft; Umwälzungen, die sonst groß scheinen würden, verändern dieses ungeheure Becken nicht sehr merklich; beson-
der aber, weil dabei das Sima, sich isostatisch einstellend, nicht über den Meeresspiegel aufgetürmt werden kann.

Das sind die geophysikalischen Grundlagen der Lehre von der Permanenz der Kontinente und Ozeane, wo-
raus auch ihr Geltungsbereich erhellt; groß, aber nicht die ganze Erde ausnahmslos umfassend!

Dagegen sind die Kanäle und Waken zwischen den lauren-
tischen Schollenpackungen frisch bloßgelegtes Magma, zum Teil wohl noch chemisch aktiv und vom Meer gekühlt, also unruhig und instabil; Aus ihnen entwickeln sich die Geosynklinalen und aus diesen weiter die Gebirge des jüngeren Archäikums (Algo-
manische Orogenese). Aus diesem Zusammenhange erklärt sich der Bau des Grundgebirges, in dem Ruedemann⁶⁾ großzügige Leitliniensysteme von kontinentaler Größe unterscheiden lehrte:

a) In Südamerika, Afrika, Indien, Australien streichen die präkambrischen Falten, Haupttrichtungen der Batholithen usw. gleichmäßig N—S, wie es der Wirkung der Gezeitenreibung auf einen solchen Treibschollenkomplex entspricht, wenn sie, wie es im Äquatorialgürtel (zwischen $+30^{\circ}$ und -30°) vorauszu-
setzen, gleichmäßig und gleich stark O—W wirkt.

b) Eurasien und Nordamerika dagegen zeigen, jeder für sich, in den präkambrischen Leitlinien einen nach N offenen Bogen oder Winkel. Nun, von den Tropen weg gegen N muß die Wirkung der Gezeiten schnell abnehmen. Ein in Gedanken auf

⁶⁾ R. Ruedemann, in Geolog. Rdsch., Sonderband XVII a, 1926, woselbst weitere Literatur.

der ursprünglich geschlossen flottierenden Schollenmasse abgegrenztes Gradfeld würde in ein Rhomboid verzerrt, wobei die NW—SO-Diagonale verkürzt, die NO—SW-Diagonale aber verlängert wurde. Somit sind Falten mit NO—SW-Strichen zu erwarten, wie sie sich ja auch tatsächlich in Asien und im östlichen Nordamerika vorfinden, auf der Luvseite der Schollenfelder in bezug auf die Gezeitenwelle, eben dort, wo ein Überwiegen der Stauung zu erwarten ist. In Europa und dem westlichen Nordamerika streichen die präkambrischen Leitlinien NW—SO, in welcher Richtung die Gezeitenreibung keine Falten erzeugen kann, eher Zerrspalten, für deren Bildung die Leeseite ohnedem begünstigt war. Es waren wohl auch ursprünglich Zerrspalten, aber diese gaben als Geosynklinalen des jüngeren Archäikums den algomanisch aufgefalteten Gebirgsketten die Richtung. Unmittelbar erkennt man dies an den epijatulischen Falten von Fennoskandia, aber nach dem Grundsatz der Konsequenz in der tektonischen Entwicklung läßt sich auch aus den jüngeren Strukturen im übrigen Europa die große Verbreitung von Leitlinien jenes Streichens im Untergrund ablesen, die eben in den jüngeren Gebirgsbewegungen — „posthum“ — immer wieder mehr oder weniger durch das neue Bewegungsbild durchschlagen.

Derart ist schon bei der Ablösung des Mondes — geologisch als Laurentische Revolution bezeichnet — bestimmt worden, welche Teile der Erdoberfläche stabil, welche labil sein, welche Tendenz zu Hoch- oder zu Tiefgeländen haben und bewahren werden, und damit in langer, aber geschlossener Kette die räumliche Verteilung der gebirgsbildenden Kräfte, der Kräfteplan für alle zukünftigen Oro- und Epirogenesen.

