

# Über einige Beziehungen zwischen Tektonik und Morphologie

Von Otto Ampferer

Mit 12 Zeichnungen

Es ist nicht nur die Morphologie von der Tektonik abhängig, sondern auch umgekehrt die Tektonik von der Morphologie.

Dieser letztere Fall tritt natürlich erst dann ein, wenn von der Erosion bereits stark beschnittene Formen neuerlich Gegenstand von tektonischen Bewegungen werden oder wenn, allgemeiner gesprochen, der Fortgang der Erosion mit Fortschritten der Tektonik zusammenfällt. Während W. M. Davis bei seinen ausgezeichneten morphologischen Darstellungen vor allem ein »Nacheinander« von Tektonik und Erosion in Betracht gezogen hat, wurde von Otto Lehmann und Walther Penck gerade das »Nebeneinander« dieser beiden Wirkungswelten zum Gegenstand der Untersuchung gemacht.

Wenn wir so auch eine moderne allgemeine Einführung und Umgrenzung vieler in diesem Gebiete auftauchenden Probleme bereits besitzen, so sind doch noch manche Fragestellungen offen, und zwar insbesondere auf der tektonischen Seite der Erscheinungen, von denen hier einige zur Besprechung und Darstellung kommen sollen.

So sehr für einen miterlebenden Geist menschlicher Art z. B. der Verlauf einer raschen Hebung mit nachfolgender langer Abtragung verschieden ist von einer mehrfachen, ruckweisen Hebung und derselben langen Abtragung, so kann sich das Bild beider Reihen in großer zeitlicher Betrachtungsferne doch bis zur Gleichförmigkeit zusammenschieben. Diese Überlegung führt uns gleich zu der wichtigen Frage, welche tektonischen Vorgänge denn überhaupt bei einer zeitfernen Betrachtung eine Aussicht auf morphologische Abbildung und Erhaltung besitzen.

Wir haben uns also zuerst mit den »Konservierungsmitteln« von Landoberflächen zu beschäftigen. Bringt eine Senkung ein Ober-

flächenstück unter Meeres-, See-, Sumpf ... Bedeckung und bleibt dasselbe genügend lang unter derselben, so werden sich über dieser versenkten Oberfläche Ablagerungen bilden. Erreichen diese eine größere Mächtigkeit oder gute Verfestigung, so können unter ihrem Schutz die alten Oberflächen lange Zeit hindurch trotz nachfolgender Hebungen unversehrt verbleiben.

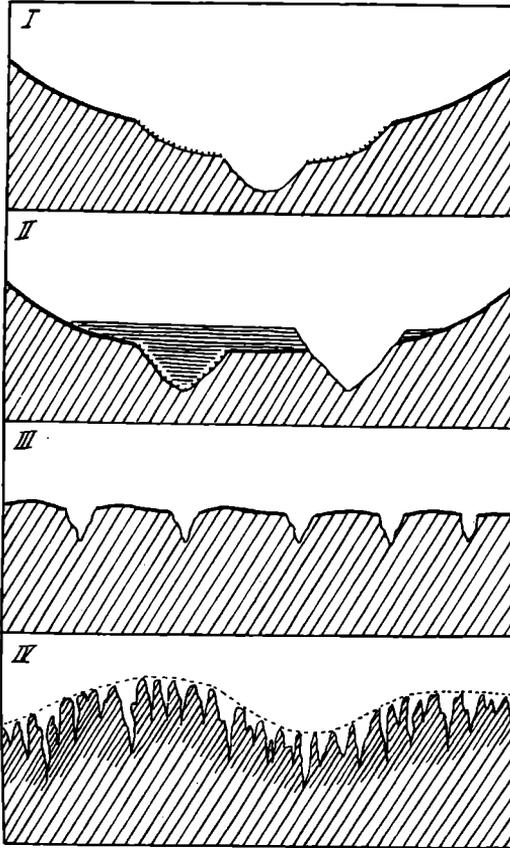


Fig. 1. Konservierung von Landoberflächen:

I = durch Tieferlegen und Verkleinern der Hauptarbeitsfurche; II = durch Zuschütten und Seitwärtsverschieben der Arbeitsfurche; III = durch Grobzersägen; IV = durch Feinzersägen.

Wir kennen aus den Alpen sogar noch Oberflächenstücke aus dem Paläozoikum, weit zahlreichere aber aus der Kreide und dem Tertiär.

Eine ähnliche konservierende Wirkung haben auch die Überdeckungen von Landflächen mit vulkanischen Laven und Aschen, die

Sandzuschüttungen des Windes, Gehängeschutt und Talterrassen, endlich auch die Eindeckungen durch Schubmassen. Die letzteren können, wenn sie über eine alte Oberfläche hin erfolgten, auch Hohlräume derselben durch »Ausstopfung« mit Schubmaterial vor der Zerstörung lange Zeit bewahren.

Für diese erst in neuester Zeit erkannte »tektonische Konservierung« von Hohlräumen alter Landoberflächen durch Ausstopfung mit Schubmaterial wurde im Jahrbuch d. Geol. B. A. Wien 1924 ein schönes Beispiel vom Stanserjoch im Karwendelgebirge beschrieben und abgebildet.

Die »Schirmwirkung« von Schubmassen ist vielfach eine sehr bedeutende und zeigt sich vor allem dadurch, daß an ihrem Fuße sich häufig noch Schichten erhalten haben, die sonst bereits im ganzen Gebiete der Zerstörung verfallen sind. Bis zu einem gewissen Grade können auch Überlagerungen von Landflächen durch Eis von konservierender Wirkung sein. Dies setzt voraus, daß entweder die Eismassen sich in Ruhe befinden oder einer sehr breiten und gleichmäßigen Bewegung unterliegen. Im letzteren Falle findet zwar eine Abschleifung statt, dieselbe kann aber wenigstens noch die Ähnlichkeit der Oberfläche trotz der Erniedrigung bewahren. Alle die hier aufgezählten Mittel der Konservierung beruhen auf dem Schutz von Überdeckungen.

Es gibt aber auch noch andere, wenn auch nicht so haltbare Mittel der Konservierung, wie die eben erwähnten Überdeckungen. Als ein solches wäre vor allem das »Kleinerwerden der Formen« zu bezeichnen. Durch dieses Verfahren wird gleichsam nur ein Teil der Landoberfläche intensiv weiter bearbeitet, während ein anderer Teil daneben relativ geschont verbleibt. Fig. 1 zeigt einige schematische Formen dieser Methode von relativer Konservierung von Oberflächenstücken.

Im allgemeinen kann sich eine ältere Form nur insoweit erhalten, als sie nicht von einer jüngeren aufgezehrt wird.

Ist also die jüngere Form größer oder gleich, so ist die ältere damit verschwunden. Eine Ausnahme ist möglich, wenn es z. B. bei gleich großen oder sogar größeren Formen zu seitlichen Verschiebungen kommt.

Diese Form von Konservierung ist verhältnismäßig sehr häufig, hat aber meist nur einen geringen Wirkungsbereich. Das Prinzip des »Kleinerwerdens der Formen« hat seine Anwendung von den geringsten bis zu sehr großen Bereichen.

