Zeitschrift: Mitteilungen der Geographisch-Ethnographischen Gesellschaft Zürich
Band: 26 (1925-1926)

Artikel: Morphologische Analyse
Autor: Machatscheck, Fritz
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-20942

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

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

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

Download PDF: 29.07.2025

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

Morphologische Analyse.[1]

Als Walther Penck am 29. September 1923 im Alter von erst 35 Jahren starb, hatten Geologie und Geomorphologie den Tod eines ihrer hoffnungsvollsten Vertreter zu beklagen, dessen Leistungen seinen Aufstieg zu einem der führenden Geister beider Wissenschaften erwarten ließen. Schon seit Jahren hatte er sich neben petrographischen und geologischen Fragen regionaler Natur mit dem Problem des Ablaufs von Krustenbewegungen und ihrer Bedeutung für die Entwicklung der Landformen beschäftigt und darüber eine vielbemerkte kurze Abhandlung veröffentlicht, die ganz neue Ausblicke eröffnete. Das nunmehr nach seinem Tode von seinem Vater Albrecht Penck herausgegebene Buch enthält alles das, was W. Penck über diesen Gegenstand noch zu vollenden vermochte; da ihm morphologische Untersuchungen nur als Weg zu geologischer Erkenntnis dienten und er in einem zweiten Teil die Ursachen der Krustenbewegungen zu behandeln gedachte, ist das vorliegende Buch zwar nur ein Bruchstück, aber doch in sich geschlossen. Die hier vorgetragenen Anschauungen sind so inhaltsreich und bedeuten einen so gewaltigen Fortschritt für die morphologische Betrachtungsweise, daß mir ihre eingehendere Würdigung auch für einen weiteren geographischen Kreis angezeigt erscheint.

W. Penck geht aus von der Erdoberfläche als der Grenzfläche verschiedener, einander entgegenarbeitender Kräfte, der endogenen, die ein Stück der Erdrinde emporheben oder es versenken, und der exogenen, die danach trachten, die gehobenen Teile abzutragen oder durch Verfrachtung von Material Senken auszufüllen. Jede Abtragungsform ist daher das Ergebnis des Kräfteverhältnisses dieser entgegengesetzt gerichteten Prozesse und die morphologische Untersuchung hat nach physikalischen Methoden dieses Verhältnis festzustellen. Der Beobachtung unmittelbar zugänglich sind aber nur die exogenen Vorgänge und das freilich nur lückenhaft bekannte morphologische Tatsachenmaterial; die Aufgabe der morpholo-

[1]) Walther Penck, Die morphologische Analyse. Ein Kapitel der physikalischen Geologie. Mit einem Vorwort von Albrecht Penck. XVIII. + 283 S. mit 1 Bildnis, 12 Taf. u. 21 Abb. im Text. Geogr. Abh., 2. Reihe, H. 2. Stuttgart, Engelhorns Nachf. 1924.

gischen Analyse besteht also darin, aus diesen beiden Erscheinungskomplexen „den nicht direkt beobachtbaren Ablauf der Krustenbewegungen zu erschließen.“ Ein ganz anderes, rein geographisches Ziel, die systematische erklärende Beschreibung der Landformen, verfolgt die von W. M. Davis begründete Lehre vom Erosionszyklus, die die Formen in eine Entwicklungsreihe anordnet und den Ablauf der Abtragungsvorgänge und -formen verfolgt, wobei das Wesen dieser Vorgänge im allgemeinen bereits als gesicherter Besitz des Wissens betrachtet wird. Aber dieses Verfahren trennt auch zeitlich endogene und exogene Vorgänge und macht in der Regel zur Voraussetzung nur den einfachen Fall unter vielen möglichen, daß nach einer Periode kurzer Hebung die weitere Abtragung bis zur Endrumpffläche bei tektonischer Ruhe vor sich geht. In Wahrheit aber wirkt dem endogenen Aufbau die Abtragung von allem Anfang an entgegen, und da die Krustenbewegung niemals gleichförmig mit einer bestimmten Geschwindigkeit anheben kann, also die beiden gleichzeitig wirkenden Kräftegruppen offenbar ungleichförmig sind, nämlich in aufeinanderfolgenden Zeiteinheiten ihre Intensitäten verändern, ist ein stetiges Verfolgen ihrer Leistungen und ihres beständig wechselnden Intensitätsverhältnisses erforderlich.

Von den endogenen Bedingungen der Abtragungsformen kommen für diese Art der morphologischen Betrachtung zunächst gewisse statische Zustände in Betracht. Dahin gehören: Zusammensetzung und Struktur der Erdkruste, vor allem die Trennung von gefaltetem Unterbau und ungefaltetem Oberbau und die Unterscheidung von labilen Zonen und starren Kontinentalmassiven, die im Lauf der geologischen Entwicklung auf Kosten der ersteren gewachsen sind. Jene erscheinen heute vorwiegend als Gebirgsgürtel und als Zonen verhältnismäßig junger Faltung. Aber es besteht kein Parallelismus zwischen Intensität der Faltung und dem Ausmaß der Höhengestaltung. Schichtfaltung und Heraushebung eines Faltengürtels sind, wie heute schon fast allgemein anerkannt wird, zwei durchaus verschiedene Begriffe und es ist eine die Schichtfaltung fortsetzende „Großfaltung“ der für die Höhengestaltung der Gebirgsgürtel und ihre Gliederung in Ketten und Längstäler oder Senken maßgebende Vorgang.