Diese weitere Entwicklung der Erde ist im wesentlichen ein thermodynamischer Vorgang. Wenn die Abkühlung in die Magmazone vordringt, erzeugt sie dort eine instabile Schichtung (etwa spez. schwereres oben), die, weil an sich doch ein Gleichgewicht, lange bestehen bleiben kann, bis ein äußerer Anstoß eine Bewegung in Gang bringt und Konvektionsströmungen die vertikale Temperaturschichtung wieder aufs indifferentere Gleichgewicht zurückführen. Mit dieser Vorstellung ⁷⁾

⁷⁾ R. Schwinner, Vulkanismus und Gebirgsbildung. Zeitschr. f. Vulkanologie, Bd. V; 1920, S. 175 ff.

verknüpfte sich ohne weiteres die Abhängigkeit der gebirgsbildenden Bewegungen von der Land- und Wasserverteilung an der Oberfläche, als bestimmend für den Wärmeabfluß, und von den früheren Orogenesen, weil diese eben jene Konfiguration erzeugt haben, hauptsächlich als Ausdruck von stofflichen Verschiedenheiten in Kruste und Magmazonen, wie oben auseinandergesetzt. Die Vorstellung eines allmählich instabil werdenden Gleichgewichtes führt naturgemäß zu jenem Erfahrungssatz, den Stille als Episodizität der Gebirgsbildung formuliert hat. Offen blieb nur die Frage, wie und wodurch jedesmal die Bewegung eingeleitet wird.⁸⁾ Übrigens ganz allgemein — unabhängig von der gewählten Gebirgsbildungshypothese — ist diese Vorstellung eines allmählich ins Labile übergehenden Gleichgewichtes die einzig denkbare Möglichkeit, aus einem thermodynamischen Prozeß die ihm sonst völlig fremde Periodizität abzuleiten. Nur so können in Zeiten der Ruhe jene Energiemengen aufgespeichert werden, deren schneller Abfluß dann eine Orogenese treibt. Und auf alle Fälle muß die Auslösung dieses Vorganges, der Anstoß, der so ungeheure Massen gegen große Reibung in Bewegung zu bringen imstande sein soll, in der Größenordnung dem entsprechen; am besten wohl erdumspannend wie die auszulösende Bewegung, und zwar kosmisch, da eben im irdischen Mechanismus dafür kein Grund zu finden ist. Wir haben nun bereits als Anstoß zur Ablösung des Mondes einen Einfluß ins Kalkül gezogen, der ganz sicher für die Auslösung einer Orogenese zureichen muß, nämlich eine Resonanz der Gezeitenwelle mit einer freien Eigenschwingung des Erdballes.

Wie oft kann eine solche eingetreten sein seit jener Resonanz, welche die laurentische Revolution ausgelöst hat? Die Eigenschwingung (Grundschiwingung) der Erde berechnet G. Darwin als reine Gravitationsschiwingung (ohne Berücksichtigung der Elastizitätskräfte) zu 1 Stunde 34 Minuten, für eine polytrope Gaskugel von Dichte der Erde E und n zu knapp einer

⁸⁾ (Anmerkung während des Druckes.) A. Born (in B. Gutenberg: Lehrbuch der Geophysik, 1926, S. 125) hebt als Mangel dieser meiner Gebirgsbildungstheorie hervor, daß „sie die Energie zur Auslösung solcher Bewegungen schwer verständlich machen könne“. Diesen Mangel — der übrigens auch anderen Hypothesen gleichermaßen anhaftet — habe ich von Anfang an erkannt (vgl. i. c. S. 214) und namentlich mit der Resonanztheorie behoben.

Stunde. Untere Grenze etwa drei Viertelstunden, die Zeit, in der heute eine elastische Longitudinalwelle durch den Erdball hin und zurückläuft. Zu vermuten ist, daß die Eigenschwingung mit der geologischen Zeit, das ist mit zunehmender Verfestigung des Erdballes schneller geworden ist. Bei Abtrennung des Mondes war die Tagesdauer 5 Stunden 36 Minuten, die Periode der freien Schwingung also 1 Stunde 24 Minuten. Seitdem hat der Sonntag fortwährend zugenommen bis 24 Stunden; hat gleichzeitig die Periode der freien Schwingung auf 1 Stunde 20 Minuten bis 1 Stunde abgenommen, so kann postlaurentisch noch sieben- bis neunmal eine Resonanz von Sonnengezeiten und freier Grundschwingung stattgehabt haben. Der Montag ist zuerst sehr lang, nimmt dann aber schnell, vermutlich noch im Laufe der laurentischen Orogenese — ab auf sieben bis acht Stunden und hat seitdem zugenommen auf 24 Stunden 50 Minuten; somit kann postlaurentisch Resonanz mit den Mondgezeiten ebenfalls sieben- bis neunmal eingetreten sein. Und daher könnten in der ganzen Geschichte der Erde 15 bis 19 Orogenesen (inklusive der laurentischen) stattgefunden haben. Was nun mit der geologischen Beobachtung verglichen werden kann.