Trotz seiner überaus häufigen Verwirklichung darf man nicht vergessen, daß sowohl beim Gleichbleiben als beim Größerwerden die älteren Formen nicht konservierbar sind. Wir können also über die Häufigkeit oder Seltenheit solcher Vorgänge aus den heute vorliegenden Formen nur sehr vorsichtig schließen.

Es kann z. B. als gesichert gelten, daß das strömende Eis mindestens bis zur Erreichung einer guten geglätteten Fahrbahn die älteren engen eckigen Hohlformen vergrößert.

Umgekehrt sehen wir aber auch Fälle, wo es in große Hohlformen, die es nicht zu füllen vermochte, eine neue und schmalere Fahrbahn eingebaut hat.

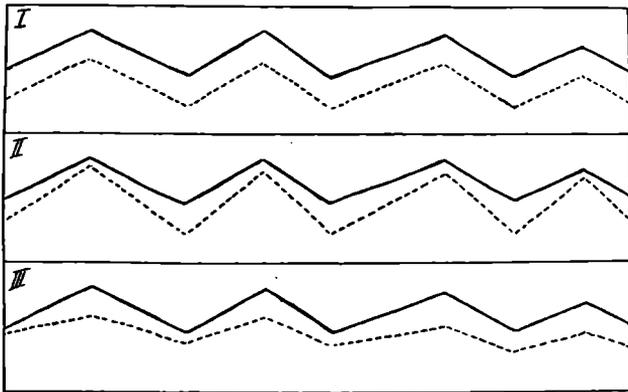


Fig. 2. I = Gleichbleiben, II = Größerwerden, III = Kleinerwerden der Oberflächen in einem Querschnitt des Reliefs bei tiefergreifender Abtragung.

Es ist geometrisch möglich, daß alle Hohlformen gleichzeitig und gleichmäßig größer oder kleiner werden oder gleichbleiben (Fig. 2).

Alle diese Fälle sind indessen zu unwahrscheinlich, um verwirklicht zu werden.

In Wirklichkeit ist eine bunte Kombination von sich vergrößernden mit sich verkleinernden oder gleichbleibenden Hohlräumen dasjenige, was uns die Beobachtung allerorten zu erkennen gibt.

Die Einschaltung von kleineren Formen in größere ist indessen für eine Erklärung durchaus nicht eindeutig (Fig. 3). Es braucht zunächst gar keine Einschaltung von jüngeren Formen in ältere zu sein, es kann sich auch um eine einzige und zusammengehörige Umformung handeln. Wenn ein ursprünglich einfacher Talschnitt von einem Eisstrom lange durchflossen wird, welcher aus mehreren Gletschersträngen besteht, von denen z. B. die zwei seitlichen sowie

die untersten viel reicher an Schutt als die mittleren sind, so wird eine der in Fig. 3a abgebildeten Abnützungsform ähnliche Umformung sich herausstellen.

Auch ein Aufbau des Grundgebirges aus verschiedenen widerstandsfähigen Schichten kann ähnliche Formen (Fig. 3b) liefern, doch ist

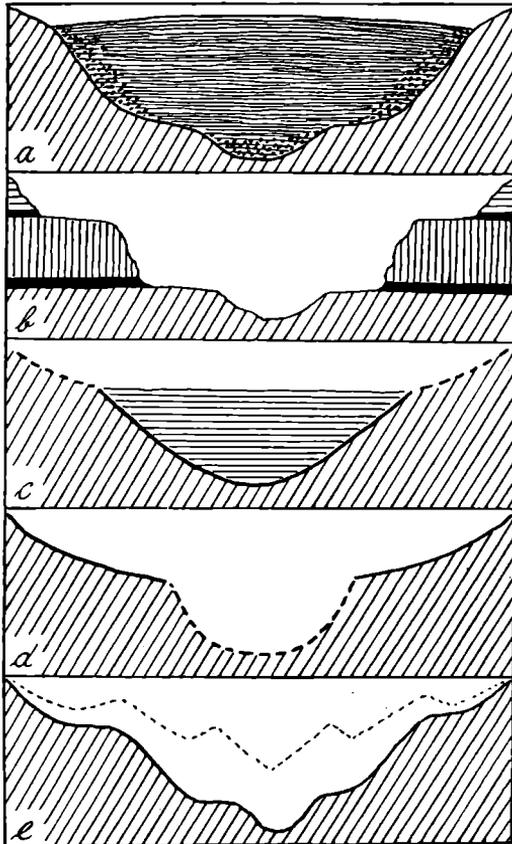


Fig. 3.

dies in der Regel durch eine geologische Kartierung leicht zu entscheiden.

Es ist weiter möglich, daß der untere engere Teil des Querschnittes der ältere ist und der obere der jüngere (Fig. 3c).

Dies kann z. B. durch eine Seestauung oder eine Verschüttung bewirkt werden, welche den unteren Teil konserviert, während der obere abgetragen und verbreitert wird.

Es kann aber auch der obere, weite Talteil wirklich der ältere sein und der schmälere, tiefere darin eingeschnitten liegen (Fig. 3*d*).

Endlich kann auch die heute vorliegende Form aus einer Vereinigung von mehreren Talrinnen hervorgegangen sein, wie Fig. 3*e* zur Darstellung bringt.

Wir haben also bei der Betrachtung der konservierenden Wirkung von Formverkleinerungen nicht allein ihren stets nur relativen Wert, sondern auch eine ziemliche Vieldeutigkeit der Formen mit zu beachten.

Eine wichtige Rolle für die Konservierung von einzelnen Teilen von Landoberflächen spielt auch die tektonische Weiterbehandlung solcher Flächen.

Hier sind mehrere Möglichkeiten zu unterscheiden.

Daß Oberflächen durch Senkung am besten zu konservieren sind, haben wir schon erwähnt.

Sie können aber auch durch Hebung z. B. auf Plateaustöcken eine gute Isolierung und Ausschaltung aus der Groberosion erlangen.

Ebenso kann eine Fläche durch steilere Aufrichtung sich der Wirkung der Abtragung mehr entziehen und so für ihre Erhaltung in eine günstigere Lage kommen (Wirkung steiler Dachformen). Wie ich im Jahrbuch der Geol. B. A. Wien 1925 ausführlicher begründet habe, wird die längere Erhaltung oder raschere Zerstörung von Oberflächen bei sonst gleichen Bedingungen ganz allgemein durch sanftere oder schroffere tektonische Weiterbehandlung entscheidend beeinflusst. Die Erhaltung von Oberflächenformen ist endlich von der Dichte und Tiefe des Erosionsnetzes in hohem Maße abhängig. In den weitmaschigeren Teilen eines solchen Netzes können gleichsam einzelne größere Flächenstücke längere Zeit dem Einfangen und Zerstören entschlüpfen. Eine solche Weitmaschigkeit kann z. B. auf einem durchlässigen Gesteine durch Verschluckung und unterirdische Wasserabfuhr herbeigeführt werden.

Überblicken wir noch einmal diese Übersicht der wichtigsten morphologischen Konservierungsmittel, so erkennen wir leicht, daß den senkenden Bewegungen die größte Bedeutung zufällt.

Diese Bedeutung wird für uns indessen sehr beschränkt, weil dabei zwar die Oberflächen gut erhalten, ihr weitaus größter Teil jedoch zugleich unserer Beobachtung entzogen wird.

Die Hebungen können nur bei günstigen Bedingungen relativ konservierend wirken.

