

Werk

Titel: Isostasie und Peneplain

Autor: Rühl, Alfred

Ort: Berlin

Jahr: 1911

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1911 | LOG_0132

Kontakt/Contact

[Digizeitschriften e.V.](#)
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Jahreszahl scheint er ein jüngerer Vertreter und zweifelsohne der Sohn des vorher genannten gewesen zu sein. Eine ausgebreitete Tätigkeit scheint er nicht mehr entfaltet zu haben. Möglicherweise ist er frühzeitig gestorben.

Isostasie und Peneplain.

Von Privatdozent Dr. Alfred Rühl in Marburg a. L.

Auf zwei verschiedenen Wegen kann, wie wir heute wissen, eine Landmasse eingeebnet werden: die Wellen des Meeres können sie zu einer untermeerischen Plattform abschleifen, und die atmosphärischen Agentien vermögen sie gleichfalls in eine ebene Fläche mit minimalem Gefälle zu verwandeln. Beide auf diese Weise entstandenen Formen sind sich darin gleich, daß ihre Meereshöhe nur gering sein kann. Für die Abrasionsflächen ist dies ohne weiteres klar, aber auch bei den subaërisch gebildeten Rumpfflächen steht es wohl, wenn sie nicht die Endform eines ariden Zyklus darstellen, außer allem Zweifel; denn über die Behauptung von Cvijić¹⁾, daß sie in jeder beliebigen Meereshöhe zustande kommen könnten, darf man zur Tagesordnung übergehen. Seit man die Rumpfflächen und ihre Bedeutung kennen gelernt hat, sind aus allen Ländern der Erde derartige Landoberflächen beschrieben worden; es hat sich aber dabei die merkwürdige Tatsache herausgestellt, daß es heutzutage nicht eine einzige Landschaft gibt, welche der idealen Rumpffläche entspricht. Nirgends finden sich greisenhafte Landformen von größerer Ausdehnung in der Nähe des Meeresspiegels, überall haben die Einebnungsflächen eine Verschiebung mit Rücksicht auf die Erosionsbasis erlitten, so daß sie eine junge oder reife Zerschneidung aufweisen. Man ist jetzt im allgemeinen geneigt, diese Schwankungen der Erosionsbasis in den meisten Fällen als Bewegungen der Landmassen, als echte Hebungen aufzufassen, wenn damit natürlich auch Schwankungen des Meeresspiegels nicht geleugnet werden sollen. Da keine Kraft bekannt sei, die derartige aufwärts gerichtete Bewegungen der Erdkruste hervorzurufen vermöchte, so hatte ja bekanntlich Eduard Suess jede Hebung geleugnet. Aber einmal tappen wir auch heute noch über die Ursachen der Faltung ziemlich im Dunkeln — wird doch jetzt schon z. B. dem Radium oder chemischen Vorgängen im Innern der Erde, also bislang fast gänzlich unkontrollierbaren Faktoren, eine Bedeutung in dieser Hinsicht beigemessen —, andererseits sind die Bewegungen

¹⁾ Peneplains und epirogenetische Bewegungen der Südkarpathen. *Pet. Mitt.*, Bd. 54, 1908, S. 116.

so ungleichmäÙsig und unter Umständen von so gewaltigem AusmaÙs, daÙ sie sich kaum auf Bewegungen des Meeres zurückführen lassen, und schließlich haben wir in den Verbiegungen großer Landmassen eine Erscheinung vor uns, die sich in keinem Falle auf diese Weise erklären läÙt. Die hervorragende Wichtigkeit dieser epirogenetischen Bewegungen, die, wie man immer mehr einsieht, scharf von den orogenetischen zu trennen sind, ist allerdings erst seit verhältnismäÙsig kurzer Zeit erkannt, was jedoch nicht verwundern darf, da sie sich eben erst durch feinere Methoden nachweisen lassen. Es sei in dieser Beziehung nur an die Ergebnisse der umfassenden Untersuchungen von Penck und Brückner in den Alpen und von de Martonne in den Transsylvanischen Alpen erinnert, aus denen hervorgeht, daÙ diese beiden Gebirge ihre jetzige Höhe einer Emporwölbung verdanken, die sehr viel späteren Datums ist als die Faltung.

