
SITZUNGSBERICHTE

1919.

XVII.

DER PREUSSISCHEN

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN.

Gesamtsitzung vom 27. März.

Mitteilung vom 13. März.

Die Gipfflur der Alpen.

VON ALBRECHT PENCK.

Die Gipfflur der Alpen.

VON ALBRECHT PENCK.

Die Gipfel der Alpen zeigen wie die anderer Hochgebirge eine auffällige Konstanz ihrer Höhen. Benachbarte Gipfel haben vielfach nahezu gleiche Höhen, die höchsten Höhen benachbarter Gruppen weichen nur wenig voneinander ab. Steht man auf einer erhabenen Zinne mitten im Gebirge, so erscheinen die umliegenden Gipfel wie ein wogendes Meer, dessen Wellenkämme sich in gleichen Höhen halten und an dem Horizonte nach oben wie abgeschnitten erscheinen. Sie ordnen sich in eine sanftwellige Flur, die wir Gipfflur nennen wollen.

Zu wiederholten Malen hat die Gipfflur der Alpen die Aufmerksamkeit von Forschern erweckt. Oft wird ihrer in den Beschreibungen einzelner Gebirgstteile gedacht, aber an eine Erklärung des auffälligen Phänomens ist man erst spät herangegangen. E. von Mojsisovics glaubte, daß zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes im Gebirgs-ganzen ein gewisses Maß der Erhebung in den einzelnen Teilen bestehen müsse, infolgedessen der Abtragung durch stetes Nachrücken von unten entgegengearbeitet werde¹. Ich selbst hielt die Gipfflur für eine Abtragungserscheinung und führte sie auf ein oberes Denudationsniveau² zurück, über welches die Erhebung die Gebirge nicht hinaufschieben könne, das also eine obere Erhebungsgrenze darstellt. Diesem oberen Denudationsniveau stellte sich ein unteres gegenüber, bis zu welchem herab die Gebirge abgetragen werden können. Es ist eine dem Meeresspiegel benachbarte Rumpffläche, während das obere Denudationsniveau eine Berührende der größten Höhen der einzelnen Zonen ist. Nicht alle Gebirge ragen an sie heran; ihre Gipffluren verraten meist eine örtliche obere Erhebungsgrenze. Auch strebt ihre Abtragung gewöhnlich nicht direkt dem absoluten unteren Denudationsniveau entgegen, sondern macht örtlich früher im lokalen

¹ Die Dolomitriffe von Südtirol. Wien 1879, S. 109.

² Über Denudation der Erdoberfläche. Schriften d. Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse. Wien 27. 1886/87, S. 431

unteren Denudationsniveau halt. Das ist die untere Abtragungsgrenze des Gebirges, die Erosionsbasis, welche alle Wasserwirkungen in ihm zu einer gegebenen Zeit beherrscht, während das absolute untere Denudationsniveau mit der idealen Peneplain von W. M. Davis identisch ist. Er hat nachdrücklich auf die weite Verbreitung von Rumpfflächen des unteren Denudationsniveaus Gewicht gelegt und die Hochflächen verschiedener Gebirge als gehobene Peneplains gedeutet. Damit hat er eine Anschauung belebt, die früher schon RAMSAY, ARCHIBALD GEIKIE, TOPLEY und A. HELLAND ausgesprochen hatten, daß die Konstanz des Gipfelniveaus bedingt sei durch eine Fläche, bis zu welcher das Gebirge vor seiner Erhebung abgetragen gewesen sei¹. War aber diese Anschauung bis dahin nur zur Erklärung der Konstanz der Gipfelhöhen von Gebirgen mit plateauartigem Charakter angewendet worden, so übertrugen sie amerikanische Forscher auch auf Gebirge von alpinem Formenschatz im Westen Nordamerikas, und wenn auch REGINALD A. DALY² davor warnte, sie ohne weiteres auf die Alpen anzuwenden, so geschah dies durch H. VON STAFF³, allerdings in sichtlicher Unkenntnis des früher über seinen Gegenstand in Verbindung mit dem oberen Denudationsniveau Geschriebenen. Bedenken gegen seine Art der Beweisführung hat bereits FRITZ MACHATSCHER⁴ geäußert, während ihr S. VAN VALKENBURG⁵ im großen und ganzen beipflichtet und in der Konstanz der Gipfelhöhen eine Abtragungsfläche bewahrt sieht, die er sich allerdings nicht als Fastebene, sondern als eine ausgeglichene Landschaft denkt. Daß das obere Denudationsniveau neben gehobenen Peneplains zur Erklärung der Konstanz von Gipfelhöhen heranzuziehen ist, gibt DAVIS⁶ zu und betont auch HERTNER⁷.

In sehr klarer Weise hat DALY die Verschiedenheit der beiden Theorien zur Erklärung fast ebener Gipfelfluren herausgearbeitet. Sie sind nach ihm entweder von früher vorhandenen Fastebenen ererbt, mögen diese solche mariner Abrasion oder subaeriler Denudation sein, oder sie sind erst bei der Entstehung des Gebirges in Erscheinung tretende obere Denudationsniveaus, für deren Bildung er verschiedene

¹ Vergl. meine Morphologie der Erdoberfläche. Stuttgart 1894. 2. S. 161.

² The Accordance of Summit Levels among Alpine Mountains: The Fact and its Significance. Journal of Geology 13. 1905. S. 105.

³ Zur Morphogenie der Präglaziallandschaft in den Westschweizer Alpen. Zeitschr. d. Deutschen Geologischen Gesellschaft 64. 1912. S. 1.

