

Neue Wege der geomorphologischen Forschung.

Von **Ernst Nowack** (Wien).

Es ist nicht lange her — zwei bis drei Jahrzehnte —, daß einem wichtigen Gebiet der physikalischen Geographie, der Geomorphologie, durch geologische Betrachtungsweise neue Impulse zugeführt wurden. Die Geomorphologie, bis dahin — wie das ganze Wissensgebiet der Geographie —, eine beschreibende Wissenschaft, wurde damit, dem allgemeinen Zuge in der Entwicklung der Wissenschaften folgend, auf entwicklungsgeschichtliche Fragen geführt, — sie wurde zu einer echten erklärenden Naturwissenschaft, die ebensogut dem Wissensgebiete der Geologie wie Geographie angehört. Wenn sie auch immer dank der beiderseitigen engen Beziehungen eine Grenzwissenschaft bleiben wird, so bringt es doch die immer weitere Vertiefung in die mit der Entwicklung der Erdoberflächenformen verknüpften Probleme mit sich, daß die geomorphologische Forschung mehr und mehr mit Grundfragen der Geologie in Berührung kommt und daß oft zunächst rein geologische Probleme gelöst werden müssen, bevor man an die Klärung geomorphologischer Fragen herantreten kann. Die Folge ist, daß auch die Geologie durch die morphologische Forschung zahlreiche Anregung empfängt, zu neuen Fragestellungen gedrängt wird. Aber nicht nur das, — auch methodisch, durch Einführung morphologischer Betrachtungsweise, beginnt die Geologie immer mehr und mehr Vorteile aus der Geomorphologie zu ziehen. Wer die geologische Literatur der letzten Jahre verfolgt, kann das außerordentlich steigende Interesse beobachten, das von geologischer Seite geomorphologischen Fragen entgegengebracht wird. Es kommt dem Geologen immer mehr zum Bewußtsein, daß er eine ganze Reihe von Fragen, — nicht nur solche aus dem Gebiet der Tektonik, sondern auch aus dem der Stratigraphie, — ohne morphologische Betrachtungsweise zu lösen nicht imstande ist; so kann vor allem auch der moderne Aufnahmsgeologe ohne gründliche Befassung mit der Morphologie seines Forschungsgebietes nicht mehr auskommen. Der früher so häufige Typus des Geologen, der sich im Gelände nur mit der Beobachtung der Gesteine und dem Fossil-Suchen befaßte, den Oberflächenformen im großen und ihrer Entstehung aber gar keine Beachtung schenkte, ist heute im Schwinden begriffen.

Die ersten Männer, welche in Deutschland der Geomorphologie die neue genetisch-erklärende Richtung gewiesen haben und dadurch