Die exogenen Prozesse setzen sich aus zwei Gruppen zusammen; die erste, die bisher zu wenig beachtete Voraussetzung für jeden Abtragungsvorgang, umfaßt als *Gesteinsaufbereitung* jene Prozesse, die durch Lockerung des Gesteinsgefüges auf die Überführung von Massen in den transportabeln Zustand hinarbeiten; die zweite Gruppe die *Verlagerung* dieser aufbereiteten Massen. In einem umfangreichen Kapitel behandelt W. Penck unter vielfach neuen Gesichtspunkten die mechanische und chemische Verwitterung, die auch im ariden Klima bedeutsame eigentliche Lösung, ferner die selektive Verwitterung, durch die mit der Zeit eine Anpassung der Formen an die stofflichen Verschiedenheiten sich vollzieht, dann die Bedeutung der Pflanzen- und Schuttdecke für die Minderung der Exposition gegen die

Verwitterung und der Korngröße für die Beweglichkeit von Schutt und Boden. In Abhängigkeit von den morphologischen Klimatypen ergibt sich eine bestimmte Folge von klimatischen Bodenzonen vom Pol zum Äquator, für deren Abgrenzung dem Regenfaktor von Lang, der nur die absolute Niederschlagsmenge, nicht auch ihre jahreszeitliche Verteilung und die Größe der Verdunstung berücksichtigt, allerdings zu große Bedeutung zugemessen wird. Da alle Verwitterungszonen mit fortschreitender Abtragung nach abwärts rücken, so findet damit eine stete Erneuerung der Exposition gegen die Verwitterung statt, und zwar umso rascher, je intensiver die Abtragung wirkt. Steht diese nahezu still, so muß es zu akkumulativer Verwitterung kommen. Daher steht auch die Anordnung und Art der Verwitterungsmassen in Abhängigkeit vom Grad der Böschung; es wächst ihre Mächtigkeit mit abnehmender Steilheit der Unterlage und es sind an steiler werdenden Hängen jeweils nur die unteren Horizonte eines normalen Bodenprofils an der Oberfläche entwickelt. Nach W. Penck gilt das auch von den Granitblockmeeren der Mittelgebirge, die keine diluvialen, periglazialen Bildungen (Lozinski), sondern an bestimmte Gesteinsarten und Böschungswinkel und damit an eine bestimmte Beweglichkeit gebunden sind.

Massenbewegungen sind spontan oder unter Mitwirkung eines Mediums vor sich gehende Gravitationsströme; ihnen wirkt die Reibung entgegen, die mit wachsender Steilheit des Untergrundes abnimmt. Durch gegenseitige Abnutzung (Attrition) wird aber die Korngröße der Massenbestandteile nach abwärts kleiner, zugleich werden diese etwas abgerundet, so daß auch bei sehr kleinem Gefälle noch die Bedingungen zur Bewegung gegeben sind, namentlich wenn Durchfeuchtung die Beweglichkeit erhöht. Diese wird (entgegen Passarge) auch durch Waldbedeckung und überhaupt durch Pflanzenwurzelung nicht gehemmt, da auch in Waldgebieten dieselbe Beziehung zwischen Steilheit der Böschungen und Mächtigkeit und Art des Bodenbelags beobachtet wird wie in waldfreien Räumen.

Als Motoren der Bewegung lockerer Massen wirken entweder eine *Gewichtszunahme*, wozu namentlich auch die Wasseraufnahme gehört, oder *Volumschwankungen*, die sich infolge von Temperaturschwankungen oder bei abwechselnder Durchfeuchtung und Austrocknung oder bei abwechselndem Gefrieren und Auftauen des Sickerwassers einstellen, wodurch Feinbewegungen eingeleitet werden. Beide Zustandsänderungen sind in hohem Maße vom Kolloidgehalt des Materials abhängig. Die freien Massenbewegungen vollziehen sich in den bekannten Formen als Abwandern einzelner loser Stücke und Anhäufung in den Schutthalden, als Bergstürze, Bergschlipfe und verwandte Erscheinungen, als langsames Wandern trockenen Insolationsschutts, als Fließen durchtränkten Schuttes, als Rutschungen, Gekrieche und polares Schuttfließen. Mit allen diesen Bewegungen ist eine flächenhafte Abtragung und mechanische Beanspruchung des Untergrundes, das Auslösen gelockerter