⁴ Verebnungsflächen und junge Krustenbewegungen im alpinen Gebirgssystem. Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde. Berlin 1916. S. 602 (614).

⁵ Beiträge zur Frage der präglazialen Oberflächengestalt der Schweizer Alpen. Dissertation Zürich 1918.

⁶ Die erklärende Beschreibung der Landformen. Leipzig 1912. S. 275, S. 286.

⁷ Rumpfflächen und Pseudorumpfflächen. Geographische Zeitschrift 19. 1913. S. 185 (198).

Möglichkeiten erwähnt. Ererbte Formen gehen ihrem Untergang entgegen, in Erscheinung tretende bilden sich fort. Mit dieser Erwägung gehen wir an die Würdigung der alpinen Gipfelflur.

Schärfe der Formen ist das Kennzeichen typischer Alpenhöhen. Scharf sind die Firste des Gebirges; als Zacken und Zinnen, als steile Pyramiden oder Türme ragen die Hochgipfel daraus auf. Rasch von-statten gehende Zerstörung herrscht allerorten. Sie ist bedingt durch zwei Ursachen, durch die große Intensität der mechanischen Verwitterung sowie die Steilheit der Formen. Jene nimmt mit der Höhe zu. Je höher wir steigen, desto stärkere Kältegrade wirken sprengend auf das durchfeuchtete Gestein, desto größer werden die Temperaturunterschiede, die es bei Insolation und Ausstrahlung erfährt, desto mehr wird am Gefüge gelockert, desto leichter brechen seine Trümmer ab. Unter sonst gleichen Umständen werden daher die höheren Gipfel und Firste stärker zerstört und rascher erniedrigt als die tieferen. Nach lange anhaltender Wirkung müssen sich daher die in der Firstregion auftretenden Höhenunterschiede mindern. Die Konstanz der Gipfelhöhen, wenn nicht schon erreicht, ist in Entwicklung begriffen. Nach einer gewissen Zeit müssen sich aber die Firste und Gipfel in ihre eigenen Trümmer einhüllen, falls diese nicht ständig fortgeführt werden und die Steilheit der Flanken aufrechterhalten wird. In den Alpen erfolgt beides auf zweifachem Wege, durch Eis und rinnendes Wasser. Überall dort, wo das Gebirge über die Schneegrenze aufragt, setzt jenes ein. Es schmiegen sich Schneefelder an den Fuß der steilen Firste, der von letzteren herabfallende Schutt stürzt auf sie herab, wird hier in den Schnee eingebettet und wandert im daraus entstehenden Gletscher als Innenmoräne fort. Ein Teil aber stürzt in die Randkluft und gerät als Untermoräne an die Sohle des Eises, das dadurch gleichsam Zähne erhält, mit denen es seine Unterlage angreift. Von der Randkluft an beginnt die Erosion der kleinen Gletscher, von der Randkluft an schleifen sie ihren Boden ab, setzt eine Erniedrigung des Sockels der Wand ein, so daß diese stetig untergraben wird. Untergrabung ist die Voraussetzung der Wandbildung. So werden die über die Firnfelder aufragenden Wände der Firste und Gipfel frisch erhalten, und deren Abtragung kommt deswegen nicht zur Ruhe. Dieser Vorgang wirkt nicht nur in der Gegenwart, sondern ist auch während der Eiszeit tätig gewesen, und zwar ungefähr an denselben Stellen wie heute; denn es waren während der Eiszeit die Firnbecken nicht wesentlich voller als heute¹. Langanhaltend wirkt also oberhalb der heutigen Schneefelder der Vorgang, der zur Herstellung einer Gipfelflur führt, und dieser

¹ PENCK und BRÜCKNER, Die Alpen im Eiszeitalter. Leipzig 1908. S. 1142.

wirkungsvolle Vorgang war während der Eiszeit viel weiter verbreitet als heute. Bis zur damaligen Schneegrenze herab, 1200—1300 m unter der heutigen, waren während der Eiszeit alle Nischen der Gebirgskämme, soweit sie über die Eisüberflutung aufragten, mit Schneefeldern erfüllt, die überall an den Firsten fraßen und sich mit steilen Wandungen umgaben. Dadurch hat das Gebirge seine heutige Firstgestaltung erhalten, seine charakteristischen Gratformen, welche übersteil abfallen zu den Karsohlen, den Betten der nunmehr geschwundenen Firnfelder. Auch hier dauert das Abbrechen und Herabstürzen von Gesteinstrümmern noch fort, welches bei gleicher Widerständigkeit des Gesteins die höheren Gipfel mehr erniedrigt als die weniger hohen und zu einer Annäherung der Höhen beider führt. Nur bleibt der Schutt am Fuße der Wände liegen und häuft sich zu gewaltigen Schutthalden an, die aber selbst dort, wo die Firnfelder schon frühzeitig geschwunden sind, wie im Karwendelgebirge, noch lange nicht bis zu den Firsten heraufgewachsen sind. Deren Zerstörung und Gleichhochmachung dauert also auch hier noch fort.

