Werk

Titel: Das Antlitz der Alpen

Autor: Penck, Albrecht

Ort: Berlin

Jahr: 1924

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0012|log712

Kontakt/Contact

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

info@digizeitschriften.de

2. Untersuchungen über die technische Variation in der Herstellung der Festigkeit im Bereiche der Blüte (mechanische Gewebe, Turgor, Drehung von Organen usw.).

In *stammesgeschichtlicher* Beziehung erwähne ich:

3. Die Ableitung gewisser Capillareinrichtungen von umgebildeten reduzierten Haaren (*Holmskjoldia, Trichosporum*);

4. Die Verwertung von Wasserdrüsen (Trichomhydathoden) als Nektardrüsen bei *Holmskjoldia sanguinea* Retz.

Die Blüte dieser Art ist auch dadurch von besonderem stammesgeschichtlichen Interesse, weil sie klar zeigt, welche Umbildungen genügen, um aus einer typisch bienenblütigen Lippenblüte eine ausgesprochene Vogelblume zu machen. Es sind dies reichere Ausscheidung dünnerflüssigen Nektars, Festigung der Krone, Farbenumstimmung und Rückbildung der Unterlippe als Sitzfläche.

5. Die erwähnte Beteiligung an Nektargewinnung nicht angepaßter Baumvögel am Blumenbesuch bzw. deren gelegentliche Blumenschädigungen (Fig. 10—12).

Ich bin damit am Schlusse meiner notgedrungen etwas aphoristisch geratenen Ausführungen angelangt und fasse kurz dahin zusammen:

Die Vogelblumenforschung steht auch heute erst am Anfang der richtigen Einschätzung des Machtfaktors der Vogelwelt als Mitbeherrscher der tropischen und subtropischen Blumenwelt. Unter der heißeren Tropensonne führte der Drang nach Befriedigung seines Flüssigkeitsbedürfnisses den Vogel zur Blume die er sich ausgiebig unterjochte und damit vielfach der Insektenwelt entriß. Ein riesiges noch wenig bebautes Arbeitsgebiet steht hier in gerade zu verführerischer Unberührtheit noch für künftige Forschung offen. Alle jene aber, die sich an dessen geistiger Erschließung wirksam beteiligen wollen, seien nachdrücklich an das Richtwort erinnert, daß jeder denkenden Blumenforschung voranleuchten soll: Das Wundergebilde der Blume ist in einem vielseitig belebten Lebensraum entstanden und daher auch bei Erforschung mit modernster Methodik in seiner Entstehung und den ausschlaggebenden Lebensäußerungen letzten Endes nur aus diesem Lebensraum heraus zu verstehen.

Das Antlitz der Alpen.

Von ALBRECHT PENCK, Berlin.

Keine Stelle hat wohl mehr die Entwicklung unserer Ansichten über das Antlitz der Alpen beeinflußt als Innsbruck. Hoch streben im Norden der Stadt die Mauern der Kalkalpen auf, im Süden öffnet sich die weite Furche des Brenners, begleitet von verschieden geformten Bergen der Zentralalpen; über dem Tal erhebt sich das Mittelgebirge, besetzt mit freundlichen Dörfern; Fruchtgefilde nehmen die Talsohle ein, die mehr als 200 m aufgeschüttet ist. Angesichts dieser Landschaft ist es im hohen Maße verlockend, die Anschauungen zu schildern, die an ihr entwickelt worden sind, und zu zeigen, wie sie im Laufe der Jahre weiter gestaltet worden sind.