Gesteinsstücke aus ihrem Bildungsort *(Korrasion)*, verbunden, die vom Gewicht und der Geschwindigkeit der Massen, vom Gesteinsgefüge und der Größe der Böschung abhängt. Besonders dort, wo solche korradierende Massen in bestimmten Betten zu Strömen zusammengefaßt sind, entfalten sie auch eine nahezu linienhafte Schurftätigkeit; es entstehen die sogenannten *Korrasionstäler,* breite, seichte, bachbettlose Talungen oder auch schmälere, steilere Furchen, die Schmitthenner als Dellen beschrieben, aber vorwiegend auf die Wirkung von Rieselwasser zurückgeführt hat; jedenfalls können sie die Bildung eigentlicher Täler einleiten. Auf die mechanische Beanspruchung der Gesteinsoberfläche in den Bahnen bewegter Medien (Wasser, Eis, Wind) ist der Ausdruck *Erosion* zu beschränken; *Denudation* aber ist die Entblößung neuer Gesteinsoberflächen durch Fortführung der bei der Gesteinsaufbereitung losgelösten Partikel. Daher scheiden sich auf der Landoberfläche Gebiete vorherrschender Denudation, die *Flächen* von Abdachungen, von solchen vorherrschender Erosion und Korrasion, wo sich die Abtragung *linienhaft* konzentriert; durch sie erfahren die Denudationsräume eine immer weiter gehende Gliederung und zugleich Vergrößerung, und damit wächst auch bei sonst gleichen Umständen das Gesamtausmaß der Abtragung. Da nun solche Massenbewegungen in allen Klimaten und auf allen Abdachungen vor sich gehen, die einen bestimmten Grenzwert (weniger als 5^0) überschreiten, so ist die flächenhafte Abtragung vom Klima unabhängig; *in allen Klimaten entstehen notwendig dieselben Landformen* bei sonst gleichen Voraussetzungen der endogenen Vorgänge und der Gesteinsbeschaffenheit, aber mit verschiedener Raschheit. Zugleich gehorcht die Entwicklung der Abtragungsformen überall dem gleichen Gesetz der *Abflachung:* Ein geneigtes Flächenstück, das der Abtragung unterworfen ist, kann durch diese insgesamt niemals steiler, sondern nur flacher werden.

Ebenso wie der Abtragung durch Wasser eine absolute untere Grenze gezogen ist und es neben dieser absoluten Erosionsbasis noch allgemeine und örtliche Erosionsbasen gibt, so sind auch entsprechende *Denudationsbasen* zu unterscheiden; denn keine Partie einer Abdachung kann unter das Niveau einer nächst unterhalb gelegenen abgetragen werden. Die allgemeinen Denudationsbasen sind Kurven, längs welchen die Massenbewegungen zur Ruhe kommen; sie sind also identisch mit den Gefällskurven der Gerinne und fallen auch mit den Erosionsbasen zusammen, wenn die Abtragungsflächen diesen unmittelbar entsteigen. Aber sie sind von den Erosionsbasen dort unabhängig, wo aus Gründen verschiedener Gesteinswiderständigkeit oder an der Grenze von Abtragsflächen verschiedenen Alters *Gefällsbrüche* auftreten; diese funktionieren als *örtliche* Denudationsbasen, als Basen für die Abtragung des darüber befindlichen Hangs, und *trennen verschiedene Formensysteme voneinander.* Das führt über zu den grundlegenden Auseinandersetzungen über die *Hangentwicklung.*

Alle Denudationsformen sind ausgezeichnet durch das gesellige Auftreten einheitlicher Böschungswinkel und durch gesellige Verknüpfung gewisser Hangformen, die entweder konkav, wie auf den Rumpfflächen der Stufenlandschaften, oder konvex, wie in den jüngeren Tälern der Mittelgebirge, oder annähernd geradlinig gesteckt sind, wie in den nicht vereist gewesenen Gebirgslandschaften. Das Problem besteht also darin, die gesetzmäßige Anordnung dieser bestimmten Hangprofilformen zu erklären. Zu diesem Zwecke geht W. Penck vom Vorgang der *Hangabflachung* aus: Unter den Angriffen der Abtragung weicht eine Felswand, die unmittelbar über einen nicht erodierenden Fluß aufsteigt, mit gleichbleibender Neigung geländeaufwärts zurück, während gleichzeitig auf ihre Kosten und an ihrem Fuß ein flacherer Hang, der *Haldenhang,* emporwächst, auf dem die von oben stammenden Trümmer abwärtswandern. Dadurch ist ein Gefällsbruch entstanden, der nun als neue, örtliche Denudationsbasis der zurückweichenden Wand dient. Auch der Haldenhang entwickelt sich selbständig weiter; aber auf ihm geht die Abtragung wegen der geringeren Neigung langsamer vonstatten und unter ihm bildet sich ein weiteres, noch flacheres Formsystem; so entstehen unter von unten nach oben fortschreitender Abflachung an der allgemeinen Denudationsbasis immer neue, jeweils flachere Formensysteme, die unter Beibehaltung ihrer Neigung immer weiter zurückweichen, und schließlich entsteht aus dem ursprünglich einheitlich geneigtem Hang ein Hangsystem mit insgesamt *konkaver* Profillinie. Da aber die oberen Teile des ganzen Formsystems für die Gesteinsaufbereitung besser exponiert sind, so tritt an der Verschneidung zweier Hänge zunächst Zurundung der Höhen ein; aber dadurch wird hier die Abtragung verzögert und es erreicht die Abflachung von oben her eine unüberschreitbare Grenze, sobald die unten, durch Bodenanreicherung bewirkte Minderung der Abtragungsintensität derjenigen, die oben durch das verkleinerte Gefälle erzeugt wird, gerade das Gleichgewicht hält; es ist daher völlig ausgeschlossen, daß durch Abflachung von oben her aus Schneiden oder Firsten runde Rücken und aus diesen schließlich Flachformen werden, da ja die Abtragung auf den flachen Rückenhöhen nicht rascher wirken kann als an den steileren Rückenflanken.