Die Überschiebungen haben diese Eigenschaft in allen Fällen. Doch gilt für sie das gleiche wie für die Senkungen.

Außerdem wirkt aber der Vorgang der Überschiebung auf das unterliegende Relief teilweise mechanisch zerstörend und umformend ein, wie ich im Jahrbuch der Geol. B. A. Wien 1924 bei der Schilderung der »Reliefüberschiebungen« näher begründet habe. Damit ist der Zusammenhang zwischen Tektonik und Morphologie noch keineswegs erschöpft.

Die Bodenbewegungen kann man nach ihrem Verlauf in Zeit und Raum als kurzweilig-kurzpausig, kurzweilig-langpausig, langweilig-kurzpausig und langweilig-langpausig unterscheiden.

Alle möglichen Übergänge lassen sich dazwischen schalten.

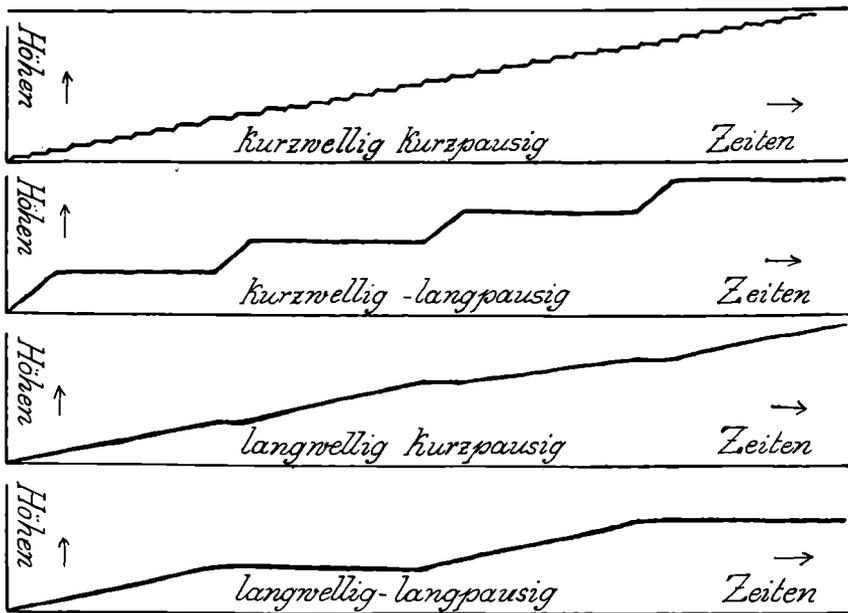


Fig. 4.

Für eine graphische Darstellung kann man sich eines Zeit-Raumgitters bedienen, wo diese Vorgänge dann etwa, wie Fig. 4 zeigt, zur Abbildung gelangen.

Die graphische Darstellung bietet hier neben dem ersten Vorteil der Anschaulichkeit auch noch den zweiten, eine scholastische Einteilerei und Namengeberei der zahlreichen möglichen Kombinationen überflüssig und ausschaltbar zu machen.

Für die Konstruktion solcher Kurven ist jedoch wohl zu überlegen, welchen Punkt einer Erdscholle man im Ablauf von Raum und Zeit verfolgen will. Dabei ergibt sich, daß man unmöglich einen bestimmten

körperlichen Punkt einer Scholle dafür ins Auge fassen kann. Bei der Betrachtung der Wachstumsverhältnisse von Aufbau und Zerstörung kann man z. B. die Verschiebungen der mittleren Höhe oder auch die des Schwerpunktes der betreffenden Scholle über einem bestimmten Niveau zur Konstruktion der Kurven verwenden.

Ihre genaue Ermittlung ist sehr schwierig und auch, solange es sich nur um eine symbolische Charakteristik und Vergleichung von verschiedenen Typen handelt, nicht vonnöten.

Wohl aber gewinnt eine solche Darstellung bei der Betrachtung der wirklich vollzogenen Massenverschiebungen hohe Bedeutung.

Wenn man z. B. zur Konstruktion der Tektonikkurve die jeweils tektonisch gehobenen Massen in Zahlen, zu jener der zugehörigen Erosionskurve die jeweils entfernten Massen in Zahlen verwendet, so sind durch diese beiden Kurven die hier vorhandenen Gesamtleistungen charakterisiert (Fig. 5). Es bleibt sich aber gleich, ob ich z. B. den Aufbau und Abtrag einer  $12 \text{ km}^2$  großen und  $1 \text{ km}$  hohen Scholle oder den einer  $6 \text{ km}^2$  großen und  $2 \text{ km}$  hohen Scholle verfolge.

Endergebnis = Abtrag von ca.  $12 \text{ km}^3$  Gestein in einer bestimmten Zeit. So ist dies eine reine Massenbewegungskurve.

Ich könnte aber dazu noch die jeweils nötigen Arbeitswerte einsetzen und so zu Kurven der Energiewirtschaft übergehen.

Es wäre z. B. eine interessante Frage, wie groß in verschiedenen Klimazonen der Erde der Arbeitswert für die Aufbereitung von  $1 \text{ km}^3$  derselben Gesteinsart ist und welche Zeit dafür die Erosion jeweils durchschnittlich benötigt.

Man könnte eine solche Betrachtung aber nicht nur für große Gebiete, sondern auch für ihre einzelnen verschiedenen Unterteilungen zur Geltung bringen. Ebenso könnte man auch den Arbeitswert der verschiedenen Erosionsmotoren untereinander und mit menschlichen Motoren vergleichen.

Mit solchen Methoden könnten wir zwar über die heute noch zumeist unbekannteren genaueren Verhältnisse der Massenverschiebungen durch Tektonik und Erosion Aufschlüsse erlangen, nicht aber über jene der Formverhältnisse.

Die Entwicklung der Formen im Ablauf der Zeiten kann man nicht mit einer geschlossenen Kurve zeigen, wohl aber durch Reihen gleichsam kinematographischer Kurven, welche die Änderungen im Querschnitt und Längsschnitt liefern.

Die Methode von W. M. Davis mit den »Blockdiagrammen« eignet sich nur für die Darstellung von einzelnen besonders auf-

fallenden Stellen innerhalb einer langen Reihe von unablässigen Veränderungen.

Ändert sich aber auch die tektonische Grundform im Verlauf der Abtragung fortlaufend, so können so komplizierte Verhältnisse entstehen, daß auch eine graphische Darstellung ihre Anschaulichkeit verliert und also versagt.

Das war vielleicht auch für W. M. Davis mit ein Grund, seine morphologischen Ableitungen unter der Annahme einer fertig gegebenen Tektonik zu vollziehen. In sehr vielen und wichtigen Fällen wird man auch mit dieser Annahme auskommen, beziehungsweise noch innerhalb einer erlaubten Fehlergrenze verbleiben können.

Für andere Fälle gilt das nicht mehr und es zeigt sich, daß man den in der Natur gegebenen Verhältnissen näher kommt, wenn man neben einer »Ausgangstektonik« auch noch eine »Folgetektonik« zur Erklärung heranzieht. Es ist leicht verständlich, daß die Wahl einer Ausgangstektonik eine willkürliche Beschränkung unseres tektonischen und morphologischen Rückwärtsschauens bedeutet.

