

Werk

Titel: Das dynamische Gleichgewicht der Erdoberfläche

Autor: Baschin, Otto

Ort: Berlin

Jahr: 1915

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?391365657_1915 | LOG_0250

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

✉ info@digizeitschriften.de

Das dynamische Gleichgewicht der Erdoberfläche.

Von **Otto Baschin.**

Mehr als anderthalb Jahrhunderte sind vergangen, seitdem durch die vergleichenden Gradmessungen im heutigen Ecuador und in Lappland die Form des Erdkörpers in ihren Grundzügen festgestellt wurde. Die Überzeugung von der Gestalt der Erde als eines an den Polen abgeplatteten Sphäroides hat sich seitdem immer mehr befestigt und ist heute zur Gewißheit geworden. Erheblich langsamer dagegen gewann die Anschauung an Boden, daß die Figur der Erde einen Gleichgewichtszustand darstellt, der im wesentlichen auf dem Verhältnis zwischen Gravitation und Zentrifugalkraft beruht, zwei Kräften, die fast überall auf der Erdoberfläche entgegengesetzte Komponenten aufweisen. Erst Forschungen neueren Datums haben nämlich den Nachweis erbracht, daß die vorhandenen Abweichungen von der hydrostatischen Schichtung, die in den obersten Teilen der Erdkruste vorhanden sind und schon äußerlich in der ungleichen Verteilung von Land und Wasser erkennbar werden, auch die Gestalt des Erdkörpers als Ganzes beeinflussen und das Sphäroid zum Geoid umformen.

Eine folgerichtige Fortsetzung dieser Überlegung führt dann zu der Annahme, daß die unaufhörlich vor sich gehenden Massenumsetzungen in der Nähe oder auf der Erdoberfläche trotz ihrer relativen Geringfügigkeit doch nicht ganz ohne Einfluß auf die Gestalt des Erdganzen bleiben können. Ein Beispiel dafür bieten die, offenbar stark von der Periodizität der Jahreszeiten beeinflussten Verlagerungen der Erdachse im Erdkörper.

Da die dynamische Kraft der Erdrotation eine sehr einfache Gesetzmäßigkeit aufweist und in derselben geographischen Breite wohl praktisch als konstant betrachtet werden kann, so ist man berechtigt, von einem statischen Gleichgewicht des Erdkörpers zu sprechen, der durch kleine Änderungen seiner Gestalt sich jedem Wechsel in den statischen Belastungen anzupassen vermag. Die Isostasie ist ja nichts anderes als ein spezieller Fall dieses allgemeinen Gleichgewichtszustandes.

Mit wie elementarer Gewalt sich jede größere Störung des isostatischen Gleichgewichts bemerkbar macht, zeigt sich an den Aufpressungen, durch welche die Sohle des Panamakanals beim Culebra-Durchstich von unten her zu wiederholten Malen emporgehoben wurde, weil dort der künstlich erzeugte Massendefekt einen besonders hohen Betrag erreicht. Ein Gleich-

gewichtszustand dürfte dort wohl erst dann eintreten, wenn durch Versenken schwerer Massen im Kanalbett wieder eine Annäherung an den isostatischen Zustand erzielt worden ist. Andererseits ist es auch fraglich, ob künstliche Stau-Seen von großen Dimensionen, wie z. B. der Assuan-See, nicht einmal im entgegengesetzten Sinne wirksam werden und eine Depression ihrer Unterlage zuwege bringen können.

Die Frage nach der Form des Erdganzen und den sie beeinflussenden Kräften darf jedenfalls im wesentlichen als geklärt betrachtet werden.

Anders dagegen verhält es sich mit den Einzelformen der Erdoberfläche. Hier sehen wir eine verwirrende Vielgestaltigkeit und eine so reiche horizontale und vertikale Gliederung, daß es ein vergebliches Bemühen zu sein scheint, in dieser chaotischen Fülle von Formengruppen das Walten physikalischer Gesetze auffinden zu wollen. Und doch ist es auch hier gelungen, die Entstehung mancher Gebilde auf die Einwirkung bestimmter Kräfte zurückzuführen, während andererseits gerade bei gewissen, besonders auffälligen Regelmäßigkeiten der Formen alle bisherigen Erklärungsversuche versagt haben.