Solange die allgemeine Denudationsbasis unverändert bleibt, wird sich das ganze Hangsystem immer weiter vom Fluß einwärts zurückziehen und zwischen ihm und dem Fluß breitet sich als letztes Formsystem eine Böschung mit dem kleinsten Gefälle mehr und mehr geländeeinwärts aus. Soll aber das ursprüngliche Formsystem dauernd mit unveränderter Neigung an die allgemeine Denudationsbasis grenzen, so muß das Gerinne *erodieren;* es richtete sich also die Form der Gehänge auch nach der *Erosionsintensität.* Solange diese konstant *(gleichförmig)* ist und proportional der Abtragungsintensität auf dem angrenzenden Formsystem, behält dieses seine Neigung bei, da seine weitere Abflachung verhindert wird; es entstehen *gerade* Profillinien, deren Neigungswinkel nur von der Geschwindig-

keit des Einschneidens und von der Gesteinsbeschaffenheit abhängt. Dauert diese *gleichförmige Entwicklung* lange genug an, so bilden sich allenthalben geradlinige Profillinien; auch die relativen Höhen werden und bleiben konstant. Erfährt aber die Erosionstätigkeit, zumeist infolge beschleunigter Hebung, eine Beschleunigung, so entstehen, ausgehend von den Gewässerlinien, *konvexe* Gefällsbrüche, die aufwärts wandern; dadurch wird die weitere Entwicklung der höheren, flacheren Formen vom Verhalten der Erosionsbahnen, also von der Erosionsbasis, unabhängig. Zugleich aber werden die relativen Höhen größer; diese Entwicklung nennt W. Penck die *aufsteigende*. Die dabei auftretenden konvexen Gefällsbrüche bezeichnen den oberen Rand; bis zu welchem die jüngeren Formen infolge der Erosionsbeschleunigung zurückgegriffen haben, und zwar krümmen sich die Hänge um so schärfer konvex gegen die Tallinien herab, je rascher die Erosionsintensität wächst. Solche Formen beweisen also nichts für eine Zweiheit der Hebung oder eine ruckweise Zunahme der Erosion, sondern nur eine Zunahme der Erosions- (zumeist infolge der Hebungs-) intensität; eine stetige Ursache erzeugt also eine Unstetigkeit der Form.

Umgekehrt entstehen konkave Gefällsbrüche und Profillinien nicht nur bei konstanter Lage der Denudationsbasis, sondern auch bei Minderung der Erosionsintensität; wird diese Null, so kann die Abflachung bis zum kleinstmöglichen Gefälle fortschreiten. Das ist die *absteigende Entwicklung;* sie ist gekennzeichnet durch eine zunehmende Verringerung der relativen Höhen; ihr Endergebnis ist bei völlig ungestörtem Verlauf die Erdrumpffläche oder Fastebene von Davis.

Komplikationen der Hangentwicklung entstehen durch das Auftreten verschieden widerstandsfähiger Schichtglieder innerhalb einer Abdachung. Es bilden sich, an die Gesteinsgrenzen gebunden, strukturelle Denudationsbasen und Gefällsbrüche, die nicht geländeaufwärts rücken, dann aber normale Gefällsbrüche, die an den strukturellen angelegt werden und von hier aufwärts wandern. Daher müssen auch die Gefällunterschiede zwischen Formensystemen in verschieden rasch abtragbaren Gesteinen umso größer sein, je größer überhaupt die mittlere Hangneigung ist. Daher kommen im Flachrelief, wie auf Rumpfflächen, Gesteinsunterschiede kaum mehr zum Ausdruck. Da aber die mittlere Hangneigung auch ein Ausdruck für die Abtragungsintensität ist, so bestimmt diese auch die Anpassung der Abtragungsformen an die Struktur; daher die subtile Anpassung aller Einzelformen an die Gesteinsverschiedenheiten in einem Steilrelief wie den Alpen.

Als wichtigstes Ergebnis dieser ganzen Ableitung kann also ausgesprochen werden: Die Erosionsintensität bestimmt die Neigung der über das Gewässernetz aufwachsenden Gehänge, konvexe Hangform beweist Zunahme, konkave Abnahme der Erosionsintensität. In der Übereinanderfolge verschieden geneigter Formsysteme ist somit ein empfindliches Mittel gegeben, um die Entwicklung der Erosinsointensität an einer bestimmten Stelle zu verfolgen.