Alle höheren Firste der Alpen sind Grate; sie fallen mit Wänden ab, die durch abfließendes Eis untergraben worden sind. Dabei sind die Betten der nagenden Schneefelder verschieden stark zur Entwicklung gekommen. Am augenfälligsten sind sie in den minder steilen Teilen des Gebirges. Da sind sie als deutliche Nischen mit oft eingesenktem Boden entwickelt, als typische Kare, oft mit einem blinkenden See. Sie bestimmen die Form des Berges, in dem sie liegen, und stempeln ihn dann, wenn sie nur durch Grate voneinander getrennt sind, zum Karling¹. In den höchsten und steilsten Gruppen der Alpen hingegen erscheinen die Kare vielfach verkümmert. Die Bodenfläche ist nicht eingesenkt, sondern lediglich minder steil geneigt als die benachbarten Hänge. So ist es in den Zentralalpen, im Zillertale und in den Hohen Tauern, so in den hohen und steilen Schweizer Alpen, namentlich in den Penninischen Alpen. Hier sind die Spiegel der in den Niederen Tauern so häufigen Karseen selten, hier spielt die Karwand keine so eindringliche Rolle wie an den Karlingkämmen; sie bezeichnet lediglich eine Versteilerung des ohnehin schon übersteilen Abfalles. Im Durchschnitt mißt er über Karwand und Karboden mehr als 27°, er ist steiler als der natürliche Böschungswinkel. Gewöhnlich noch steiler fällt das Gehänge vom Karrande zur Talsohle ab: Anfänglich im Bereiche der Schulter langsam, dann rasch steil werdend, und schließlich wandförmig im Bereiche des Troges. Der gesamte Abfall von den Graten bis in die Talmitte kann aufgefaßt werden als

¹ Alpen im Eiszeitalter S. 284

eine Böschung, die nach oben durch die Kare zugeschärft, unten durch den Trog abgestutzt ist. Denken wir uns diese beiden glazialen Wirkungen entfernt, so bleibt die Übersteilheit des Abfalls bestehen, d. h. auf ihm ist keine bleibende Stätte für losen Schutt. Er kann auf Hängen, die steiler sind als der natürliche Böschungswinkel, wohl zeitweilig auf einem Absatz über einer Wand liegenbleiben, aber bei deren Zerstörung stürzt er zu Tal. Verwitterung und Absturz sind die Faktoren der Gehängegestaltung, und diese wird beherrscht durch die Klüftigkeit des Gesteins. Schneidet der Fluß am Fuße einer übersteilen Böschung ein, so muß sich die von ihm ausgeübte Untergrabung rasch am ganzen Hang, nur zeitweilig durch Wände aufgehalten, bis an den First hin aufwärts fortsetzen. Im Bereiche senkrecht klüftender Gesteine ist natürlich die Neigung zur Wandbildung immer gegeben, und hier allein treffen wir auf wirkliche Talwände. Von diesem Sonderfall sehen wir bei unserer allgemeinen Erörterung ab. Im Bereiche übersteiler Talhänge steht die Höhe des Firstes unter direkter Beeinflussung durch die Taltiefe, er kann sich nicht nur halb so hoch über letzterer halten, als seine Entfernung von derselben ist, und zwischen gleich weit voneinander entfernten Tälern muß er zugeschärft sein. Solche zugeschärften Firste zwischen übersteilen Talhängen nennen wir Schneiden.

Die obengenannten Teile der Alpen haben zwischen ihren tief eingeschnittenen Tälern Schneiden, welche durch glaziale Wirkungen etwas verändert, oben zugeschärft und unten abgestutzt sind, aber in ihrer Gesamtheit von jener unabhängig sind. Sie sind Formen, wie sie zwischen tief einschneidenden Tälern notwendigerweise zur Entwicklung kommen müssen, wenn die Taltiefe größer wird als der vierte Teil der Entfernung der Täler voneinander. Es steht die Gipfel- und Firsthöhe im Innern der höchsten Alpentheile wie in jedem Schneidengebirge unter dem Einfluß der Taltiefe; weil benachbarte Täler sich meist in gleicher Höhe halten, so tun es auch sie, und weil die Talvertiefung in jenen Alpentheilen noch fortldauert, so schärfen sich die Firste immer neu zu.

Aussichtslos erscheint es nach dieser Betrachtung, in den scharfen Firsten der Alpen ererbte Formen zu erblicken; weder ihre Grate noch ihre glazial zugeschärften Schneiden weisen durch die Konstanz ihrer Gipfelhöhe auf das Vorhandensein einer früheren Rumpffläche, aus der das Gebirge herausgeschnitten ist. Die Gipfelhöhe der Alpen ist vielmehr eine Folge von der Höhe des Gebirges, der absoluten, sofern für ihre Herausbildung die Wirkungen kleiner Gletscher in Betracht kommen, und der relativen, sobald sie auf Schneiden zurückzuführen ist.

Neben den scharfen Firsten gibt es in den Alpen vielfach gerundete Kämme sowie ausgedehnte Plateaus namentlich in den nörd-