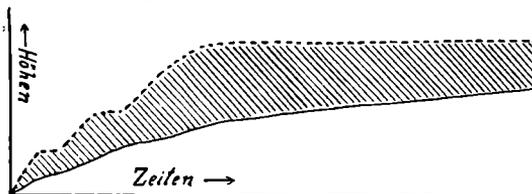


Fig. 5. Gestrichelte Linie = Tektonikkurve; volle Linie = Erosionskurve; schraffiert = Massenunterschied zwischen Hebung und Abtragung.

Doch kann man ohne eine solche Einschränkung nicht arbeiten, weil sonst hinter jeder alten Form ohne Ende noch ältere auftauchen. Bevor ich aber zu der Behandlung einzelner Muster übergehe, ist es unerlässlich, sich über die Wirkungsweisen von ständigen oder von unterbrochenen Deformationen ein etwas genaueres Bild zu verschaffen.

Die Wirkungen der Erosion sind wenigstens für die Betrachtung von größeren Oberflächenstücken als ständige zu bezeichnen, wenn auch ihre Intensitäten (Wirkungen der Hochwässer) starken Schwankungen unterliegen.

Die Wirkungen der Tektonik sind, wenn man z. B. die ganze Erde oder Kontinente ins Auge faßt, auch ständige, wie die ewige Unruhe von empfindlichen Seismometern sofort beweist.

Betrachtet man aber nur kleinere Gebiete und nur deutlich merkbare Veränderungen, so wird man viele tektonische Vorgänge als unterbrochene bezeichnen.

Es wechseln lange Zeiten von relativer Ruhe mit solchen von intensiver Bewegung ab.

Man erhält keine zutreffenden Vorstellungen, wenn man die tektonischen Ereignisse kurzerhand nur als große Summen von winzigen Verschiebungen innerhalb riesiger Zeitstrecken auffassen will. Die tektonischen Ereignisse sind die Äußerungen von Bewegungsimpulsen des heißen Erdinnern, welche sich bereits durch die schwere und mächtige Erstarrungsdecke hindurchgerungen haben, wenn sie an der Oberfläche erkennbar werden. Es handelt sich also zumeist um »stark gedämpfte Bewegungen«.

Die Dämpfungen selbst sind aber so bedeutend, daß es offenbar jeweils einer Ansammlung von inneren Spannungen bedarf, bevor dieselben überwunden werden können.

Wir sehen solche Aufspeicherungen von inneren Spannungen besonders deutlich bei den vulkanischen Ausbrüchen entwickelt. Bei den gebirgsbildenden Bewegungen werden aber unvergleichlich größere Massen weithin in Schwung versetzt und zu mächtigen Bauwerken aufgestaut, welche dann durch lange Zeiten der Abtragung überreichlichen Stoff liefern.

Würden diese gewaltigen Bergketten wirklich Millimeter für Millimeter erhoben, so könnte die Abtragung damit Schritt halten und es würde wohl kaum ein Gebirge entstehen.

Außerdem bezeugen aber auch die inneren Strukturen unzweideutig das relativ rasche Tempo manches tektonischen Bauwerkes. Wenn wir z. B. die prachtvollen Profile der Rollfalten an der Nordseite des Aarmassivs in der Schweiz betrachten, so erkennen wir eine innige Zusammengehörigkeit aller Teile, wie sie am leichtesten durch den Schwung einer großen Gleitung zustandekommt. Das ist die Gebärde einer schwungvollen und raschen Schöpfung und nicht jene einer mühseligen Summierung von Milliarden kleiner Verschiebungen in langer Zeit. Es ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Gebilden, welche mit großer Kraft in kurzer Zeit oder mit kleiner Kraft in langer Zeit geschaffen werden. So kann z. B. ein Bergsturz niemals in seiner Form und Struktur etwa durch ein Jahrtausende langes Herabkollern von einzelnen Steinen ersetzt werden.

Umgekehrt wachsen die Gletscher wirklich aus Summierungen kleiner Beträge im Laufe langer Zeiten zu Riesengebilden an und ebenso scheinen ausgedehnte Hebungen und Senkungen vielfach aus Reihen von gleichgerichteten kleinen Verschiebungen zu bestehen. Wir müssen also zwischen Gebilden eines raschen und eines langsamen

Wachstums wenigstens insoweit unterscheiden, als die einen mit den anderen wegen ihrer verschiedenen inneren Struktur und Entstehungsgeschichte nicht einfach vertauschbar sind.

Für manche Teilgebiete der Geologie ist der Einfluß des raschen oder des langsamen Geschehens auf die Struktur schon lange bekannt und eingehend erläutert.

Ich verweise nur kurz auf die wichtigen Unterschiede der Struktur einer langsamen und einer rasch abgekühlten Eruptionsmasse. In der Tektonik und Morphologie ist dagegen eine Unterscheidung zwischen schnell oder langsam ausgeführten Bauwerken durchaus nicht ebenso klar und lebendig.

Es würde hier zu weit führen, näher auf diese Unterscheidungen einzugehen.

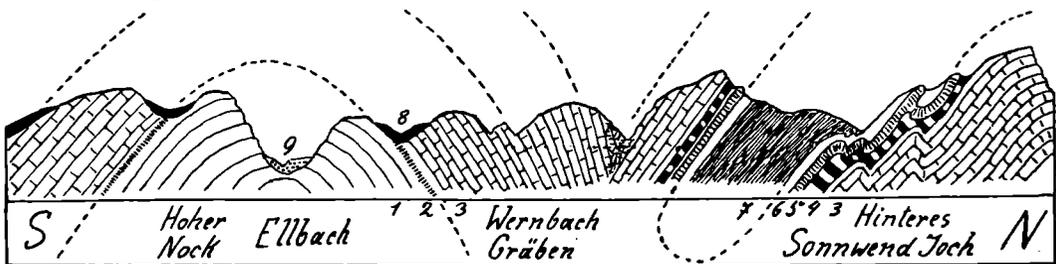


Fig. 6.

1 = Wettersteinkalk, 2 = Raibler Sch., 3 = Hauptdolomit, 4 = Kössener Sch., 5 = Oberrät-kalk, 6 = Jura Sch., 7 = Neokom, 8 = Gosau Sch., 9 = Bändertone — Sand — Schotter. Die ursprünglich einfache Bauordnung von Sattel und Mulde wurde von der vorgosauischen Erosion tief zerschnitten und von der jüngeren Faltung dann nicht mehr befolgt.

Im allgemeinen kann man etwa sagen, daß rasch aufgeführte Bauwerke viel mehr Zonen von Gesteinszertrümmerungen enthalten, deren Klüfte und Fugen nicht oder nur mangelhaft mit Mineral-substanzen verheilt wurden. Während langsame Biegungen oder Streckungen oder Verschiebungen . . . dem Material und seinen Lösungen die zur Anpassung und inneren Umformung nötige Zeit gewähren, ist dies bei raschen Bewegungen nicht mehr der Fall. Es werden daher solche rasch und meist brechend umgeformte Gesteinsmassen dem Angriff der Erosion unter sonst gleichen Umständen viel-mals mehr offene Fugen darbieten als etwa gut verheilte Gesteine, bei denen nicht selten sogar die Verheilungen widerstandsfähiger als das Muttergestein geworden sind.