Nach diesen allgemeinen deduktiven Untersuchungen tritt W. Penck an die morphologische Analyse bestimmter Gebiete und Landschaftstypen heran. In der Natur zeigt sich, und zwar stets in gesonderten Räumen, entweder nur *ein* vorwaltender Formtypus, z. B. der Konkavhang in Haupt- und Nebentälern bei schon abgeschlossener Verdichtung des Talnetzes im Bereich der großen kontinentalen Massive, oder es treten, beim gemischten oder zusammengesetzten Formenschatz konkave und konvexe Hangprofile nicht nur über-, sondern auch nebeneinander in derselben Formgemeinschaft auf. Ein Beispiel hiefür und zugleich für die Bedeutung von Gesteinsverschiedenheiten für die Herausbildung eines bestimmten, angepaßten Formenschatzes bieten die *Schichtstufenlandschaften.* Die große Schärfe, mit der ihre Stufen noch entgegentreten, erfordert eine ständige Erneuerung der strukturellen Denudationsbasen durch ein erodierendes Gewässernetz; die zwischen den Stufen auftretenden, eingerumpften Flächen aber setzen hier ein Gewässernetz voraus, welches für die im weniger widerstandsfähigen Gesteinsbereich liegenden Flachhänge als allgemeine Denudationsbasen diente. Es muß also eine ursprüngliche Oberfläche bestanden haben, auf der zwischen dem Ausstrich der harten Schichtglieder die weichen Schichten zutage lagen, in deren Bereich sich eben dieses Gewässernetz entwickelte und aus der das Schichtstufenland herausgeschnitten wurde. Solche strukturell bedingte Rumpfflächen können also in jeder Höhenlage entstehen, wenn nur die härteren Schichten unten, die weicheren darüber liegen; sie sind nicht Formen älterer Anlage, die ihre heutige Höhenlage durch eine erneute Hebung erfahren haben, sondern sind gleichzeitig mit den in tieferen Lagen entwickelten steileren Formen als das Ergebnis der Anpassung an die Gesteinsbeschaffenheit entstanden. Damit berührt sich diese Erklärung der Schichtstufenrümpfe enge mit der wiederholt von Hettner und Schmitthenner vertretenen, die z. B. für die schwäbischen und fränkischen Muschelkalkflächen Abtragung in höherem Niveau und in Abhängigkeit von der größeren Widerstandskraft einer Gesteinsbank annehmen, die als „vorläufige" Denudationsbasis wirkt. [1])

Als den Stufenlandschaften verwandt betrachtet W. Penck die *Inselberglandschaften,* „die Charakterlandschaften der absteigenden Entwicklung". Offenbar sind sie Reste eines einst geschlossenen höheren Landes, die weite Rumpfebenen oft mit auffallend steilen Böschungen überragen. Aber das Hangprofil der Inselberge ist konkav und irrig ist die Vorstellung, daß ihre Flanken mit scharfem Knick gegen die Rumpffläche absetzen. Die absteigende Entwicklung ist hier in den unteren Laufgebieten der Flüsse bereits weithin vollendet, in den obersten der Vollendung nahe. Das setzt ein Verharren der allgemeinen Erosionsbasis in relativ unveränderter Lage durch sehr lange Zeiträume voraus. In den großen kontinentalen Räumen bilden die Inselberglandschaften gewöhnlich eine vermittelnde Zone zwischen

[1]) Siehe Hettner in „Geographische Zeitschr." 1924, S. 288.

einem zentralen Bergland und den umgebenden geschlossenen Rumpfflächen an den großen Gerinnen, sie sind also Reste von wasserscheidenden Höhen, entstanden durch Erlahmen der Erosion in einer Zeit der Abtragung, die von tektonischen Vorgängen nicht beeinflusst war. Da sie in allen Klimazonen vorkommen, haben sie auch nichts mit dem Klima oder mit Klimaschwankungen zu tun, und nur das Fehlen eines Verwitterungsbelags auf den Hängen der Inselberge und den Rumpfflächen in vegetationsarmen Gebieten weist darauf hin, daß in solchen Fällen flächenhafte Abspülung entblößend gewirkt hat, so daß dann die Fußregion eine schärfere konkave Krümmung zeigt, als sie den geschlossen bewachsenen Inselbergen eigen ist.

Ein ganz ähnlicher, wenn auch genetisch verschiedener Formenschatz findet sich in den deutschen *Mittelgebirgen,* allerdings verknüpft mit steileren Formgemeinschaften, die aus jüngeren Tälern aufwärts greifen und die älteren Formen allmählich verdrängen.

So wird die wellige Rumpffläche des Harzes, in die die tiefen Täler mit konvexen Gehängen eingesenkt sind, von dem Rest eines zentralen Berglandes, dem Brocken, überragt, der aber keine Härtlingsgruppe ist. Aber zum Unterschiede von den Inselberglandschaften tragen hier nur die Quellgebiete der Flüsse die Merkmale der absteigenden Entwicklung, während die vom Gebirgsrand eingreifenden Täler durch eine mehrfache Stufung im Längsprofil und durch den Wechsel von konkaven Gehängen in den Weitungen und konvexen in den Verengungen ausgezeichnet sind. Die flachen Formen der oberen Rumpffläche bedeuten aber keinen Endrumpf wie die Ebenen rings um die Inselberge, sondern breiten sich jetzt auf Kosten des zentralen Berglandes aus, dessen höhere Formen aufzehrend, seitdem dieses von der allgemeinen Erosionsbasis durch Einschaltung steilerer Erosionsstrecken abgetrennt und der absteigenden Entwicklung unterworfen ist.