lichen und südlichen Kalkalpen. VON STAFF hat sie als Überreste der Rumpffläche angesehen, die sich nach seiner Meinung über die Alpen gespannt haben soll. Aber damit stimmt ihre Erscheinung nicht. Weder das Plateau des Steinernen Meeres noch das des Dachsteins, weder das der Hochschwab noch das von Rax und Schneeberg bei Wien, noch das der Sieben Gemeinden in den südlichen Kalkalpen sind Rumpfflächen, wenn man letztere als das Endergebnis subaeriler Abtragung ansieht. Sie alle haben recht ansehnliche Unebenheiten¹. Die Dachsteingipfel erheben sich um 1000 m über das benachbarte Plateau, und auf dem Plateau der Sieben Gemeinden sitzen zahlreiche scharf individualisierte Berge auf. Die Kalkplateaus der Ostalpen haben auf ihren Höhen ein durchaus gebirgiges Relief, das von Ebenheit weit entfernt ist und auch die Höhlenentwicklung besitzt, die für das Karstgebirge charakteristisch ist. Sie ist vom Plateau der Sieben Gemeinden seit langem bekannt, im Dachsteinplateau kürzlich erwiesen². Daß scharfgratige Formen aus solchen Plateaus hervorgehen können, sieht man am Schlern, wo Euringer- und Santnerspitze vom Berge bereits losgelöst sind, und daß solches geschehen ist, lehrt die nördliche Karwendelspitze, in deren Nachbarschaft sich in der Grube eine kleine Doline erhalten hat, wie sie auf Plateaus und nicht auf Firsten entstehen. Gleiches lehrt der Rosengarten. In den oberen Partien der steilen Wände seines Westabfalles gegen das Bozener Porphyrlateau münden zahlreiche Höhlen, die uns verraten, daß der Rosengartengipfel einmal ein von Höhlen durchbohrter Karstberg gewesen ist. Lockende Aufgaben winken hier noch dem Höhlenforscher, der vielleicht in diesen Höhlen alte Flußläufe nachweisen kann, wie dies auf dem Dachsteinplateau geschehen ist, oder auch Spuren des paläolithischen Menschen, wie solche in den Sämtishöhlen entdeckt worden sind. Vielleicht bieten die Höhlen in der Gipfelregion von Kalkalpenbergen sogar die Möglichkeit des Nachweises einer präglazialen, selbst pliozänen Fauna. Ebensowenig wie die Kalkplateaus weisen die nicht seltenen gerundeten Berge namentlich in den niederen Alpentteilen auf frühere Rumpfflächen. Mag man an die Hohe Munde in der Mieminger Kette oder an den Patscher Kofel bei Innsbruck oder an den Kronplatz bei Bruneck denken, immer handelt es sich um Berge von ansehnlichen Maßen und einer Steilheit, wie sie Rumpfbergen, die als Härtlinge oder Restberge bei der Abtragung zurückbleiben, nicht zukommt. Ganz unzulässig aber erscheint uns, kleine flachgeneigte Flächenstücke, wie sie in den höchsten Alpentteilen vorkommen, in der Gipfelregion

¹ Vergl. GÖTZINGER, Zur Frage des Alters der Oberflächenformen der östlichen Kalkhochalpen. Mitteilungen der k. k. geographischen Gesellschaft Wien 56, 1913, S. 39.

² BOCK, LAUNER, GAUDENZDORFER, Die Höhlen im Dachstein. 1913.

des Montblanc wie auf der des Ortler nicht fehlen, ohne weiteres als Überreste von Rumpfflächen zu deuten: Sie können ebensogut Hangstücke zerstörter gerundeter Berge sein, worauf ihre Steilheit hinweist. Es gibt eben gute Gründe gegen die Annahme einer völligen Abtragung der Alpen bis zu einer Rumpffläche während der Präglazialzeit. Sie werden durch die geologische Geschichte des Gebirges geliefert. Ein Rumpf als Endergebnis der Abtragung kann seiner Umgebung keinen größeren Gesteinsschutt liefern; nur Gebirge können jene mit ihrem Gerölle überstreuen. Diese morphologische Fernwirkung der Alpen macht sich während der ganzen jüngeren Tertiärperiode geltend. Die Nagelflur der Schweizer Molasse zeugt von der Nachbarschaft eines in lebhafter Zerstörung befindlichen Gebirges während der Miozän-epoche, und gleiches tut die Nagelflur der oberen Süßwassermolasse Oberbayerns. Die groben Gerölle im Tertiär des Wiener Beckens erweisen die Existenz eines benachbarten Gebirges, in dessen Abfall die pontischen Gewässer Uferlinien einkerbten. Die miozänen Konglomerate des Mürz- und Murgebietes können nur von Gebirgsbächen abgelagert worden sein. Das grobe Sattnitzkonglomerat im Klagenfurter Becken ist die Ablagerung echt alpiner Flüsse, die, wie es scheint, schon in die Tauern eingeschnitten hatten. Auf steile Gebirgswände weisen die Riesenkonglomerate im Miozän des Steirischen Beckens. Allerdings rückt das marine Pliozän der Poebene in seiner tonigmergeligen Ausbildung als Piacentiano hart an den Südfuß der Alpen, wird sogar in Alpentälern angetroffen. Aber hier weist seine Lagerung auf das gleichzeitige Vorhandensein eines Gebirges; denn es liegt in tiefen Tälern eines solchen. Hier auch verknüpft es sich, wie nicht anders zu erwarten, vielfach mit grobem Gerölle. Mächtige Nagelflur deckt das Piacentiano am Mte. San Bartolomeo am Gardasee zu. Und bedürfte es noch eines Beweises für das Vorhandensein miozäner Alpen auf französischem Boden, so sei auf das grobe Konglomerat im Winkel zwischen Durance und Bléonne in der Gegend von Digne hingewiesen.

Während der ganzen jüngeren Tertiärperiode hat an Stelle der Alpen ein Gebirge bestanden, und währenddem hat es nie eine Zeit gegeben, in der sich eine fast ebene Rumpffläche statt seiner erstreckte. Das hat MACHATSCHKE bereits ausgesprochen.

Aber sicher war vor der Eiszeit ihr Formenschatz vielfach ein anderer als heute. Berge mit rundlichen Gipfformen waren verbreiteter als heute; die Karlinge sind vielfach, wie ich schon früher gezeigt habe, aus Rundlingen durch glaziale Zuschärfung hervorgegangen¹. Nicht alle scharfen Firste sind jedoch, wie wir nun sehen, so entstanden. Die im

¹ Alpen im Eiszeitalter S. 286.