Das letztere gilt ganz besonders von jenen Wiederholungen der horizontalen Gliederung, die sich bei der Betrachtung eines Globus oder einer Erdkarte auch dem Laien aufdrängen, und für die Agassiz den glücklichen, der vergleichenden Anatomie entlehnten Ausdruck der „Geographischen Homologien“ geprägt hat. Schon vor mehr als zwei Jahrhunderten machte Baco von Verulam auf manche dieser Einzelheiten in der Verteilung von Wasser und Land aufmerksam, die seitdem andauernd das Interesse der Geographen zu fesseln vermochten. Die antipodische Verteilung von Wasser und Land, die Zuspitzung der Kontinente nach Süden, die Verschiebung der Südkontinente nach Osten, die Bruchzone zwischen Nord- und Südkontinenten, welche, einem größten Kreise folgend, die ganze Erde umspannt, die guirlandenförmige Anordnung der Inselketten am nördlichen und westlichen Gestade des Großen Ozeans, sind einige Beispiele für solche Eigentümlichkeiten, die auf gesetzmäßige Beziehungen hindeuten. Aber schon Alexander von Humboldt, der sich mehrfach mit diesen geheimnisvollen Analogien beschäftigte, warnte davor, aus den vorhandenen Ähnlichkeiten auf Gesetze der Form schließen zu wollen. Trotzdem hat es natürlich nicht an Versuchen gefehlt, solche Gesetze zu ermitteln. Es sei hier nur an die neueste Hypothese von Emile Belot erinnert, der u. a. die zugespitzte Form der Südkontinente und die ostwärts gerichtete Torsion auf der Südhalbkugel durch die Verschiedenheit der Widerstände zu erklären sucht, die in den terrestrischen Zirkulationssystemen als Folgeerscheinungen einer translatorischen Bewegung des Sonnensystems durch den Weltenraum auftreten sollen.

Besser ist es mit jener Erklärung der gesamten Verteilung von Wasser

und Land bestellt, die A. E. H. Love gegeben hat. Sein Beweis, daß die Verteilung der Landmassen im grossen und ganzen durch Kugelfunktionen der ersten drei Grade darstellbar ist, darf als der erste wohlgelungene Versuch betrachtet werden, unter relativ einfachen Annahmen die Umrisse der Kontinentalmassen physikalisch zu erklären und deren Asymmetrien der Sphäre des Zufalls zu entrücken, in die sie bis dahin wohl meist versetzt wurden. Daß dieser geniale Versuch in der deutschen geographischen Literatur nicht nach Verdienst gewürdigt worden ist, beruht auf Gründen, deren Erörterung den Rahmen dieser kurzen Mitteilung überschreiten würde. Die Love'sche Stabilitätstheorie ist jedenfalls der erste ernsthafte, und meines Wissens bisher auch unangefochtene gebliebene Versuch auf streng wissenschaftlicher Grundlage in einwandfreien mathematischen Ausführungen die Verteilung von Wasser und Land physikalisch zu erklären.

Was nun die morphologischen Einzelformen anbetrifft, so ist ein vor 16 Jahren in dieser Zeitschrift unternommener Versuch die Umgestaltung leicht beweglicher Bodenbedeckungen, wie des Dünenandes und des Trieb-schnees, auf die Tendenz zur Erreichung eines stationären Wogensystems im Sinne von Hermann von Helmholtz zurückzuführen, zwar von einigen hervorragenden Kennern ausgedehnter Flugsandgebiete, wie z. B. Sven von Hedin aufgenommen worden, sonst aber nicht ganz ohne Anfechtung geblieben.