die Begründer der modernen physikalischen Geographie geworden sind, waren VON HUCHTHOFEN und PENCK, beide aus geologischer Schule hervorgegangen. Fast alle heute wirkenden bedeutenden Geomorphologen sind Schüler dieser beiden Männer. Einen neuen kräftigen Impuls empfing die morphologische Forschung vor ungefähr zwei Jahrzehnten von Nordamerika her. Hier war es vor allem W. M. DAVIS, Professor der Geographie in Cambridge (Mass.), der gestützt auf die großartigen Lehrbeispiele auf nordamerikanischem Boden und dank seiner glänzenden, überzeugenden Darstellungsweise in Wort und Bild die „Systematic description of land forms“ sozusagen als neue Wissenschaft kreierte. Besonders durch die Austauschprofessur mit PENCK, derzufolge DAVIS 1 Jahr in Berlin lehrte, und dank der ausgezeichneten deutschen Bearbeitung seiner Bücher¹⁾ fand seine Lehre rasch Eingang in Deutschland und gewann binnen kurzem viele begeisterte Anhänger. Ja man kann sagen, daß ein wahrer Davis-Taumel die Geographenwelt in Deutschland in jener Zeit ergriffen hatte, dem sich wohl kein junger, begeisterungsfähiger Geograph, — auch nicht der Verf. dieser Zeilen —, entziehen konnte. Der große, stürmische Erfolg der DAVISschen Lehre beruhte nicht nur in ihrem Gehalt an neuen Ideen und Forschungsergebnissen, sondern vor allem auf ihrer ungemein geschickten didaktischen Methodik. Die von DAVIS ersonnene und so stark betonte deduktive Methode in der Morphologie erhob jeden Geographen zu einem kleinen Herrgott, der die Landschaften in ihrem notwendigen Entwicklungsgang geistig erfassen und mit Hilfe graphischer Ausdrucksmittel (dem Reihen-Blockdiagramm) auf das Papier schöpfen konnte. In der Beobachtung in der Natur wurde eigentlich nur die Bestätigung aller jener gedachten Landschaftsformen gesucht, die auf deduktivem Wege aus einer angenommenen „Urform“ abgeleitet worden waren. So hohen didaktischen Wert die DAVISsche Methode gehabt hat, so ist doch auch keine Frage, daß sie — und zwar besonders für die Forschung — bedeutende Gefahren in sich geschlossen hat. Das Schematische, Dogmatische und Überplastische, — so sehr es dem Lernenden entgegenkam, — die Forschung mußte sich davon befreien, sollte sie nicht vollkommen in Schemas erstarren. Leider hat man das nicht so bald erkannt, die Forschung ist auf manchen Irrweg geraten. Dessenungeachtet hat die amerikanische Schule der Forschung auch große bleibende Dienste erwiesen: Sie hat die grundlegende Bedeutung der tektonischen Bewegungen, besonders der sogen. epirogenetischen Bewegungen (weiträumigen, über lange Zeiträume sich erstreckenden Hebungen und Senkungen der Erdkruste) für die Landschaftsgestaltung, ferner die Tatsache einer gesetzmäßigen, von diesen Bewegungen der Erdkruste letzten Endes abhängigen („zyklischen“) Entwicklung der Land-

¹⁾ DAVIS-BRAUN, Grundzüge der Physiogeographie. Teubner, Leipzig 1908.
— DAVIS-RÜHL, Die erklärende Beschreibung der Landformen. Ebenda 1912.

formen erkannt und drei Hauptbegriffe der morphologischen Forschung: Struktur, Vorgang und Stadium¹⁾ klar herausgearbeitet.

Es mußte nun Sache der weiteren Forschung werden, das noch Primitive und Schematische, das der DAVISschen Lehre anhaftete, zu nehmen, auf Grund systematischer, vorurteilsloser Beobachtung, — also auf induktivem Wege, — den gesetzmäßigen Vorgängen der Landschaftsgestaltung weiter nachzuspüren, die Forschungsergebnisse auf geophysikalischem und geologischem Gebiet mit heranzuziehen und dadurch die zweifellos unentbehrliche, aber über Gebühr emporgewucherte deduktive Methode in feste Bahnen und auf richtiges Maß zurückzuführen.

Mit diesen Bestrebungen trat die geomorphologische Forschung in ihre jüngste, erfolgreiche Entwicklungsphase ein. Unter den Forschern glänzt wiederum allen voran der Name PENCK. ALBRECHT PENCK, der Vater, der in wunderbarer Jugendfrische und geistiger Beweglichkeit, den klaren Blick nach allen Seiten gewandt, die neuen Wege der Forschung voranschreitet, — und WALTHER PENCK, sein viel zu früh verstorbener genialer Sohn, der sich durch zäheste Arbeit und mit überaus scharfem Verstand zu sehr bedeutungsvollen Erkenntnissen Bahn brach. Unabhängig voneinander und doch in engster geistiger Verwandtschaft ergänzen sich Vater und Sohn in ihren Forschungswerken; WALTHER PENCK, wenn auch reich mit geographischer Anschauung ausgerüstet, steht jedoch, mehr noch als sein Vater, ganz auf breiter, fester geologischer Basis.