Bereiche der höchsten Erhebungen in den Alpen gelegenen, in denen ich das Zurücktreten der Kare schon früher bemerkte, erscheinen mir nunmehr als leise zugeschärfte Schneiden. Sie würden auch ohne glaziale Umgestaltung sich als solche darstellen infolge der Tiefe der Täler zwischen ihnen, und anders dürfte es vor der Eiszeit kaum gewesen sein; denn wenn sie auch während der letzteren eine Übertiefung von einigen hundert Metern erfahren haben, so hat doch auch während derselben eine fortwährende Zuschärfung der Firste stattgefunden. Ohne eine solche wäre ihre Schärfe verlorengegangen. Jede Zuschärfung eines Firstes zieht aber dessen Erniedrigung nach sich. Wenn diese gleichzeitig mit der Taltiefe erfolgte, kann sich der Höhenunterschied zwischen Schneiden und Talsohlen nicht wesentlich geändert haben.

Den Gegensatz zwischen gerundeten und schneidigen Firstformen in den Alpen erachten wir hiernach als einen ziemlich alten. Ihr Nebeneinandervorkommen legt uns die Frage nach ihren gegenseitigen genetischen Beziehungen nahe: Sind die Schneiden aus den runden Formen, oder diese aus jenen hervorgegangen, oder leiten sie sich beide aus einer gemeinsamen Stammform her? Letztere Möglichkeit trifft dann und wann gewiß zu. Der Schlern mit seinen rundlichen Formen und der Rosengarten mit seinem scharfen Grate sind beide aus einem Kalkplateau hervorgegangen, dessen Höhlenreichtum an beiden Gipfeln noch zu erkennen ist. Sicher ist ferner, daß sich runde Formen aus den Schneiden entwickeln können. Sobald der Abtransport der durch die mechanische Verwitterung gelösten Trümmer nachläßt, bleiben sie liegen und hüllen den First ein, der dabei seine Schärfe verliert, stumpf wird und schließlich gerundeten Formen weicht. Ansätze zu einer derartigen Übergangsreihe gibt es in den Alpen zwar in manchen Karlingen, in denen die Schutthalden allmählich bis zu den Kämmen emporwachsen, nicht aber kennen wir sie zwischen Schneiden und gerundeten Firsten. Mitten im Schneidengebirge dagegen tauchen dann und wann, wie wir schon bemerkt haben, minder steile Flächenstücke auf, die wir als letzte Überreste von Rundlingen zu deuten geneigt sind. Sie legen uns die Mutmaßung nahe, daß manche Schneiden aus runden Formen hervorgegangen sind.

Die Annahme einer solchen Entwicklung steht im Gegensatz zu der Entwicklungsreihe, die W. M. Davis als die typische des geographischen Zyklus aufgestellt hat. Nach ihm entwickelt sich aus dem Gebirge mit scharfen Schneiden allmählich durch Abstumpfung und Zurundung der Firste das unterjochte Gebirge. Allein dieser natürliche Lauf der Dinge ist nicht der allein mögliche. Dies wird uns klar, sobald wir den geographischen Zyklus nicht so, wie es Davis tut, bloß als einen normalen Abtragungsvorgang betrachten, der eine bereits gehobene Scholle be-

trifft, sondern ihn weiter fassen, so wie es dem Wesen des Kreislaufes der Formen von einer ursprünglichen Ebene zu einer aus ihr nach ihrer Dislokation hervorgehenden Abtragungsebene entspricht. Ein solcher geographischer Zyklus beginnt nicht wie der von DAVIS erst nachdem durch die Dislokation eine Urform entstanden ist, sondern setzt in dem Augenblick ein, wo die als ursprünglich gedachte Ebene disloziert wird. In diesem Augenblick beginnt ihre Abtragung; Flüsse schneiden ein, die Talhänge wachsen nach den Seiten, und das hier liegende Land wird abgetragen. Die Weiterentwicklung erfolgt nun nicht in einer bestimmten Umbildungsreihe, sondern es gibt drei verschiedene Reihen, deren Unterschiede im wesentlichen durch die Intensität und Dauer der Hebung bedingt sind.

Die erste Umbildungsreihe ist gekennzeichnet durch eine starke, lang anhaltende Hebung. In das sich hebende Land schneiden rasch Täler ein; aber sie können in den aufsteigenden Block nicht so rasch einsägen, wie dieser sich hebt, ihre Sohlen kommen über die ursprüngliche Ebene zu liegen und rücken mit dem Lande allmählich empor, obwohl sie tiefer und tiefer werden. Zwischen ihnen steigen Teile der gehobenen Ebene als Riedelflächen empor. Diese werden mehr und mehr verkleinert durch die nach den Seiten hin wachsenden Talgehänge, bis sie verschwinden, wenn die Hänge von Nachbartälern sich in einer scharfen Schneide treffen. Bei weiter dauernder Hebung wachsen die Schneiden nicht in dem Maße empor wie das Land, sondern nur in dem Maße wie die Talsohlen, von denen sie entsprechend unseren früheren Ausführungen durch einen annähernd gleichen Höhenunterschied getrennt bleiben. Wird schließlich der Moment erreicht, wo die stark belebte Erosion der Flüsse stark genug geworden ist, um der Hebung entgegenzuarbeiten, dann gewinnt das sich hebende Land nicht weiter an Höhe, sondern es wird durch die Flüsse und die durch sie ausgelöste Hangzerstörung in dem Maße abgetragen, wie es sich hebt. Die obere Erhebungsgrenze ist erreicht. Solange als die Hebung fort dauert, halten sich die Firste und Gipfel des entstandenen Gebirges in gleichbleibender Höhe. Erst wenn sie nachläßt, vermögen die Flüsse in den hoch gewordenen Sockel einzuschneiden und die zwischen ihnen gelegenen Schneiden herabzuziehen, bis ihre Tiefenerosion sich verlangsamt und die Talsohlen sich verbreitern. Dann stumpfen sich die Schneiden ab und runden sich zu; gerundete Kämme gehen aus ihnen hervor. Schließlich hört die Tiefenerosion auf, die Täler werden flach und breit, und es verflachen sich die Rücken zwischen ihnen; endlich wird das Land fast eben.