Und doch ist jener Einfluß des Windes auf den leicht beweglichen Erdboden bloß ein Spezialfall einer allgemeinen Gesetzmäßigkeit, die Helmholtz nur für Wolken und Meereswellen nachgewiesen hat, die der aufmerksame Beobachter aber überall auf der Erde auch an anderen Objekten bestätigt finden wird.

Die formgebende Wirkung von Luftströmungen beschränkt sich aber nicht auf bewegliches Material. Wenn wärmere Luft über Eisflächen dahinstreicht, so entstehen gelegentlich quer zu der Windrichtung angeordnete Rippeln, die auf Schmelzwirkung beruhen und der erwähnten Tendenz ihre Ausbildung verdanken. Besonders regelmäßig findet man daher diese Querrippelung in Eistunnels, wo eine gewisse Beständigkeit der Luftströmung vorhanden ist. Die Gnipa-Höhlen in Grönland und Spitzbergen, die von Alfred und Kurt Wegener beschrieben worden sind, enthalten typische Beispiele solcher Schmelzformen.

Selbst die Vegetation nimmt bei bestimmten vorherrschenden Windrichtungen Formen an, welche die Tendenz zur Erreichung eines stationären Wogensystems deutlich erkennen lassen. Ich denke hier nicht nur an die, häufig in der Nähe der Meeresküsten oder im Gebirge vorkommenden einseitig entwickelten Bäume, bei denen das Wachstum der Zweige vorwiegend in der Richtung nach der Leeseite hin erfolgt, sondern vor allem

an jene außerordentlich regelmäßige Wogenform der Koniferen auf den Kanarischen Inseln, die Oskar Burchard, und der Laubbäume an der Dalmatinischen Küste, die Thilo Krumbach beobachtet hat.

Strömendes Wasser muß selbstverständlich in analoger Weise wirken wie strömende Luft. Das Ergebnis entzieht sich aber meist der Beobachtung, weil das Wasser die Formen des Untergrundes, über den es fließt, verhüllt. Wo dieser letztere jedoch bloßgelegt wird, wie z. B. am Ebbestrande, da sehen wir die von der Strömung in dem seichten Wasser zustandegebrachten Rippelmarken. Daß regelmäßige Meeresströmungen dem Boden der Flachsee, sofern er nicht aus festem Fels besteht, eine ganz bestimmte Form aufprägen müssen, ist ebenfalls von vornherein zu erwarten. Die Ablenkung, welche eine der Küste parallel verlaufende Strömung durch den Aufbau einer sich ins Meer hinaus erstreckenden Mole erleidet, kann deshalb auf die Gestaltung des Untergrundes nicht ohne Einfluß bleiben. Ob diese Veränderung derart sein wird, daß sie dem Molenbau sein Fundament entzieht, oder dasselbe verstärkt, ob sie eine Vertiefung oder eine Versandung des geschaffenen Hafens verursachen wird, das sind Fragen, die sich nur auf Grund eingehendster Kenntnisse aller lokalen Einzelheiten und nach Anstellung entsprechender Experimente entscheiden lassen. Man darf vermuten, daß manche verunglückten Molenbauten und Hafenanlagen nur als Folgen der künstlich hervorgerufenen Störung des bestehenden Gleichgewichtszustandes zu betrachten sind.

Erheblich deutlicher sichtbar werden die Wirkungen des strömenden Wassers auf seine seitliche Begrenzung. Die Einflüsse von Meeresströmungen auf die Form der Küstenlinie sind ja zur Genüge bekannt, und ein Blick auf die Spezialkarte einer Flachküste genügt, um die regelmäßige Wiederholung der gleichen Formen von Haken, Nehrungen, Lagunen und Sandbänken als Resultate einer einheitlichen Ursache zu erkennen. Derartige Küstenlinien stellen eben Annäherungen an Gleichgewichtszustände dar, die sich als solche auch dadurch dokumentieren, daß nach einer künstlichen Zerstörung derselben sich die alten Formen nach einiger Zeit von selbst wieder herstellen.