Hiefür sind die Angaben Stilles maßgebend, nur können wir sie nicht ohne Modifikation ziffernmäßig in die Geophysik einführen; denn kaledonisch drei, variszisch fünf Gebirgsbildungsphasen ist offenbar mit anderem Maßstab gemessen, als die alpidischen 18 bis 20. Wir können nun einmal annehmen, daß nicht alle die von Stille aufgestellten Phasen gleichwertig sind. Einige sind offensichtlich schwach und kaum erdumspannend (zum Beispiel die pfälzische Faltung usw.) und diesen würden wir keine kosmische Auslösung zubilligen, sondern sie eher als Nachwirkung, Ausklingen von Orogenesen erster Ordnung ansehen. Das gäbe:

| Ära | Zahl der Phasen der Gebirgsbildung |
|-----------------------|---------------------------------------|
| Laurentisch | 1 |
| Algomanisch | 2—3 |
| Kaledonisch | 2—3 |
| Variszisch | 4—5 |
| Alpidisch | 6—7 |
| Zusammen | 15—19 |

Oder man denkt den Maßstab der alpidischen Faltungsära auch bei den älteren angewendet, dann käme die Gesamtzahl der Orogenesen vielleicht auf 40 bis 60 und man müßte annehmen, daß es nicht bloß die freie Grundschwingung ist, welche für die Resonanz in Frage kommt, sondern auch gewisse Oberschwingungen, ein Fall, der mechanisch gewiß diskutierbar ist. Jedenfalls liegen die Ziffern, welche die astrophysikalische Theorie liefert, so nahe an denen aus der geologischen Beobachtung, daß dieser Gedankengang mit vollem Recht Beachtung und weitere Durcharbeitung beanspruchen darf.

G. H. Darwin hat für die Zunahme von Tages- und Monatslänge eine Zeittafel geliefert, nach welcher — auf unsern Gedankengang angewendet — die Orogenesen zuerst in sehr kurzen Intervallen aufeinander gefolgt sein müßten. Aber seine Rechnung berücksichtigt allein die Gezeitenreibung. Kontraktion des Erdkörpers, die in dieser Zeit, besonders anfänglich, sicher noch stattfand, modifiziert diesen Kalkül; gelegentlich konnte ihr Einfluß dem der Gezeitenreibung die Wage halten, so in der langen anorganen Zeit Jotnium — Kambrium — Unter-Silur.

Schon aus Darwins Theorie folgt unabweislich, daß in älterer geologischer Zeit der Tag viel kürzer gewesen ist (nach unseren Voraussetzungen etwa im Kambrium sieben bis acht Stunden). Das mußte zu einer Ausgleichung der Klimagegensätze führen, und damit zu jenen Kennzeichen in der Lebewelt, die man oft auf weltweites Tropenklima gedeutet hat, die aber vielleicht bloß auf ein nur geringes Schwanken in den klimatischen Faktoren deuten, wie wir es heute nur von den Tropen kennen, nicht aber auch auf besonders hohe absolute Temperatur. Gleichzeitig dauerte damals die Präzessionsperiode (heute 21.000 Jahre) nur einige Jahrhunderte, ebenso schnell erfolgte also die ihr entsprechende Klimaschwankung. Nun regelt der Sonnentag den Rhythmus des Individuallebens, die periodischen Klimaschwankungen dagegen die Neuanpassungen, Wanderungen, Umbildungen. Sowohl Individuen, als Art (Gattung usw.) lebten damals entsprechend schneller und daher können die Ansprüche, welche manche Biologen auf ungeheure Zeiten vor Kambrium erhoben haben, mit gutem Grund einigermaßen eingeschränkt werden.