In dieser Entwicklungsreihe ist das Stadium das bemerkenswerteste, in dem sich die Schneiden durch längere Zeit in gleichen

Höhen halten. Solange dies der Fall ist, bezeichnet ihre Flur die obere Erhebungsgrenze, über die heraus das Land sich unter den gegebenen Verhältnissen nicht zu erheben vermag. Wir können dann von einer Grenzgipfelflur sprechen als Endergebnis der Erhebung. Ihre Dauer ist kleiner als die der Schneiden, welche sowohl beim Herannahen an die obere Abtragungsgrenze als auch beim Herabsenken darunter zur Entwicklung kommen. Diese scharfen Schneiden haben Abfälle von jugendlichem Charakter, und zwischen ihnen liegen jugendliche Täler, sofern nicht glaziale Erosion störend eingegriffen hat. Diese Jugendlichkeit der Einzelformen hindert uns, das Ganze mit W. M. DAVIS¹ als reif zu bezeichnen; wir sprechen lieber von einem ausgewachsenen Gebirge mit dem Schneidenstadium der Entwicklung, welches ein Gegenstück zum Schluchtstadium der Täler darstellt, aber von kürzerer Dauer ist. Schneiden und Schluchten sind einander entsprechende sich rasch umbildende Voll- und Hohlformen.

Auch die zweite Umbildungsreihe ist durch eine starke Hebung gekennzeichnet, aber diese ist von beschränkter Dauer. Es kommt wie bei der ersten zunächst rasch zur Riedelbildung, aber bevor die Riedel durch die Entwicklung übersteiler Hänge zerstört werden können, hört die Hebung auf. Es kommt nicht zur Schneidenbildung. Das Gebirge wächst nicht zur oberen Erhebungsgrenze empor; es wächst nicht aus, sondern bleibt mittelwüchsig. Seine Höhen bleiben mäßig ebenso wie seine Höhenunterschiede. Sein späterer Formenschatz steht im Zeichen der Umbildung der Riedel, ihrer Zurundung und Verflachung. Es hat unsere zweite Entwicklungsreihe ähnliche Anfangs- und Endstadien wie die erste, aber die charakteristischen Mittelstadien fehlen. Sie werden gleichsam übersprungen.

Die dritte Umbildungsreihe knüpft sich an sehr langsame Hebung und dauert so lange wie diese. Den Flüssen ist nie die Gelegenheit gegeben, rasch in die Tiefe zu arbeiten. Es kommt nicht zur Bildung tief einschneidender Schluchten, sondern es entwickeln sich breite Täler, gleichzeitig verflacht sich das zwischen ihnen gelegene Land. Wieder überspringt die Entwicklung die mittleren Stadien der letzt gewürdigten Umbildungsreihe. Ohne daß es zur Entwicklung von scharf umgrenzten oder zugerundeten Riedeln käme, geht die sich sehr langsam hebende Ebene durch das Stadium der verflachten Höhen' mit Flachtälern in den Rumpf über und erlangt nie größere Höhenunterschiede. Das Bezeichnende an dieser Entwicklung ist, daß das Stadium der Flachtäler, das bei den beiden anderen Entwicklungsreihen so ziemlich am Ende steht, hier dicht am Anfange der Reihe erscheint und in der

¹ Erklärende Beschreibung usw. S. 274 u. 287

Phase der Hebung auftritt, während es bei den anderen Reihen erst nach Abschluß der Hebung zur Entwicklung kommt. Die ganze Umbildung spielt sich in einem einzigen Entwicklungsstadium ab, und dieses währt nur wenig länger als die Hebung. Folgende Tabelle veranschaulicht den verschiedenen Reichtum der drei verschiedenen Umbildungsreihen:

	Hebung			Höhenabnahme			
	← mit Höhenzunahme	mit Höhenkonstanz	→				
I. Ebene	Riedel und Schluchten	Schneiden und Schluchten	Grenzgipfel- flur und Schluchten	Schneiden und Schluchten	Gerundete Kämme Sohlentäler	Verflachte Rücken Flachtäler	Rumpf
	Hebung und Höhenzunahme			← Höhenabnahme →			
II. Ebene	Riedel und Schluchten				Gerundete Riedel Sohlentäler	Verflachte Rücken Flachtäler	Rumpf
	Hebung und bald folgende Konstanz der Höhen					Höhen- abnahme	
III. Ebene					Verflachte Höhen Flachtäler	Rumpf	