Dabei ist nicht zu vergessen, daß dieselben Niederschläge, welche in den oberen Teilen einer Erhebung die Zerstörung und Abtragung

der Schichten bewirken, gleichzeitig in größerer Tiefe vielleicht an der Verkittung und Verheilung der Klüfte weiterarbeiten können.

Nach diesen mehr allgemeinen Erörterungen der Beziehungen zwischen Tektonik und Erosion will ich nun zur Besprechung einiger Einzelfälle übergehen, ohne hierbei etwa eine Vollzähligkeit anstreben zu wollen.

Wir können in den Alpen und auch in anderen Gebirgen nicht selten Profile beobachten, welche einen einfachen Grundplan besitzen, jedoch im Detail dann eine recht unregelmäßige Bauausführung zeigen. Ich lege als Muster dafür zunächst ein Querprofil durch das Gebiet der Brandenberger Gosau im Unterinntal vor.

Wie Fig. 6 zeigt, ist das einfache Faltenprofil teilweise bis auf den Wettersteinkalk hinab abgetragen und dann mit Gosauschichten zugedeckt worden.

Die tertiären Gebirgsbewegungen haben dann das ganze Gebiet neuerdings faltend und schiebend umgeformt.

Diese Neubauten stellen nun nicht einfach Fortsetzungen der Altbauten vor, sondern lassen ganz charakteristische Abweichungen erkennen. Aus der Verbiegung der Gosauschichten zu Mulden lesen wir ab, daß dies nicht durch Mitfaltung des Grundgebirges, sondern durch ungleiche Verschiebungen der angeschnittenen Schichten erreicht worden ist.

Wenn man bedenkt, wie hier die Erosion die vorliegenden Falten des Grundgebirges tief abgetragen und dabei vor allem die Gewölbe zerschnitten hat, so wird man begreifen, daß die Weiterfaltung nun ganz anders als bei unzerschnittenem Zusammenhang verlaufen mußte.

So bleibt zwar der Grundplan erhalten, aber die Detailausführung paßt nicht mehr genau dazu.

Man kann dieses Verhältnis allgemeiner als »Lockerung der tektonischen Disziplin« bezeichnen.

Es tritt vielfach an Stellen zutage, wo durch das Eingreifen der Erosion die ehemaligen strengen Zusammenhänge eben zerschnitten worden sind.

Hat man einmal den Typus dieser Störungen erkannt, so ist man oft in der Lage, auch wenn keine anderen Anzeichen der alten Erosionswirkungen mehr da sind, aus solchen Lockerungen der tektonischen Disziplin auf ihr Vorhandensein zu schließen.

Eine andere ebenfalls hierhergehörige Wirkung von alten Erosions-eingriffen soll Fig. 7 zur Darstellung bringen.

Es ist ein Ausschnitt aus dem schönen Querprofil des Jura, welches Buxtorf im Jahre 1916 zur Veröffentlichung gebracht hat.

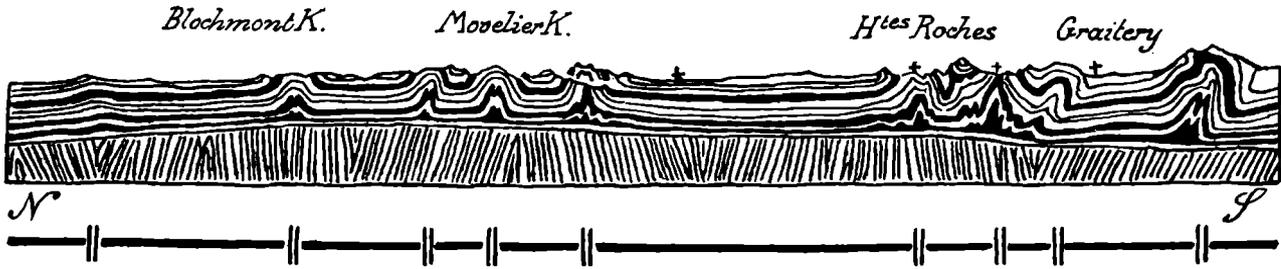


Fig. 7. Verkleinerter Ausschnitt aus dem Juraprofil von A. Buxtorf.

Die Trias-Tertiär-Schichten bilden über dem alten, steilgefalteten Grundgebirge eine Abscherungsdecke. Trotz der regelmäßigen Schichtfolge ist die Bauordnung sehr unregelmäßig. Insbesondere sind die Sättel gegenüber den Mulden zu schmal angelegt und zu ungleich verteilt. Ungleiche ältere Taleinschnitte können die Ursache dieser Bauverzerrung sein.

Wenn wir die hier dargestellten tektonischen Formen betrachten, so tritt zunächst der Charakter einer Abscherungsdecke aufs deutlichste hervor. Daneben zeigt sich aber in den Abmessungen der einzelnen Muldenstücke untereinander und insbesondere gegenüber den zugehörigen Sattelstücken eine bei dem sehr regelmäßigen Schichtenbau unverständlich verschiedene Größenordnung.

Viel leichter begreifbar wird diese eigentümliche Bauanordnung, wenn man die Annahme macht, daß eine vorhergehende Erosion bereits entsprechend tiefe Kerben eingeschnitten hatte, deren Abstände nicht gleichmäßig waren. Diese Kerben wurden dann bei der Zusammenpressung als leichtest zu biegende Stellen vor allem zu Sattelzonen ausgebaut.

Die Einkerbungen ermöglichen dabei auch eine viel engere und schärfere Abbiegung als es mit unzerschnittenen Schichten je möglich wäre.

Dadurch erklären sich auch die auffallend schmalen und steilen Sättel zwischen den flachen und breiten Mulden.

Verstärkt wird diese Wirkung der Kerben im Juragebirge außerdem noch durch die Aufpressung der leicht beweglichen Massen der salzföhrnden Anhydritgruppe, welche gleichsam von unten in die Aufsattelungen hineingepumpt werden.

Auch das häufige Zusammenfallen von tektonischen Sattelzonen mit Talläufen sowie die Zuordnung von Überschiebungen kann man als weitere Bestätigungen für hier vorhandene Kerbwirkungen in Anspruch nehmen.

Endlich ist auch zu fragen, ob nicht etwa die »Klusen« des Faltenjura durch alte Kerben vorgezeichnet waren, welche aber quer zum Streichen der Hauptfalten angelegt waren.

In diesem Falle wäre eine gewisse Verschiedenheit im Bau der beiden auseinandergeschnittenen Gewölbstücke wahrscheinlicher als völlige Gleichheit. Der Einfluß eines alten Taleinschnittes braucht aber beim Fortgang tektonischer Bewegungen nicht so stark zu sein wie in den gerade besprochenen Fällen.

Verlaufen die Einschnitte parallel mit der Fall- oder Schubrichtung, so kann es je nach der Lage in Mulden- oder Sattelzonen zu einer tektonischen Erweiterung oder Verengung des Talquerschnittes (Fig. 8) kommen.

Das kann wieder mehrfache für die Morphologie in Betracht kommende Wirkungen haben.

Vor allem gibt der heute vorliegende Querschnitt in einem solchen Falle kein richtiges Maß für die hier vollzogene Erosionsleistung.

Hat sich das Tal tektonisch verengert, so ist von der Erosion mehr weggeführt worden, als dem jetzigen Querschnitt entspricht, hat sich aber das Tal verbreitert, so gilt das Umgekehrte.