Jenes vorhin genannte auffällige Verhalten der heute sichtbaren Rumpfflächen ist natürlich von manchen dazu verwendet worden, um deren allgemein angenommene Entstehungsart auf subaëriem Wege überhaupt zu leugnen, und so bediente sich Tarr¹⁾ bei seinem bekannten VorstoÙs gegen die Peneplain-Theoretiker auch dieses Arguments, und Davis²⁾ hat in seiner Antwort keinen befriedigenden Ausweg aufzuzeigen vermocht. Andererseits hat man verschiedentlich eingewendet, daÙ eine Peneplain aus dem Grunde kaum zustande kommen könnte, weil die Erdkruste nicht hinreichende Zeit lang ruhig stände, da durch die allmähliche Abtragung einer Landmasse während eines Erosionszyklus isostatische Bewegungen ausgelöst werden müÙten, die während der Denudation dauernd am Werke wären und es nie zu einer völligen Einebnung kommen lieÙen.

Die folgenden Zeilen möchten nun als ein bescheidener Versuch betrachtet werden, um aus diesen Schwierigkeiten herauszugelangen. Es erscheint nämlich nicht unmöglich, daÙ es gerade die Isostasie ist, die bewirkt, daÙ unsere gegenwärtigen Rumpfflächen nicht mehr ihre ursprüngliche Höhenlage innehaben. Ich bin mir dabei wohl bewußt, daÙ Männer vom wissenschaftlichen Range eines Eduard Suess sich gegenüber der Theorie von der Isostasie ablehnend verhalten³⁾, hat er sich doch erst kürzlich als „*a heretic in all regarding isostasy*“ bezeichnet⁴⁾; immerhin geht er wohl nicht so weit, wie Ransome, der es einmal ausgesprochen hat, daÙ Denudation und Sedimentation für die Bewegung der Erdkruste

¹⁾ The peneplain. Amer. Geologist, Bd. 21, 1898, S. 351—370.

²⁾ Ebenda Bd. 23, 1899, S. 207—239. Wieder abgedruckt in: Geographical Essays. Boston 1910. S. 363.

³⁾ Das Antlitz der Erde. Wien und Leipzig 1909. Bd. 3, II, S. 700 ff.

⁴⁾ Synthesis of the paleogeography of North America. Amer. J. of Sc., Bd. 31, 1911, S. 101.

genau so irrelevant seien, wie der Ackerbau auf den Abhängen eines Vulkans für dessen Eruptionen¹⁾).

Die ausgezeichneten und jetzt *in extenso* vorliegenden Untersuchungen von John Hayford²⁾ in den Vereinigten Staaten haben einen außerordentlich hohen Grad der Wahrscheinlichkeit dafür erbracht, daß tatsächlich ein isostatischer Ausgleich in den äußeren Erdschichten stattfindet. Ebenso hat sich auch Helmert als ein Anhänger der isostatischen Lehre bekannt.³⁾