Es ist bemerkenswert, daß, lange bevor diese drei verschiedenen Umbildungsreihen in ihren prinzipiellen Verschiedenheiten auseinandergehalten wurden, die für sie bezeichnenden Formengruppen unterschieden worden sind. Die sich mit großen Höhenunterschieden paarenden Schneidenformen der ersten Reihe haben längst den Namen von Hochgebirgsformen erhalten, die gerundeten Riedel mit mittleren Höhen der zweiten Reihe gelten als Mittelgebirgsformen¹, und die verflachten Höhen der dritten Reihe mit ihren geringen Höhenunterschieden sind bezeichnend für das Flachland. Natürlich ist bei einer rein empirischen Unterscheidung nach bloßen Höhenunterschieden und damit sich vergesellschaftenden Formentypen in jene drei Gruppen manches zusammengeworfen worden, was besser getrennt bleibt. Unter Flachland sind sowohl Abtragungsformen, wie z. B. die des nördlichen Belgien, als auch glaziale Aufschüttungsformen wie im norddeutschen Flachlande zusammengefaßt worden. Als Hochgebirgsformen segeln sowohl Schneiden- als auch Gratformen, und das kann angesichts ihrer leicht verständlichen räumlichen Vergesellschaftung nicht wundernehmen. Als Mittelgebirgsformen sind sowohl gerundete Riedel als auch gerundete Kämme beschrieben worden; in der Tat fällt in der Natur die Unterscheidung hier vielfach recht schwer und ist manchmal kaum durchführbar. In vielen Fällen wird es nie möglich sein, festzustellen, ob

¹ Morphologie der Erdoberfläche 1894, II, S. 142. 165.

ein Mittelgebirge durch Zerstörung eines Hochgebirges hervorgegangen ist oder einer mittleren Erhebung seinen Ursprung dankt. In keinem Falle darf man das eine oder das andere ohne weiteres annehmen. Ich kann verstehen, daß W. M. DAVIS¹ angesichts der Unbestimmtheit in der Anwendung der Ausdrücke Hoch- und Mittelgebirgsformen beide vermeiden möchte, aber ihre Handlichkeit ist zu groß, als daß sie sich werden ausmerzen lassen. Sie sind vorzüglich für geographische Beschreibungen; der Morphologe, der Umbildungsreihen aufstellt, wird sie nicht an einer bestimmten Stelle unterbringen können, aber sich nicht verhehlen, daß sie im Verein mit dem Ausdrucke Flachland gute Anknüpfungen an die hier unterschiedenen drei Entwicklungsreihen bieten.

Dieselben können in der Natur isoliert vorkommen oder sich zeitlich und räumlich miteinander verbinden. Eine Hebung kann ganz langsam beginnen, so daß flache Höhen und Flachtäler entstehen; wird sie dann kräftiger, so schneiden die Täler tiefer ein und aus den flachen Höhen entwickeln sich Riedel mit rundlichen Formen, aus diesen gehen bei Fortdauer der Hebung scharfe Schneiden hervor. Wir erhalten also die Entwicklungsreihe: Flachland-, Mittelgebirgs- und Hochgebirgsformen, die wir gewöhnt sind in umgekehrter Folge bei der Abtragung eines ausgewachsenen Gebirges in Erscheinung treten zu sehen. Jene Entwicklungsreihe würde dem entsprechen, was wir in den Alpen zu sehen meinen.

Aber es können sich unsere drei Umbildungsreihen räumlich vergesellschaften. Es können sich die einzelnen Teile des Gebirges verschieden rasch heben, die zentraleren rascher als die randlichen. Jene werden die Umbildungsreihe I erfahren, diese eine mehr nach Reihe II und III neigende Formenfolge durchlaufen. Jene werden Schneidenformen erlangt haben, die diesen fehlen. Das entspricht wieder dem, was wir in den Alpen sehen. Die scharfen Schneiden halten sich an die Mitte des Gebirges, die rundlichen Formen mehr an den Rand. Das gilt im einzelnen auch für die einzelnen Gruppen. Scharf und schneidig sind die Firste der Hohen Tauern und der Zillertaler Alpen; an das Inntal und an das Pustertal treten ihre Ausläufer mit gerundeten Formen heran. Schaut man von den Höhen über Franzensfeste in das Pustertal herein, so erblickt man über dem Bereiche der glazialen Übertiefung breite, sanft ansteigende Hangflächen von ganz unalpiner Art. An den Bergen südlich vom Inntale ferner erkennt man eine Menge von Terrassenresten und Ecken, auf welche SÖLCH² kürzlich die Aufmerksamkeit ge-

¹ Die erklärende Beschreibung S. 286.

² Eine Frage der Talbildung. Festband ALBRECHT PENCK gewidmet. Stuttgart 1918, S. 66.

lenkt hat, die in den inneren Winkeln des Zillertales und Oetztales gänzlich fehlen. Eine viel reichere Talgeschichte offenbart sich in den großen Längstälern als in den inneren Gebirgstälern. Hier geht die Talbildung noch rüstig von statten, und bei der Entstehung der übersteilen Hänge gehen die Gesimse verloren, welche in minder schnell sich vertiefenden Tälern von deren allmählichem, durch Pausen unterbrochenen Einschneiden zeugen. $\sqrt{\text{Tal}}$ formen wie Gipfformen weisen darauf, daß die durch Schneidenformen sich auszeichnenden Gebirgsgruppen Gebiete besonders starker anhaltender Hebung sind; ihre Gipffluren veranschaulichen die obere Erhebungsgrenze, während die Fluchten der großen Längstäler uns als Streifen geringerer erschlaffender Hebung erscheinen. Diese Streifen stehen in den Ostalpen nicht in Beziehung zum innern Gebirgsbau. Die Längstalfucht Inntal, Salzachtal und Ennstal läuft schräge durch die verschiedenen Zonen des Gebirges hindurch, Ähnliches gilt vom Pustertale. Man möchte in diesen verschiedenen Fluchten auf der einen und in den schneidigen Gipffluren Anzeichen einer Großfaltung im Sinne von WALTHER PENCK¹ erkennen. flache Mulden in den einen, flache Gewölbe in den andern. Diese Großfaltung betraf ein in Zerstörung begriffenes älteres Gebirge, hob einzelne Teile mehr als andere, brachte die Gewölbe bis an die obere Abtragungsgrenze und beließ die flachen Mulden darunter, aber brachte sie hoch über die untere Abtragungsgrenze, so daß sie noch in Zerstörung begriffen sind. Es fehlt nicht an geologischen Beweisen für eine solche Großfaltung. Mannigfaltig sind die Anzeichen einer postpliozänen Hebung am Rande der Alpen insbesondere im Süden, wo das marine padanische Pliozän in den Tälern alpeneinwärts ansehnlich ansteigt. Haben wir früher daraus geschlossen², daß die Alpen in ihrer Gesamtheit sich nach ihrer Faltung aufgewölbt haben, so möchten wir heute glauben, daß es sich nicht um die Bildung einer einzigen Aufwölbung handelt, sondern um einen flachen Großfaltenwurf, der maßgebend geworden ist für die Entwicklung der Höhen des Gebirges.