Außerdem ist aber auch noch die Neigung der Seitenhänge verändert worden, wobei eine Versteilung vielleicht auch noch zu Bergstürzen führen kann.

Es ist möglich, daß sich solche Auf- oder Zuklappungen von Tälern ohne gleichzeitige Hebung oder Senkung der Talsohle vollziehen.

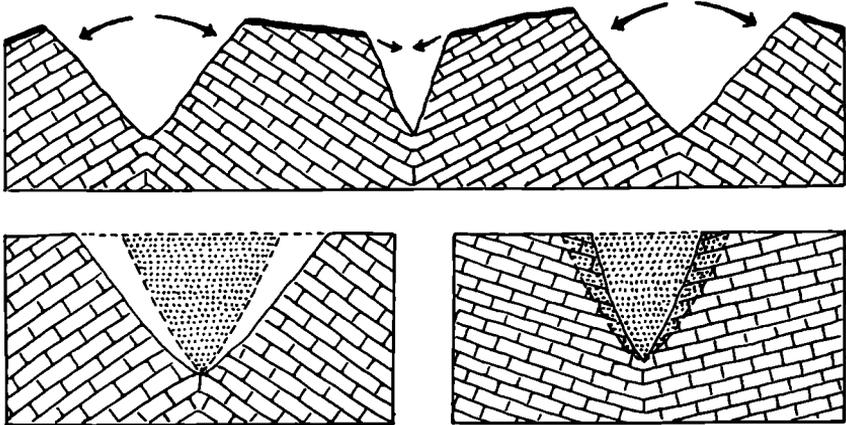


Fig. 8. Weiterverbiegung eines bereits gekerbten Reliefs. Entstehung von auf- und zuklappenden Tälern. Die Punktierung soll schematisch den Betrag der jeweils wirklich von der Erosion entfernten Gesteinsmassen angeben.

Wahrscheinlicher ist es aber, daß sich bei Aufklappungen die Talsohle mithebt und bei Zuklappungen mitsenkt (Fig. 10).

Dadurch erhält man wieder einen größeren Komplex von Zusammengehörigkeiten, welcher das Erkennen und Abgrenzen solcher Vorgänge etwas erleichtern kann.

In einzelnen Fällen gewähren an den Seitenhängen eines Tales alte Schuttablagerungen einen gewissen Anhalt, um solche Verbiegungen von Berghängen festzustellen.

In den Kalkalpen kommen hierfür in erster Linie die weitverbreiteten Gehängebreccien in Betracht, welche oft hoch hinauf die Hänge überkleiden. Das bekannteste Beispiel dafür ist die interglaziale Höttingerbreccie nördlich von Innsbruck.

Wie Fig. 9 zeigt, stimmt die Lage der Breccie mit dem heutigen Relief nicht genau zusammen.

In den oberen Hängen liegen die Taleinschnitte noch ganz in der Breccie, dagegen schneiden dieselben in den mittleren und unteren durch die mächtige Brecciendecke ins Grundgebirge ein. Man kann dies nur mit der Annahme erklären, daß zur Zeit der Gehängeverschüttung das Gebirge in den oberen Teilen steiler, in den mittleren und unteren aber flacher als heute gebaut war. Es ist aber ebenso gut möglich, darin den Ausdruck einer Verbiegung des Berggehänges zu sehen. Solche Verbiegungen wirken innerhalb eines steilen Reliefs insofern mehr, als bei größeren Neigungen bald die Grenze überschritten werden kann, wo leichter bewegliche Massen schon ihre Standfestigkeit verlieren.

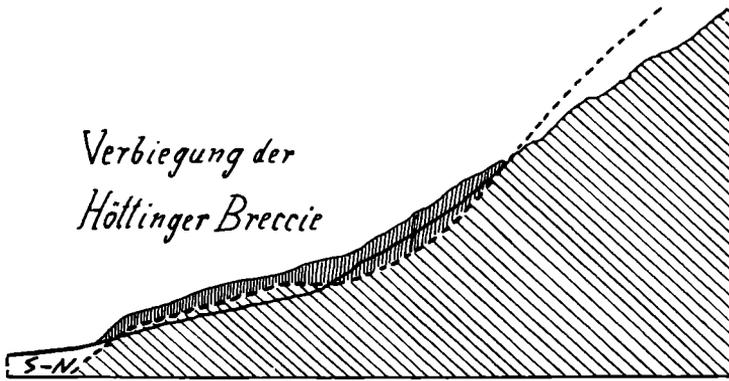


Fig. 9. Senkrechte Schraffen = Höttinger Breccie, schräge Schraffen = Grundgebirge. Die Strichlinie gibt die Auflagerungsgrenze der Höttinger Breccie an, die volle Linie die heutige Talsohle.

Durch Verbiegungen eines steilflächigen Reliefs werden im allgemeinen seine Formen merkbar einseitiger gemacht. Dadurch wird der Fortschritt der Erosion auf der einen Seite beschleunigt, auf der andern verzögert. Die Wirkungen können hier, wie Fig. 10 darlegen soll, recht merkwürdig sein. Wenn z. B. mit einer Hebung der Talsohle eine Verflachung der Seitenhänge oder mit einer Senkung eine Versteilung derselben verbunden ist, so kann es im ersten Fall zum Einschneiden einer Klamm in der verbreiterten Talform und zur Aufschüttung in der verengerten Form kommen. Die Verbiegungen dürften, soweit es bis jetzt bekannt ist, wohl meist im Verhältnisse zu ihrer Ausdehnung ziemlich geringfügig sein. Daher ist auch eine stark zertrümmernde Wirkung auf die Schichten nicht zu erwarten. Es ist aber wahrscheinlich, daß die Verbiegungen gelegentlich auch mit schroffern Ausdrucksmitteln der Tektonik in Verbindung treten.

Als solche kommen vor allem Verwerfungen, Verschiebungen und Zertrümmerungszonen in Betracht. Hier sind nun wieder zahlreiche Möglichkeiten offen, je nachdem die Verbiegungen mit den anderen schrofferen Umformungen in Zeit und Raum zusammenspielen.

Für die morphologische Wirkung bleibt der Umstand entscheidend, ob jeweils die tektonische Umformung die Arbeit der Erosion unterstützt oder verzögert.

Da zeigt es sich nun, daß im allgemeinen die schrofferen tektonischen Umformungen der Erosion viel zahlreichere und bessere Angriffsstellen eröffnen als die sanfteren.

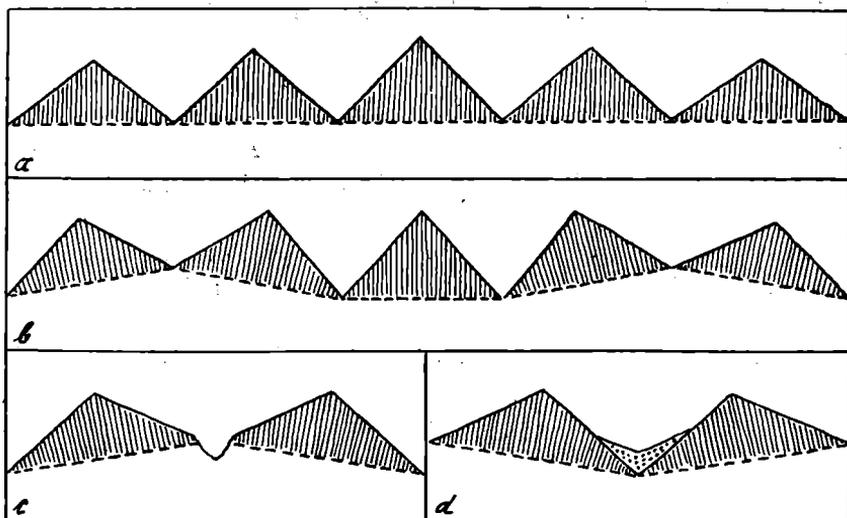


Fig. 10. Verbiegung eines Reliefs. In die gehobenen Talsohlen werden Klammern eingeschnitten, in die gesenkten wird Schutt eingefüllt.