Wenn die Erde aus gleichartigem Material bestände, so wäre ihre Gleichgewichtsfigur unter dem Einfluß der Schwere und der Achsendrehung ein Rotationsellipsoid. Wäre sie zwar aus Stoffen von verschiedener Dichte zusammengesetzt, befänden sich aber diese in einer derartigen Anordnung, daß die Dichte an jedem Punkte nur von der Tiefe des Punktes unter der Oberfläche abhinge, so wäre ebenfalls ein Gleichgewichtszustand vorhanden, und es läge keine Tendenz zur Umlagerung der Massen vor. Keiner dieser beiden Fälle ist jedoch bei der Erde verwirklicht, und so wird ein Streben nach jenem Zustand erzeugt. Da nun die Erde keine vollkommene Flüssigkeit ist, sondern über ein ziemlich hohes Maß von Starrheit verfügt, so muß es stets bei einer Annäherung bleiben. Diese wird dann als isostatische Anpassung bezeichnet. Unter der Kompensationstiefe versteht Hayford jene Tiefe, unterhalb deren jedes Massenelement in allen Richtungen den gleichen Druck erleidet, sich demnach wie eine vollkommene Flüssigkeit verhält, während oberhalb dieser Grenze Kräfte in verschiedenen Richtungen wirken, so daß also hier Bewegungen auftreten können. Der wahrscheinlichste Wert dieser Tiefe beträgt nach Hayford 122 km, und wenn ihm auch eine gewisse Unsicherheit anhaften mag, so ist er doch wohl der Größenordnung nach richtig. Wäre nun die Erde unendlich starr, so könnten keinerlei Deformationen auftreten. Aber unendlich starre Körper existieren nicht. Die Erdkruste besitzt eine gewisse Elastizität, und auch bei Stoffen von der „Riegheit“, um einen von Suess geprägten Ausdruck zu gebrauchen, des Stahles oder des Granites muß ein Ausgleich stattfinden: Riegheit und isostatische Kompensation schließen sich nicht aus. Nach Willis⁴⁾ sind die Gesteinsmassen unterhalb der äußeren Zone, der „*zone of fracture*“, geringen Kräften von kurzer Dauer gegenüber starr; bei lange einwirkenden

¹⁾ The Great Valley of California. Bull. Dept. of Geol., Univers. of California, Bd. 1, 1896, S. 371—428.

²⁾ The geodetic evidence of isostasy. Proc. Washington Ac. Sc., Bd. 8, 1906, S. 25—40. Siehe vor allem das große Werk: The figure of the earth and isostasy from measurements in the United States. Washington 1909.

³⁾ Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. In: Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften. Leipzig 1910. VI, 1, 7. Heft, 2, S. 85—177.

⁴⁾ Research in China. Washington 1907. Bd. 2, S. 128.

Kräften, die ausreichen, um die inneren Widerstände zu überwinden, verhalten sie sich jedoch plastisch.

Es handelt sich nun bei der Isostasie nicht um ein Schwimmen auf einer flüssigen Unterlage; denn, wie Chamberlain¹⁾ sehr richtig bemerkt, müßten in diesem Falle ständige Bewegungen eintreten, und es könnte nicht zu einer Summierung von Spannungen kommen, die dann zur Auslösung gelangten. Auch hat Love²⁾ vor kurzem darauf hingewiesen, daß man sich die flüssigen Schichten unter der Kruste nicht zusammenhängend vorstellen dürfe, da man sonst zu ganz falschen Werten für ihre Nachgiebigkeit gelangen würde. Es sind vielmehr die Deformationen auf die Elastizität der Erdkruste zurückzuführen. Nun besteht aber nach den experimentellen Untersuchungen von Kusakabe³⁾ hier keine vollkommene Elastizität, die Gesteine folgen vielmehr nicht einmal bei geringen Beanspruchungen dem Hooke'schen Gesetz. Aus diesem Grunde kann ein sofortiges Nachgeben gegenüber den deformierenden Kräften nicht stattfinden. Es wird dies aufs deutlichste gezeigt durch die Bewegungen der Landmassen, die während der Diluvialperiode von einer mächtigen Eiskecke überlagert gewesen sind. Wir wissen, daß diese Gebiete eine Senkung und dann nach dem Verschwinden des Eises eine Aufwölbung erfahren haben, die noch heute anhält. Bei vollkommener Elastizität müßte zunächst während des Vorrückens des Eises eine Deformation entstehen, die dann, wenn das Eis stationär bleibt, ebenfalls stationär wird, um schließlich, wenn sich die Eiskappe zurückgezogen hat, auch wieder vollständig zu verschwinden. So ist nun aber der Verlauf in Wirklichkeit nicht gewesen, die Erdkruste ist bis zu einem gewissen Grade plastisch, und so kommt es, daß während der stationären Lage des Eises die Deformation weiter wächst, und daß sie dann, selbst wenn dieses bereits gänzlich abgeschmolzen ist, noch fort dauert⁴⁾. Wegen dieser Plastizität kann der vorher vorhanden gewesene Zustand nie wieder ganz erreicht werden, die Krustenteile gelangen nicht wieder bis zu ihrer alten Höhenlage zurück.