Solche ein zentrales Bergland umgebende Rumpfflächen nennt W. Penck *Piedmontflächen* und spricht von einer *Piedmont-Treppe,* wenn mehrere derartige Flächen stufenförmig übereinander angeordnet sind. Als Beispiel hiefür beschreibt er eingehend die von N auf das Fichtelgebirge hinaufführende Stufung. Stets setzt sich jedes Niveau in Form von alten Talböden in die darüber sich erhebenden Gebiete hinein fort; jede tiefere Fläche ist also Ausgangsniveau für die Zertalung der von der nächst höheren Fläche überspannten Zone gewesen. Jeweils sind die Stufenflächen voneinander durch Zonen mit konvexen Gehängen getrennt, aber jene sind wiederum keine Endrümpfe, sondern aus der zunehmenden Versteilung der darüber befindlichen Hänge während des Anwachsens der Erosion von Null gegen einen Grenzwert entstanden; sie sind das, was W. Penck in dem einleitend erwähnten Aufsatz *Primärrümpfe* nannte, Flächen, die während der ersten Phasen eines Hebungsvorganges zur Aus-

bildung kamen, als die Abtragung jeweils mit der Hebung Schritt hielt, so daß es noch zu keiner Zertalung kam. Nur die höchsten Flächen im Bereich der domförmigen Gipfel gehören einem Endrumpf an. Da nur die untersten Flächen vom Oligozän bedeckt sind, dieses aber schon in die Täler dieser Flächen eingreift, so ist deren Anlage spätestens ins Eozän zu verlegen; die ältesten Flächen dürften schon im Jura entstanden sein und sich seither unter Erhaltung ihrer Art weiter gebildet haben.

Andere Beispiele für eine Piedmonttreppe möchte W. Penck in dem den Alleghanies Nordamerikas vorgelagerten Piedmontplateau mitsamt der atlantischen Küstenebene, sowie in den Rumpfflächen des skandinavischen Gebirges, einschließlich der norwegischen Strandebene, erblicken. Sie scheinen also besonders für die relativ stabilen Teile der Erdkruste charakteristisch zu sein.

Ganz andere Formenverkrüpfungen finden sich in den von jüngeren Horizontalbewegungen betroffenen *labilen* Zonen, also in den großen Gebirgsgürteln der Erde, von denen zwar auch schon mehrfach jüngere Rumpfflächenreste beschrieben, aber von anderer Seite wieder bestritten worden sind, da die für die Ausbildung solcher Endformen vorauszusetzende längere Dauer tektonischer Ruhe offenbar nicht gegeben war. Was die *Alpen* betrifft, so fällt in ihren inneren Teilen die Anordnung in Längszonen auf, indem Kettenzonen mit Schneidencharakter abwechseln mit solchen geringerer Höhe und flacheren Formen, also zweifellos solchen, die in der allgemeinen Hebung zurückblieben. Das ist der seither auch von Albrecht Penck betonte *Großfaltenwurf,* der neben der seit dem Ende des Oligozän fortgesetzten Höhergestaltung des Gebirges einhergeht. Die Alpen befinden sich also als Ganzes (wie alle Großfaltengebiete) in aufsteigender Entwicklung, wie nicht nur die Verbreitung konvexer Hangprofile in allen glazial nicht beeinflußten Tälern, sondern auch deren gestufte Längsprofile beweisen, indem Strecken mit ausgeglichenem Gefälle zwischen talaufwärts rückende Gefällsbrüche eingeschaltet sind. Die eiszeitlichen Gletscher haben also schon gestufte Täler vorgefunden, im Längsprofil durch eben diese Gefällsbrüche, im Querprofil durch die zugehörigen Hebungsterrassen gestuft. Der Großfaltenwurf verrät sich aber auch in dem Auf- und Abwogen der Gipfelflur im Längsprofil der einzelnen Zonen; in solche Quereinsenkungen sind der Hauptsache nach die großen Quertäler eingeschnitten, die großen Längstäler folgen den streichenden Depressionen der Gipfelflur. Ganz neu ist W. Pencks Deutung der großen Hochflächen der ostalpinen Kalkzonen mit ihren konkaven Bergprofilen. Er betrachtet sie nicht als Stücke einer einheitlichen, nachträglich dislozierten Landschaft, sondern als Piedmontflächen von getrennter Entwicklung und vielleicht von verschiedenem Alter, die etwa im Pliozän von ihrer ehemaligen Erosionsbasis abgetrennt wurden und nur mehr der absteigenden Entwicklung unterlagen. Auch die in drei Niveaus übereinander angeordneten Flächensysteme im Grenzgebiet von Südalpen und

Karst bezeichnet W. Penck als nach der Art der Piedmonttreppen verknüpft, entstanden zwischen Eozän und Obermiozän, also gerade in einer Zeit lebhafter und andauernder Krustenbewegungen; sie können daher nicht als Endrumpfflächen aus Zeiten tektonischer Ruhepausen, sondern nur als Primärrümpfe ähnlich den Piedmontflächen der Mittelgebirge gedeutet werden, da wie diese auf Kosten des darüber gelegenen höheren Landes wuchsen und ihrerseits durch das Wachsen der jüngeren Formen von unten her verkürzt wurden.