Zugleich wirken die ersteren vielfach auf die Gesteine zertrümmernd ein, wodurch sie der Erosion mächtig Vorschub leisten, indem sie ihr etwas vom Schwersten, nämlich die Aufbereitung fester Gesteinsmassen zu gut beweglichem Bruchschutte abnehmen.

An solchen Stellen macht daher die Erosion unter sonst gleichen Umständen große Fortschritte und erzeugt eine rasch wechselnde Formenwelt. Umgekehrt wirkt eine sanfte Tektonik auf die Erhaltung von Oberflächen mehr konservierend ein.

So zeigen uns oft die Bereiche von gut erhaltenen alten Oberflächenstücken, also »Altformen«, auch Gebiete sanfter Tektonik und jene der lebhaften Neuformung, also »Neuformen«, solche von schrofferer Tektonik an.

Es ist also festzuhalten, daß z. B. nicht allein das Ausmaß einer Hebung, sondern auch ihre Detailausführung morphologische Bedeutung hat.

Wenn wir bei der Unterscheidung von Ur- und Folgetektonik bleiben, so stoßen wir manchmal auf Formen, welche gleichsam ein morphologisches Niveau vortäuschen. Wir können nicht selten die Anlage eines weit gespannten Gewölbes oder einer solchen Mulde als Urform beobachten.

Die weitere Ausgestaltung läßt aber dann häufig diese Grundform weder weiterwachsen, noch etwa gar in ihrer Eigenart verstärken. Im Gegenteil, wie Fig. 11 angibt, bemerken wir in vielen Fällen deutlich eine Auflösung von großen Bauformen in mehrere kleinere, also eine Herabsetzung der Höhenspannung des geplanten Bauwerkes. Es wird also durch die Nachfolgetektonik vielfach die großzügige Bauanlage der Urtektonik nur als ein Stückwerk zur Ausführung gebracht.

Es macht den Eindruck, als ob die sehr hohen und sehr tiefen Formen gleicherweise nicht bestandfähig wären.

Diese Formen werden hier aber offenbar nicht durch Erosion, sondern durch die Tektonik selbst verkleinert und einnivelliert. Wahrscheinlich handelt es sich dabei doch um eine Art von isostatischem Ausgleich. Etwas ähnliches kann man schließlich ja auch von der Faltung sagen, wenn man dieselbe als eine vielfältig versuchte Einstellung auf ein bestimmtes Massenniveau betrachtet. Die Erkenntnis, daß von den tektonischen Bauformen selbst schon ein gewisses Maß von Gleichgewicht offenbar angestrebt wird, ist z. B. von Bedeutung für die Beurteilung der Entstehung der sog. »Gipfelflur«. Es ist nicht richtig, die Herstellung einer Gipfelflur lediglich als eine Angelegenheit der vorschreitenden Erosion hinzustellen. Eine gewisse, rein tektonisch besorgte Einstellung auf ein Massenniveau liegt schon den jeweils benachbarten Bauwerken zugrunde.

Man kann nun wohl Zweifel haben, ob die Empfindlichkeit der Erdhaut für Gleichgewichtsstörungen wirklich derart fein ist, um bereits auf so unbedeutende Unterschiede zu reagieren. Nach meiner Meinung ist dies auch im allgemeinen nicht der Fall, wohl aber zu Zeiten der Gebirgsbildungen, wo eben der ganze Untergrund der Gebirgszonen von Bewegungen und von Wärme durchflutet und daher für Gleichgewichtsstörungen viel empfindlicher gemacht ist.

Die moderne Tektonik rechnet z. B. bei der Bildung der Alpen mit einer mehrfachen Übereinanderschichtung von ausgedehnten Gesteinsmassen. Dies ergibt eine gewaltige Mehrbelastung und muß

vom Standpunkte der Isostasie aus zu einer Senkung des Untergrundes und zu einer Aufpressung der Umgebung führen.

Die Abtragung arbeitet nun der Tektonik entgegen und vermindert im Gebirgsraum die Belastung und verschiebt dieselbe in dessen Vorland hinaus. Als Folge müßte sich wieder der Gebirgsraum heben

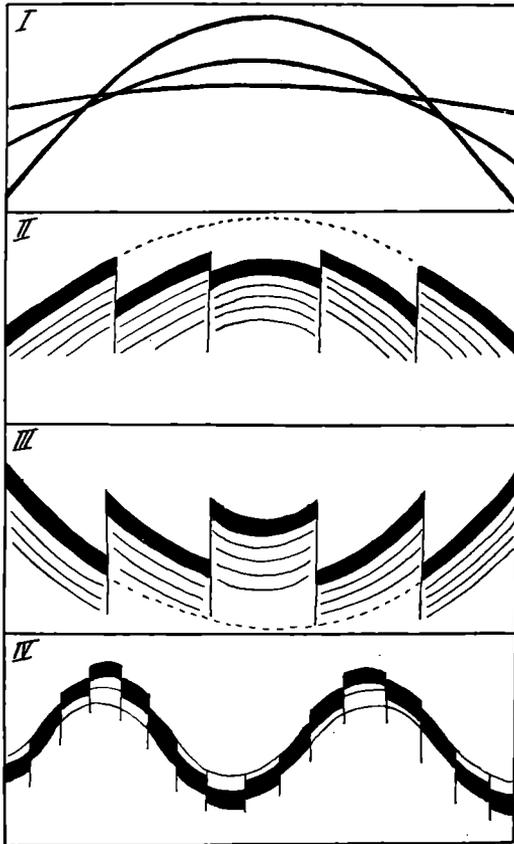


Fig. 11.

I = Weiterbau einer Wölbung im gleichen Bauplan; II, III = Weiterbau eines Gewölbes und einer Mulde in niedrigeren Kleinformen; IV = Weiterbau von Gewölben und Mulden in höheren Kleinformen.

und sein Vorland sich senken. Dieses Spiel käme ohne neuerliches Eingreifen der Tektonik erst zum Stillstand, wenn die Überlastung im wesentlichen abgetragen und auf viel weitere Räume verteilt wäre. Eine Unterbrechung und Umkehrung würde dieser Mechanismus durch die Eiszeiten erfahren.

Die Großvergletscherungen stellen eine ziemliche Mehrbelastung vor und würden also eine Senkung des Gebirgsraumes gegenüber dem eisfreien Vorland verlangen.

Diese Senkung hätte dann beim Schwinden der Vergletscherung jeweils wieder einer Hebung Platz zu machen.

Die morphologischen Erfahrungen scheinen mit den Grundzügen dieser Mechanik nicht in Widerspruch zu stehen.