Der letzte Schritt, den die Entwicklung der geomorphologischen Forschung gemacht hat, gipfelt vor allem in der Erkenntnis der Vielgestaltigkeit und großen Aktivität der Krustenbewegungen bis in die Jetztzeit, was zu der notwendigen Folgerung führt, daß die unmittelbar in ihrer Wirksamkeit auf die Erdoberfläche sichtbaren, abtragenden (exogenen) Kräfte und die die Krustenbewegungen hervorrufenden, tektonischen (endogenen) Kräfte, deren Wirksamkeit wir nicht unmittelbar beobachten, sondern auf die wir nur auf Grund ihrer Ergebnisse schließen können, gleichzeitig auf die Erdoberfläche einwirken. Die Formen der Erdoberfläche sind daher als augenblickliches Ergebnis des Gegenspieles jener beiden Kräftegruppen: abtragende Kräfte — tektonische Kräfte aufzufassen. Die Vielgestaltigkeit der durch die tektonischen Kräfte ausgelösten Krustenbewegungen sowohl nach Form wie nach Verlauf und Intensität führt natürlich zu viel verwickelteren, nicht in so einfachen Schemata erfaßbaren Beziehungen zwischen Tektonik und Abtragung, als das nach DAVIS schien, der in seinen deduktiv abgeleiteten Entwicklungsreihen ein Nacheinander

¹⁾ Unter Struktur ist der innere Bau (Gesteinsbeschaffenheit und -Lagerung), unter Vorgang die Art des Abtragungsvorganges (durch fließendes Wasser, fließendes Eis, Wind usw.) und unter Stadium die Entwicklungsstufe zu verstehen, welche die Landschaft während des Abtragungsvorganges erreicht hat.

von Krustenbewegung (tektonischer Hebung) und Abtragung (Erosion) annahm.

WALTHER PENCK hat in seinem p. m. erschienenen Buche: „Die morphologische Analyse“¹⁾ den Gedanken der gleichzeitigen Wirksamkeit von Krustenbewegung und Abtragung auf der Erdoberfläche in allen seinen Konsequenzen durchgearbeitet und die Gesetze abgeleitet, nach denen sich die Gestaltung der Landformen unter dieser neuen Voraussetzung vollzieht. Er hat sich jedoch, die Mängel der bisherigen Forschungsrichtung wohl erkennend — zunächst den induktiven Weg einschlagend —, die nötigen sicheren Grundlagen für seine deduktiven Ableitungen geschaffen, indem er die Abtragungsvorgänge einer systematischen Untersuchung unterzog. Er gelangte hierbei zur Erkenntnis der großen, bisher weit unterschätzten Bedeutung der allein unter dem Einfluß der Schwerkraft stehenden Massenbewegungen auf der Erdoberfläche und hat alle mit diesen verknüpften Vorgänge physikalisch klar erfaßt. Er sondert bei den Abtragungsvorgängen zunächst scharf die Gesteinsaufbereitung, — das sind die strukturellen, molekularen Änderungen der Gesteinsmaterie an Ort und Stelle, — von den Massenbewegungen, welche nichts anderes sind als entweder spontane oder mit Hilfe eines Mediums (Wasser, Eis, Luft) vor sich gehende Gravitationsströme. Der Eintritt der Bewegungen und ihr Verlauf läßt sich mathematisch erfassen: er ist bedingt durch die, Reibung und Kohäsion überwindenden physikalischen Zustandsänderungen in den durch die Aufbereitung zum Transport vorbereiteten Massen. Es sind letzten Endes zwei solcher Zustandsänderungen, denen die Bedeutung von „Motoren der Massenbewegungen“ zukommt: Gewichtszunahme und Volumschwankungen. Zu ersterer gehört auch der Vorgang der Wasseraufnahme, letztere werden hauptsächlich durch Temperaturschwankungen hervorgerufen und verursachen die „Feinbewegungen“. Beide Zustandsänderungen — und damit Eintritt und Verlauf der Massenbewegungen — sind in hohem Grade vom Kolloidgehalt des Materiales abhängig.