¹ Die tektonischen Grundzüge Westkleinasiens. Stuttgart 1918. S. 115.

² Alpen im Eiszeitalter S. 743. 771. 910.

Sonderdrucke aus den Sitzungsberichten 1917. 1918. 1919.

In Kommission bei Georg Reimer.

Physikalisch-mathematische Klasse.

HELLMANN: Über die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. II	M	1.—
HELLMANN: Über die angebliche Zunahme der Blitzgefahr		0.50
BRAUER: Über Doppelbildungen des Skorpions (<i>Euscorpis carpathicus</i> L.)		0.50
P. GUTHNICK und R. PRAGER: Untersuchung des Lichtwechsels von β Lyrae		1.—
H. WEYL: Über die Starrheit der Eiflächen und konvexen Polyeder		1.—
I. SCHUR: Ein Beitrag zur additiven Zahlentheorie		1.—
PLANCK: Über einen Satz der statistischen Dynamik		1.—
BRANCA: Bedeutung der magmatischen Erdbeben gegenüber den tektonischen		1.—
P. KEMPF: Über Refraktion auf der Sonne und die Höhenlage der Kalziumflocken		1.—
RUBENS: Über die Brechungsexponenten einiger fester Körper		0.50
ORTH: Zur Nomenklatur der Tuberkulose		1.—
A. SCHMIDT: Über Schwingungen in einem unregelmäßig veränderlichen Kraftfelde		0.50
CORRENS: Ein Fall experimenteller Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses		2.—
HELLMANN: Über strenge Winter		1.—
M. HARTMANN: Untersuchungen über die Phytomonaden (Volvocales). II		1.—
LIEBISCH und A. WENZEL: Die Interferenzfarben des Quarzes. II		1.—
EINSTEIN: Über Gravitationswellen		0.50
E. FREUNDLICH: Singuläre Stellen der Lösungen des n -Körper-Problems. 1. Mitteilung		1.—
R. NACKEN: Mischkristallbildung zwischen Kaliumchlorid und Natriumchlorid		0.50
FISCHER und G. ANGER: Synthese des Linamarins		0.50
HELLMANN: Über milde Winter		0.50
CORRENS: Zur Kenntnis einfacher mendelnder Bastarde		2.—
WARBURG: Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen in Gasen. VII		1.—
P. S. EPSTEIN: Über die Struktur des Phasenraumes bedingt periodischer Systeme		0.50
EINSTEIN: Der Energiesatz in der allgemeinen Relativitätstheorie		0.50
H. WEYL: Gravitation und Elektrizität.		0.50
C. NEUBERG: Beziehung der Aldehyde zu der alkoholischen Gärung		0.50
M. BORN: MAXWELLSche Beziehung zwischen Brechungsindex und Dielektrizitätskonstante		0.50
STRUVE: Prüfung der Uhrwerke an den Äquatorealen der Babelsberger Sternwarte		0.50
F. K. GINZEL: Über die Störungen der Bahn des OLBERSschen Kometen usw.		0.50
M. BORN: Die elektromagnetische Masse der Kristalle		0.50
HELLMANN: Über die nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschicht		0.50
R. SÜRING: Über Neigungen von Wolkenschichten		0.50
LIEBISCH: Über Kristalle mit optischem Drehungsvermögen (3 Tafeln)		1.—
HELLMANN: Über warme und kalte Sommer		1.—
M. BORN und A. LANDÉ: Absolute Berechnung der Kristalleigenschaften		1.—
FISCHER: Synthese von Depsiden, Flechtenstoffen und Gerbstoffen. II		1.—
L. LICHTENSTEIN: Gleichgewichtsfiguren rotierender Flüssigkeiten		0.50
PLANCK: Zur Quantelung des asymmetrischen Kreisels		0.50
CORRENS: Experimentelle Verschiebung des Geschlechtsverhältnisses		1.—
E. BECKMANN und E. DEHN: Einwirkung von Furfuröl auf Phenole		1.—
WARBURG: Über den Energieumsatz bei photochemischen Vorgängen. VIII		1.—
RUBNER: Der Aufbau der deutschen Volkskraft und die Wissenschaften		1.—
A. LANDÉ: Elektronenbahnen im Polyederverband		0.50
NERNST: Einige Folgerungen aus der sogenannten Entartungstheorie der Gase		0.50
LIEBISCH und RUBENS: Über die optischen Eigenschaften einiger Kristalle. I (3 Tafeln)		1.—
ORTH: Über Traumen und Nierenerkrankungen		2.—
PENCK: Die Gipfelfur der Alpen		0.50
BECKMANN: Beschaffung der Kohlehydrate im Kriege. Reform der Strohaufschließung		0.50