Wir sehen zumeist die ältesten Oberflächen am höchsten liegen und die jüngeren sich immer tiefer darunter einordnen.

Dies kann als Ausdruck einer fortschreitenden Heraushebung des immer leichter werdenden Gebirgskörpers wohl verstanden werden. Es gilt diese Anordnung der älteren Flächen über den jüngeren aber nicht nur für die in Fels eingeschnittenen Verebnungen, sondern auch für die Schotterterrassen in und vor den Alpen.

Auch hier liegen im allgemeinen die Oberflächen der älteren Aufschüttungen höher als jene der jüngeren.

Innerhalb der Alpen haben wir aber auch sowohl durch viele Seen als auch durch tiefe Talverschüttungen sicher nachgewiesene rückfällige Bewegungen, welche allerdings gegenüber den Anzeichen der Heraushebungen bescheiden genannt werden müssen.

Trotz dieser auffallenden Übereinstimmung der morphologischen Ergebnisse mit der einfachen Mechanik einer Belastungs- und Entlastungs-Isostasie mahnen doch manche Beobachtungen zur Vorsicht. Zunächst sollte der Heraushebung des Alpenkörpers eine Senkung ihres Vorlandes entsprechen, was nicht stimmt. Dann stehen der ununterbrochenen Abtragsleistung der Erosion die offenbar nur ruckweisen und nach längeren Pausen auftretenden Hebungen gegenüber.

Die Ansicht von dem mehr ruckweisen Auftreten von Hebungen zwischen langen Ruhepausen stützt sich vor allem auf das mehr oder minder regelmäßige Vorkommen von Unstetigkeiten im Verlauf der Talsohlen und der Berggehänge. Über das Vorkommen von auffallenden Unstetigkeiten im Relief der Alpen kann ebensowenig ein Zweifel sein wie über ihre weitgehende Unabhängigkeit von dem Durchstreichen härterer und weicherer Gesteinszüge.

Die Anordnung dieser Unstetigkeiten hat in vielen Alpentälern ganz schematisch etwa die Form von Fig. 12.

Es können auch mehr oder weniger solcher Stufen sein und ebenso ist ihre Deutlichkeit großen Schwankungen unterworfen.

Wichtig bleibt, daß sich die Stufen in der Talsohle als Stufen in den Seitenhängen fortsetzen, wobei diese Stufengürtel eine jeweils ziemlich konstante Höhe einhalten.

Würden diese Stufen vom Wechsel zwischen weicheren und härteren Schichten abhängen, so könnte sich eine solche Anordnung nur in Gebieten mit horizontalen oder wenig geneigten Schichten entwickeln.

Wir finden dieselbe aber gerade oft besonders deutlich in Gebieten mit steiler Schichtstellung oder in solchen, welche ganz aus einer und derselben Gesteinsart gebildet sind.

Unschwer und anschaulich lassen sich diese Unstetigkeiten durch Untereinanderschaltung mehrerer immer schmälerer Talformen erklären. Diese Schaltung kann durch entsprechende raschere Hebungen herbeigeführt werden. Dieselben stellen zwar die Abtragung in dem ganzen Gebiete durchaus nicht ein, wohl aber zwingen sie den Fluß

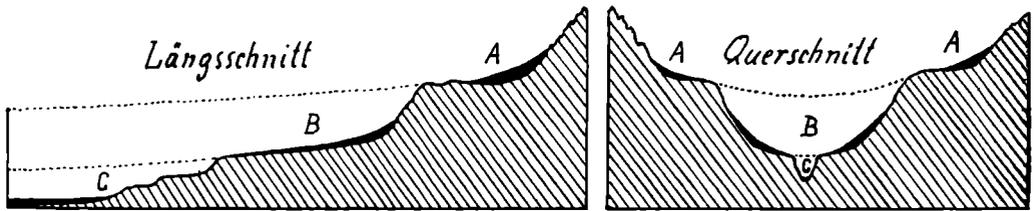


Fig. 12. Schräge Schraffen = Grundgebirge, schwarze Flächen = Schuttansammlungen.

oder Bach, seine Hauptarbeit auf Schaffung eines neuen, tieferen Niveaus zu verlegen. Dieses wandert dann allmählich klammartig gegen den Hintergrund der Täler hinein.

Da aber zugleich die Bearbeitung der Seitenhänge auch auf dieses tiefere Niveau soweit als möglich eingestellt wird, so gehen die früheren Formen mit Ausnahme von geschonten Stellen zugrunde. Diese Deutung setzt bei ungefähr gleichbleibender Erosionskraft zwischen den einzelnen Hebungen jedenfalls verhältnismäßig lange Ruhepausen voraus.

Würden die Hebungen zeitlich nahe aneinanderschließen, so wäre nicht einzusehen, warum eine so stark betonte Gliederung in Stufen und nicht ein einheitliches Relief zustande käme. Von der langen Dauer der tektonischen Ruhepausen überzeugen uns weiter die noch vielfach erhaltenen Reste von gehobenen Verebnungsflächen, welche quer durch alle möglichen Schichtstrukturen hindurch ihre Verbindungen gebrochen und ausgeweitet haben.

Es steht somit der unausgesetzten Abtragung und Entlastung der Gebirgskörper keine ebenso ununterbrochene Heraushebung, sondern nur eine in langen Pausen ruckweise wirkende gegenüber.

Dabei ist unter ruckweiser Hebung auch nicht mehr als eine relativ raschere Hebung gemeint. Über diese Schwierigkeit kommt man wahrscheinlich hinweg, wenn man den in der modernen Physik wichtigen Begriff eines »Wirkungsquantums« in die Betrachtung einführt.

Die Vorgänge der Belastung und Entlastung der Erdoberfläche vermögen nicht sofort einen entgegengesetzten Massenausgleichsstrom im Erdinnern zu erregen, sondern es ist dazu die Erreichung einer ziemlich hohen Spannung nötig.

Ist diese Spannung einmal überschritten, so geht die Entladung der Ausgleichsströmung dann vergleichsweise rasch von statten.

Diese Annahme würde nicht nur die periodische Wirkungsweise, sondern auch ihr immer verspätetes Eingreifen sowie die Auslösbarkeit durch einen geringfügigen Anlaß erklärbar machen.

Andererseits stimmt aber die Form mancher heute genauer bekannten Verbiegung nicht mit solchen ihrer Natur nach weit ausgedehnten und einfachen Hebungen oder Senkungen überein.

Zumindest muß es daneben auch noch viel enger begrenzte Ein- und Aufbiegungen geben, wie uns z. B. einerseits durch die Gosau- und Tertiärmulden, andererseits durch die viel jüngeren lokalen Talverbiegungen sicher bewiesen wird.

Das sind Formen, welche man mit isostatischen Bewegungen allein nicht zu erklären vermag. Hier steht der Zusammenarbeit von Tektonik und Morphologie noch ein weites Forschungsgebiet offen.

Zum Schlusse aber möchte ich noch sagen, daß die Beziehungen zwischen Tektonik und Morphologie so vielfache und so enge sind, daß eine Tektonik, welche die Hilfsmittel der Morphologie nicht mit verwendet oder umgekehrt eine Morphologie ohne stete Fühlung mit der Tektonik doch nur halbe Sachen bleiben.

Wien, Ostern 1925.

---