Den ersten Nachweis von Großfalten hatte W. Penck schon vor Jahren aus *Anatolien* erbracht, wo sie aus der Lagerung des Jungtertiärs erkennbar sind. Was man bisher im westlichen Teil der Halbinsel ausschließlich auf Bruchbildung zurückgeführt hat, ist eigentlich noch vorwiegend Faltenbau, und nur ganz im W, wo die Amplituden der Großfalten wachsen, stellen sich wirkliche Längsbrüche ein. Auch die sogenannte *Basin-Ranges*-Struktur des Großen Beckens Nordamerikas möchte der Verfasser als Großfaltung umdeuten und auch hier sollen Verwerfungen nur als Begleiter eines übergeordneten Bewegungsvorganges, nämlich großwelliger Verbiegung der Kruste, auftreten. Besser aufgeschlossen sind diese Verhältnisse in den nordwestlichen und nördlichen *pampinen Sierren* Argentiniens, die ja das besonders eingehend untersuchte Arbeitsgebiet W. Pencks waren und wo auch die Theorie des Primärrumpfes und die Grundlehren seiner „Morphologischen Analyse“ entstanden sind. Auch hier sind die auf den Höhen der Ketten vorkommenden Rumpfflächen nicht die durch Brüche zerstückelten Teile einer einzigen Fläche, sondern neu gebildete Primärrümpfe; auch hier zeigt sich als Merkmal des allgemeinen Entwicklungsganges die Zunahme der Hangneigung vom Flach- bis zum Steilrelief als Folge zunehmender Erosionsintensität; auch hier sind durch Ausbildung konvexer Gefällsbrüche die darüber befindlichen Formengemeinschaften von der allgemeinen Erosionsbasis abgetrennt und dadurch in die absteigende Entwicklung einbezogen worden. Alle Ketten und Längsfurchen dieses Systems entsprechen langgedehnten Aufwölbungen und Einmuldungen, letztere wurden zu Ablagerungsgebieten der dem Abtragungsvorgang korrelaten kontinentalen Schichten, die selbst wieder muldenförmigen Bau oder schwache Faltung zeigen. Daher besteht, wie übrigens auch in den Alpen, ein genetischer Zusammenhang zwischen echter Faltenstruktur und Großfaltung, und vielleicht sind manche Decken der Alpen aus einfachen Geantiklinen hervorgegangen.

Ganz übereinstimmende Verhältnisse findet W. Penck in den Kettensystemen Zentralasiens (Tibet, Tienschan, Altai). Ihre gipfellosen Hochplateaus sind Piedmontflächen, also Primärrümpfe, denen zentrale Bergländer und die höchsten Ketten aufgesetzt sind; die den Längstälern folgenden Verebnungen scheinen ein unteres Niveau solcher Flächen darzustellen. Auch Großfaltung tritt hier überall entgegen, gelegentlich mit

Schichtfaltung verbunden. So scheint also eine weitgehende Übereinstimmung in der Gestaltung aller Gebirgsketten zu bestehen; aber über diese Andeutungen ist W. Penck gerade in diesen, das Kardinalproblem der Gebirgsbildung betreffenden Fragen nicht hinausgekommen. Noch weniger war es ihm vergönnt, seine Anschauungen von den *Ursachen* der Gebirgsbildung und der Krustenbewegungen überhaupt in abschließender, druckfähiger Darstellung zu bringen.

Eine kritische Auseinandersetzung mit den Grundlehren dieses hier nur in seinen großen Zügen skizzierten Werkes fällt nach mancher Richtung nicht leicht, zumal auf dem hier gebotenen engen Raum. Zunächst wird jeder, der unbefangen, aber mit der bei der Schwierigkeit der Materie erforderlichen Gründlichkeit an sein Studium herangegangen ist, anerkennen müssen, daß W. Penck in seiner Analyse geomorphologischer Prozesse fast durchaus neue und originelle Wege beschritten hat, die allein schon dem Werke bleibende Bedeutung sichern. Hat er auch nicht als erster überhaupt das *gleichzeitige* Zusammenwirken endogener und exogener Vorgänge und Kräfte als das für das Verständnis der Oberflächenformen Wesentliche betont, so ist doch niemals vor ihm diese Gleichzeitigkeit in so streng methodischer Form durchgearbeitet worden, wenn auch in seiner „Morphologischen Analyse“ von den endogenen Kräften nur implicite die Rede ist, da ja ihre Behandlung einem späteren Buche vorbehalten war. Ein weiterer Vorzug ist es, daß die Abtragungsvorgänge in streng physikalischer Form vorgeführt werden und daß überhaupt ihrem Ablauf nach der allzu schematischen Form, in der sie durch die Schule von W. M. Davis gebracht worden sind, wieder die gebührende Bedeutung zugemessen ist. Daß diese Darstellung vielfach mit Voraussetzungen arbeitet, die in der Natur vielleicht nur ausnahmsweise zutreffen, kann kein Vorwurf sein, weil eben jede Deduktion von solchen vereinfachenden Annahmen ausgehen muß. Schwieriger fällt, zu allen den von unseren bisherigen Anschauungen grundsätzlich abweichenden Hauptergebnissen der Lehren von W. Penck in ihrer Anwendung auf bestimmte Relieftypen Stellung zu nehmen. Die Theorie des Primärrumpfes hat, so viel ich sehe, bisher zumeist eine ablehnende Beurteilung gefunden, zumal in der ihr von ihrem Begründer gegebenen Verallgemeinerung; in der Tat stellt sie mit ihrer Voraussetzung, daß jede Hebung langsam beginne, um dann sich stetig zu steigern, auch nur einen möglichen Fall dar, der überdies voraussetzt, daß die flächenhafte Abtragung nicht nur mit der Hebung, sondern auch mit der Erosion der Flüsse überall Schritt hält. Hingegen erscheint mir die Auffassung sehr zutreffend und fruchtbar, daß durch die Zwischenschaltung konvexer Gefällsbrüche infolge zunehmender Erosionsintensität die darüber befindlichen Formen *nun* der weiteren absteigenden Entwicklung anheimfallen; dadurch finden die Rumpfflächen auf den Höhen