W. PENCK erkennt dem Vorgang des Schuttströmens nicht nur, wie man sich das bisher dachte, nur flächenhafte Abtragung, sondern auch ohne Mithilfe eines transportierenden Mediums linienhaft wirksame Schurfleistung zu. Nicht nur in Trockengebieten ohne dauernd fließendes Wasser, wo dieser Erkenntnis natürlich besondere Bedeutung zukommt, — sondern auch in unseren Klimaten, in über dem Grundwasserhorizont liegendem Niveau, kann längs der Sammelinien des Hangschuttes Talbildung allein durch die Schurfwirkung des nur unter dem Zuge der Schwerkraft stehenden, abfließenden Schuttes auf die Unterlage zustande kommen; es entstehen flache, bachbettlose (von W. PENCK als „Korrasionstäler“ bezeichnete) Muldentäler.

¹⁾ Geograph. Abhandlungen, 2. Reihe, H. 2, Verlag Engelhorns Nachf. Stuttgart (mit einem Vorwort von ALBR. PENCK).

Durch das Klarwerden der Bedeutung der als Gravitationsströme erkannten und daher bei der Abtragung auf der ganzen Erde, — unabhängig vom Klima, — wirksamen Massenbewegungen wird nun auch der in letzter Zeit vielfach überschätzte Einfluß des Klimas auf die Landschaftsgestaltung wieder eingeschränkt.

Als für die Erfassung des ganzen Abtragungsvorganges überaus fruchtbringend erwies sich der von W. PENCK eingeführte Begriff der Denudationsbasis. Funktionell der Erosionsbasis des fließenden Wassers vergleichbar, stehen zu ihr alle flächenhaften Abtragungsvorgänge (Massenbewegungen) in einem festen Verhältnis, — sie bildet jedoch nicht wie jene eine Niveau, sondern eine Kurve, die alle Punkte verbindet, an welcher die Massenbewegungen zur Ruhe kommen; im wesentlichen sind das die Gefällskurven der Gerinne. Vom Begriffe der Denudationsbasis ausgehend und mit den gefundenen Gesetzen der Massenbewegungen operierend, gelang es W. PENCK mit Hilfe der differentiellen Methode, die sich bei beweglicher Denudationsbasis (= veränderliche Erosionsintensität = Krustenbewegung) notwendig ergebende Entwicklung der Hangformen konstruktiv abzuleiten. Damit ist W. PENCK zweifelsohne die unseren heutigen Kenntnissen von den Vorgängen auf der Erdoberfläche, — zu deren Klärung er selbst soviel beigetragen hat, — gerechtwerdende Deduktion der Landformenentwicklung geglückt. Es können im folgenden nur die wesentlichsten Ergebnisse dieser Deduktionen mitgeteilt werden.

Die durch die endogenen Kräfte hervorgerufenen Krustenbewegungen ändern stetig die Gefällsverhältnisse auf der Erdoberfläche und wirken so den einen Gleichgewichtszustand anstrebenden Abtragungsvorgängen entgegen. Solange die Krustenbewegung so intensiv ist¹⁾, daß die exogenen Kräfte nicht imstande sind, den Betrag der Krustenbewegung (Gefällsänderung) durch Abtragung wettzumachen, so lange muß steigende Erosionstätigkeit in den Gerinnen herrschen und damit eine ungleichförmige Abwärtsbewegung der Denudationsbasis erfolgen: Die Landschaft befindet sich im aufsteigenden Ast der Entwicklung, ein Zustand, der sich durch Steilrelief und konvex geformte Hangprofile charakterisiert, wobei das Maß der Steilheit durch das Maß der Erosionsintensität bestimmt wird. Bei dauernd erreichtem Gleichgewichtszustand zwischen Krustenbewegung und Abtragung (= konstanter Erosionsintensität = gleichförmiger Abwärtsbewegung der Denudationsbasis) entstehen gerade Hangprofile. Bei weiterer Verminderung der Intensität der Krustenbewegung und deren Erlöschen sinkt auch die Erosionsintensität auf den Nullwert; die Denudationsbasis bleibt unbeweglich. In dem nun erreichten absteigenden Ast der Entwicklung verflacht sich das Relief, die Höhen nehmen ab, die Hangprofile werden konkav.