Auch auf die Flüsse erstreckt sich diese Tendenz nach einem dynamischen Gleichgewichtszustand. Es ist eine bekannte Erscheinung, daß Bäche und Flüsse bei stärkerem Gefälle ziemlich geradlinig fließen und offenbar das Bestreben haben, ihren Lauf in die Richtung des Gradienten der Schwerkraft zu legen. Sobald dessen Größe aber unter einen Schwellenwert sinkt, dessen numerischer Betrag von verschiedenen Umständen, vor allem von der Geschwindigkeit und der Menge des Wassers abhängt, tritt das entgegengesetzte Bestreben ein. Der Fluß verläßt die Richtung des Gradienten und pendelt in Kurven von annähernd gleichen Amplituden, deren Ausmaß ebenfalls

von den eben genannten Faktoren beeinflußt werden dürfte, um die Mittellinie, der er jedoch wieder zustrebt, sobald das Gefälle sich erheblich vergrößert.

Auf diese Weise entstehen die sogenannten Mäander, durch welche die Länge des Flußlaufes allmählich immer mehr vergrößert wird, weil die Abweichungen von der Mittellinie, wenn die Mäanderbildung erst einmal eingeleitet ist, nach beiden Seiten hin zunehmen.

Es ist meines Wissens bisher noch keine stichhaltige Erklärung für die Einleitung der Mäanderbildung gegeben worden. Die Form des Flußbettes und manche andere gelegentlich angeführten Gründe kommen als primäre Ursachen aus dem Grunde nicht in Betracht, weil auch in einem gradlinigen, von festen Ufermauern eingefassten Kanal die Pendelung des Stromstriches um die Mittellage deutlich sichtbar ist und sich gegebenenfalls in der Anordnung von Sand- und Kiesbänken ausprägt.

Wir haben es hier offenbar ebenfalls mit einer Tendenz zu tun, die dem Endziel jenes Helmholtz'schen stationären Wogensystems zustrebt, mit dessen Erreichung ein dynamischer Gleichgewichtszustand geschaffen wäre. In der Natur wird ein solcher in vollkommener Weise nur an der Grenzfläche von leicht beweglichen Medien, vor allem demnach bei gasförmigen, seltener bei flüssigen Substanzen eintreten können. Sobald dagegen die feste Erdoberfläche in Betracht kommt, werden sich stets nur mehr oder weniger deutliche Annäherungen an den Endzustand beobachten lassen.

Ob ein an der Fahnenstange eines Gebäudes gehißter Wimpel im Winde flattert, oder derselbe Wimpel an der Mastspitze eines in Fahrt befindlichen Dampfers bei Windstille durch die Luft geführt wird — der dynamische Vorgang ist in beiden Fällen der gleiche. Stets wird der Wimpel, dem Helmholtz'schen Gesetz folgend, sich in Wellenlinien bewegen. Ersetzen wir in dem zweiten Fall den Wimpel am fahrenden Schiff durch den bewegten Wasserfaden des Flusses, und die ruhende Luft durch die feste Erdoberfläche, so haben wir einen vollkommen analogen Zustand. Wir können also die Mäander eines Flusses als dynamische Gleichgewichtsformen auffassen, womit die Tatsache völlig im Einklang steht, daß bei Änderungen der Geschwindigkeit, bezw. der Menge des Wassers, gleichzeitig umgestaltende Tendenzen auftreten müssen, welche die Form der Mäander den neuen Gleichgewichtsbedingungen anzupassen streben.

So sehen wir, daß Wolken und Meereswellen, Flugsand und Tribschnee, Umrißformen der Vegetation und Flußmäander demselben Gestaltungsgesetz unterliegen und nur verschiedene Stadien auf dem Wege sind, der zu einem dynamischen Gleichgewichtszustand führt.

Der Geltungsbereich dieses Gesetzes erstreckt sich zudem nicht nur auf Kleinformen; der Stärke der Kraft muß vielmehr auch die Größe der Wirkung