der Schichtstufenlandschaft gewiß eine ungezwungenere Erklärung als durch die Annahme mehrerer selbständiger oder *einer* nachträglich dislozierten Fläche mit Endrumpfcharakter. In der Anwendung dieser Lehre auf die von W. Penck herangezogenen Fälle finde ich allerdings noch manche Schwierigkeiten, die zum Teil in dem notwendigerweise skizzenhaften Charakter gerade dieser Abschnitte begründet sein mögen. Die Piedmontflächen sind, wenn ich richtig verstehe, ehemalige Primärrümpfe, also Formen der ersten Phase *auf*steigender Entwicklung, die nachträglich von der weiteren Zertalung ausgeschaltet und der absteigenden Entwicklung überantwortet worden sind. Aber das Vorhandensein einer Piedmont*treppe* verlangt m. E. doch die Annahme einer zyklischen oder periodischen Entwicklung, nicht eines stetigen Entwicklungsganges, da doch die Erosions- beziehungsweise Hebungsintensität mehrmals wieder bis nahezu auf den Wert Null herabgesunken sein muß, bevor sie bei neuerlichem Anwachsen bis zu einem Grenzwert abermals zur Bildung eines neuen, tieferen Primärrumpfes führte. Daß überhaupt ausgesprochen konvexe Gefälls*brüche* bei *stetig* zunehmender Erosionsintensität entstehen sollen, ist schwer vorstellbar; man wird doch, ebenso wie bei der Erklärung der Hebungsterrassen, ohne die Vorstellung sprunghafter Änderungen der Erosionsintensität nicht auskommen können. Daß die Hänge der tropischen Inselberglandschaften nicht mit scharfem Knick von den umgebenden Rumpfflächen sich absetzen, wird vermutlich den Widerspruch der mit diesen Landschaften vertrauteren Forscher hervorrufen. Hier sei nur noch kurz jener Schwierigkeiten gedacht, die die Anwendung der Lehre von den Piedmontflächen auf die Kettengebirge bereitet. Denn es ist weder historisch-geologisch noch stratigraphisch begründet, daß die Hochflächen der Kalkalpen gerade in Zeiten lebhafter Krustenbewegungen entstanden, unrichtig auch, daß die Korngröße der Vorlandsedimente vom Stampien bis zum Sarmatikum konstant zunimmt. Auch wenn diese Hochflächen und überhaupt das bekannte Mittelrelief vieler Alpengruppen in ihrer ersten Anlage auf Primärrümpfe (Trugrumpfflächen im Sinne von Sölch) zurückgehen, so geschah doch ihre spätere Ausgestaltung und der absteigende Ast ihrer Entwicklung bei hochgelegener Erosionsbasis und unter Mitwirkung fluviatiler Lateralerosion, wie das kürzlich besonders A. Winkler für diese Formgruppen wie auch für die pontischen Verebnungsflächen gezeigt hat. Auch die Ausdehnung der Lehre von der Großfaltung auf die Ketten des Großen Beckens und Zentralasiens erscheint mir heute angesichts der hier doch vorherrschenden Bruchtektonik noch zu gewagt, wenn auch gewiß Übergänge zwischen Bruchschollen und Großfaltenwellen bestehen. Beachtenswert ist übrigens der Gedanke von dem Hervorgehen alpiner Deckfalten aus geantiklinalen Aufwölbungen, der sich in ganz ähnlicher Form in der Auffassung E. Argands von der Entstehung des alpinen Deckenbaues wiederfindet.

Aber alle diese Fragen sind ja von W. Penck nur angedeute worden; der große Wert seiner Anregungen liegt darin, daß neue Gedanken und Vorstellungskreise gegeben sind, die auf die weitere Forschung befruchtend einwirken werden. Um so schmerzlicher ist das Gefühl, daß es dem so früh dahingeschiedenen Forscher nicht mehr beschieden war, selbst die Verteidigung seiner Lehren zu führen und ihrem Gebäude den Schlußstein einzufügen.

Fritz Machatschek.

GEOBOT. INSTITUT
RÜBEL IN ZÜRICH

Leere Seite
Blank page
Page vide