Jeder un stetige Wechsel in der Erosionsintensität bedeutet eine Unterbrechung der Normalentwicklung eines Hanges und führt daher

¹⁾ Es sei hier der Einfachheit halber eine Hebung ins Auge gefaßt.

Krustenteilen; hier Formzerstörung, dort Formerhaltung. Die Stirnränder der Überschiebungsdecken erweisen sich natürlich als die Stellen intensivster Abtragung und daher stärkster morphologischer Umgestaltung, während die Oberflächen der Decken der Abtragung verhältnismäßig geringe Angriffsflächen bieten und daher alte Formen lange bewahren können.

Ein neuer Gedanke anderer Art ist jüngst durch WINKLER¹⁾ vertreten worden. Er ist auf Grund seiner langjährigen, eingehenden geologisch-morphologischen Studien am südlichen und östlichen Alpenrand zu dem Ergebnis gelangt, daß hier nicht allein tektonische Bewegungen (Bruchbildung, Verbiegungen u. ä.) die morphologische Entwicklung beeinflussen haben, sondern daß unabhängig von den tektonischen Vorgängen in den Alpen vor sich gehende Meeresspiegelschwankungen mitgewirkt und sich mit den lokaltektonischen Bewegungen kombiniert haben. Diese neben der Lokaltektonek einhergehenden, sie gleichsam überdeckenden Bewegungen von regionaler Verbreitung, die ein von den Krustenbewegungen unabhängiges Auf- und Niedergehen der allgemeinen Erosionsbasis bedingen, verwickeln natürlich die Aufgabe wesentlich, indem in solchen Gebieten jeweils die Differenz beider Arten der Bewegungen für jedes tektonisch gleichwertige Krustenstück als Resultierende der tatsächlichen, morphologisch sich auswirkenden Bewegung der Erosionsbasis gesucht werden muß. So können durch eustatische Spiegelschwankungen die morphologischen Wirkungen der lokalen Krustenbewegungen gedämpft oder ganz aufgehoben, andererseits auch verstärkt werden.

Alle diese neuen Gedanken, besonders jene von den seitlichen Krustenverschiebungen und von dem Hereinspielen der eustatischen Spiegelschwankungen in das morphologische Geschehen, zeigen, wie ungemein schwierig die Aufstellung von allgemein gültigen Schemas für die Landformgestaltung ist. So grundlegend wichtig und unsere Kenntnisse fördernd die geistreichen W. PENCK'schen Ableitungen auch sind, man wird sich auch hier vor einer Überschätzung ihrer praktischen Anwendbarkeit auf die tatsächlichen, unendlich verwickelten Vorgänge in der Natur hüten müssen. Nur rastlose induktive Forschung, engste Verknüpfung geologischer und morphologischer Methodik wird uns Schritt für Schritt der Erkenntnis des morphologischen Geschehens näherbringen, und wenn wir auch von Zeit zu Zeit durch Deduktionen die zur geistigen Erfassung nötigen Schemas schaffen müssen, so dürfen wir doch nie darüber vergessen, daß diese immer nur augenblickliche, dem Stande unserer Erfahrungen angepaßte geistige Behelfe sind.

¹⁾ A. WINKLER, Über Beziehungen zwischen Sedimentation, Tektonik und Morphologie in der jungtertiären Entwicklungsgeschichte der Ostalpen; Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. Wien 1924, math.-naturw. Kl., 132. Bd., 9. u. 10. Heft.