In ähnlicher Weise muß die Entwicklung auch unter dem Einfluß isostatischer Bewegungen verlaufen. Eine gehobene Landmasse wird der Denudation unterworfen, das isostatische Gleichgewicht wird gestört;

1) In einem Reférat im Journ. of Geol., Bd. 15, 1907, S. 78.

2) The yielding of the earth to disturbing forces. Proc. R. Soc., Bd. 82, A, 1909, S. 73—88.

3) Modulus of rigidity of rocks and hysteresis function. J. of the College of Sc., Tokio, Bd. 19, 1903, No. 6. — Modulus of rigidity of rocks and velocities of seismic waves. Publ. Earthquake Invest. Comm., 1904, No. 17.

4) R u d z k i, Physik der Erde. Leipzig 1911. S. 235.

aber es kann nicht sofort eine Aufwärtsbewegung zum Ausgleich und damit im Zusammenhang ein Nachfließen unter der festen Kruste einsetzen, weil zuerst die Starrheit der miteinander fest verbundenen Schollen überwunden werden muß. In einem gegebenen Zeitpunkt wird dies aber geschehen, und dann ist nur noch eine geringere Kraft für das weitere Fortschreiten erforderlich¹⁾. Die Denudation erfährt nun so eine Wiederbelebung, die Schollen erheben sich aber wegen der Plastizität nicht mehr bis zu ihrer ehemaligen Höhe. Denken wir uns dieses Spiel unendlich lange fortgesetzt, so wird eine völlige Einebnung eintreten müssen, vorausgesetzt, daß keine orogenetischen Bewegungen, die eben auf andere Ursachen zurückgehen, störend dazwischen treten. Wann diese isostatische Aufwärtsbewegung eintritt, in welchem Stadium, das hängt von den lokalen Verhältnissen ab. Die isostatische Anpassung wird bei der Inhomogenität der Erdkruste verschieden sein je nach der örtlichen Zusammensetzung der Erdkruste und je nach den äußeren Bedingungen: ungleiche Massen werden sich in der Dichte und Plastizität unterscheiden, und dazu treten dann Verschiedenheiten der Temperatur u. ä.

Hayford ist nun durch seine Messungen zu dem Resultat geführt worden, daß in den Vereinigten Staaten, obwohl hier nachweislich Schichtkomplexe von mehreren tausend Metern abgetragen und an anderer Stelle wieder abgelagert sind, trotzdem ein sehr hoher Grad von Isostasie vorhanden ist, ein so hoher, daß er zu dem Schluss gedrängt wurde, daß hier isostatische Ausgleichungen eingetreten sein müssen. Stellt man sich nun auf diesen Standpunkt, so könnte man sich die Entwicklung etwa in der folgenden Weise denken. Wir sind wohl schon so weit, daß wir mit Sicherheit behaupten dürfen, daß die Entwicklung unserer Erde nicht gleichförmig verlaufen ist, sondern daß sie vielmehr einen stark zyklischen Charakter trägt. Man braucht sich dabei noch gar nicht zu den von Arldt²⁾ aufgestellten Zyklen, die noch allzuviel Hypothetisches in sich tragen, zu bekennen; die von Chamberlain aufgestellte Periodizität, der z. B. Willis³⁾ durchaus zustimmt, genügt für unsere Zwecke vollkommen. Wir haben es danach mit einer verhältnismäßig kurzen Epoche orogenetischer und epirogenetischer Bewegungen und einer darauffolgenden relativ langen Abtragungsperiode zu tun; das ebenfalls periodisch wiederkehrende Auftreten von Eiszeiten, Transgressionen und Eruptionszeiten können wir hier übergehen. Der Entwicklungsgang wäre danach der folgende: Zu-

1) Van Hise, *Earth movements*. Trans. Wisconsin Ac. Sc., Bd. 2, 1898, S. 474.

2) *Die Entwicklung der Kontinente und ihrer Lebewelt*. Leipzig 1907. S. 506 ff.

3) a. a. O. S. 117. Siehe auch Ramsay, *Orogenesis und Klima*. Oefvers. Finska Vetensk. — Soc. Förh., Bd. 52, 1910, Afd. A, No. 11.

nächst setzen orogenetische Bewegungen ein, die eine Faltung der Erdkruste hervorrufen. Dadurch werden die denudierenden Kräfte in Tätigkeit gesetzt und damit die Isostasie gestört. Diese kann zwar nicht sogleich wiederhergestellt werden, aber je nach der Zusammensetzung des betreffenden Krustenstückes muß früher oder später durch die isostatisch erzeugten Deformationen der Zyklus unterbrochen werden; es findet eine gleichmäßige Hebung oder eine Verbiegung der ganzen Landmasse oder eines Teiles von ihr statt. Geschieht dies in einem frühen Stadium, so wird dieser Zyklus aus den Oberflächenformen nicht mehr abgelesen werden können, denn die jugendlichen Formen werden durch den folgenden Zyklus zerstört werden. Es kann aber natürlich die Hebung auch im reifen oder erst im alten Stadium auftreten, und im letzteren Falle werden wir eine alte Landoberfläche vor uns haben, die eine junge Zerschneidung zeigt. Nun beginnt das Spiel von neuem; da aber, wie wir gesehen haben, die Schollen wegen ihrer unvollkommenen Elastizität nicht mehr bis zu ihrer alten Höhe gebracht werden können, so erleidet das Relief eine kontinuierliche Verminderung, und es muß schliesslich jede Scholle, wenn keine neuen orogenetischen Deformationen zustande kommen, in eine Rumpffläche verwandelt werden. Die Zahl der so durchlaufenen Zyklen kann dabei sehr groß sein; meint doch z. B. Briquet¹⁾, daß das Gebiet zwischen der Nordseeküste und den Ardennen nicht weniger als zwanzig erkennbare Zyklen erlebt hat. Wir sahen, daß die Möglichkeit vorliegt, daß eine Peneplain auch in einem einzigen Zyklus entstehen kann; es ist aber von Bedeutung zu erkennen, daß eine solche unter der soeben gemachten Voraussetzung des Fehlens orogenetischer Vorgänge irgend wann einmal trotz aller isostatischen Bewegungen zur Ausbildung gelangen muß. Um bei den vorher genannten Beispielen zu bleiben, so waren die Alpen nach der Faltung bereits im Stadium der Reife, als die Aufwölbung geschah, die Transsylvanischen Alpen, wo die Faltung in einer weit früheren Periode eintrat, haben dagegen schon eine mehrfache Ein-ebnung seit dieser Zeit durchgemacht, und aus den übersichtlichen, von v. Sawicki²⁾ für die Karpathen zusammengestellten Tabellen ersieht man für deren einzelne Teile den ständigen Wechsel von Hebung und Abtragung nach der Hauptfaltung, wobei noch besonders auffallend ist, daß das Maß der Hebung im Laufe der Entwicklung meist ständig abnimmt, ein allmähliches Abklingen zeigt. So wird es auch erklär-

¹⁾ Sur la succession des cycles d'érosion dans la region gallo-belge. C.-R. Ac. Sc., Bd. 151, 1910, S. 172.

²⁾ Die jüngeren Krustenbewegungen in den Karpathen. Mitt. Geol. Ges. Wien, Bd. 2, 1909, S. 113 f.