Züge, welche den Alpen durch das letzte große Ereignis ihrer Geschichte, durch die Eiszeit, aufgedrückt worden sind, fallen zunächst auf. Bis 2000 m herauf ist der steile Abfall der Kalkalpen auf der Höttinger Alm gerundet, dann beginnen andere Formen. Breitet sich Neuschnee aus, so hüllt er die vom Eise abgenutzten Flächen ein; als breites weißes Band treten sie entgegen. Darüber zittern Schnee in Runsen und kleine Felsgrate dazwischen. Deutlich wird die *Schliffgrenze* sichtbar, bis zu welcher der eiszeitliche Inngletscher reichte. Daneben drängt sich in das Brandjoch das Brandjochkar, eines jener *Kare*, die man als die Betten eiszeitlicher Gletscherwurzeln deuten gelernt hat. Sie fehlen dem niedrigsten Berge in Innsbrucks Umgebung, dem rundlichen Patscherkofel östlich der Brennerfurche, nagen sich aber westlich derselben dermaßen in die höhere Saile, daß diese von Nordosten gesehen scharfgrati erscheint, während sie von Nordwesten als Rundling entgegentritt. Ganz fehlen die Rundformen an der noch höheren Waldrastspitze im Süden. Sie ist ein ganzer Karling, nicht bloß ein halber, wie die Saile. Wir erkennen: wo sich eiszeitliche Gletscher an rundliche Berge lehnten, zerfraßen sie sie und ließen zwischen sich scharfe Grate entstehen. Das geschieht nur von einer gewissen Höhe an, nämlich bis zu derjenigen, bis zu welcher die alten Gletscher die Täler erfüllten; nur über dieser Grenze konnten sie von den Seiten Zuflüsse erhalten, sofern die Kämme des Gebirges ewigen Schnee trugen. Die eiszeitliche Schneegrenze und die über sie ansteigende Oberfläche der alten Gletscher bestimmt die untere Grenze der Kare. Von einer bestimmten gebirgseinwärts größer werdenden Meereshöhe ändert sich der Formenschatz der Alpen, weichen die rundlichen Formen zackigen.

Äußerst vielgestaltig ist der Formenschatz der Kare. Bald sind es nur kleine Nischen, eingefressen in Rundlinge, bald sind es lehnsesselähnliche Formen mit gleichsam eingedrücktem Boden, auf dem sich über undurchlässigem Gestein ein See breitet, bald ist der Boden abschüssig. Verzweifelnd steht der beschreibende Systematiker vor solcher Mannigfaltigkeit der Formen, die der Morphologe klar erfaßt, indem er das Kar als ein von Felsen überragtes Bett eines alten Hängegletschers betrachtet, der entweder selbständig endete, oder einen Talgletscher speiste. Zur Entwicklung konnten solche Hängegletscher nur an Konkavitäten der Berghänge kommen, welchen Ursprungs dieselben auch sein mögen. Und wenn einmal eine solche Konkavität eine andere Erstreckung hat, als die obere Gletschergrenze, da kann örtlich sich die Flucht der Kare einmal etwas anders senken, als letztere. Ist kein Platz auf dem von ihnen bevorzugten Nordabfalle einer Gebirgskette, wie auf den Nordwänden

der hinteren Karwendelkette, dann fehlen hier die Kare, und beschränken sich auf die meist von ihnen gemiedene Südseite. Gleichgültig ist der Ursprung der Konkavität für die Entwicklung des Hängegletschers, ob sie sich an Gesteinsgrenzen knüpft, oder den Fuß einer alten Landstufe, ob sie bloß Gehängeform ist, oder ob sie bereits zu den obersten Talformen gehört. Viele Kare sind nichts anderes als glazial umgeformte Talanfänge, wie z. B. das Soiernkar, und keine scharfe Grenze ist zwischen langgedehnten Karen und dem Troge, der bezeichnenden Form glazial umgestalteter Täler, zu ziehen.

Alle Alpentäler, die eiszeitliche Gletscher geborgen haben, zeigen eine charakteristische Eigentümlichkeit: *Die Übertiefung*. D. h. die Täler laufen nicht, wie es sonst die Regel ist, gleichsohlig zusammen, sondern das eine mündet stufenförmig in das andere; es hängt über demselben. Ein Musterbeispiel bietet wieder Innsbruck. Die Sohle des Brennertales mündet nicht in das Inntal, sondern oben bei Igls auf dem Mittelgebirge. Um den Inn zu erreichen, muß die Sill in enger Schlucht einschneiden, in der die Brennerbahn unter vielen Erschwernissen erst bei Matrei die Höhe erreicht. Während also die Sill in einer engen Klamm dahinschäumt, hat der Inn einen breiten Talboden aufgeschüttet. Im übertieften Tale ist die Flußwirkung entgegengesetzt der im hängenden Nachbarn. Dieser Gegensatz ist das Bezeichnende für das Wesen der Übertiefung, nicht etwa bloß das Auftreten von Hängetälern. Sonst müßte man, wie es tatsächlich geschehen ist, den großen Kanjon des Colorado für übertieft halten. Man kann sich kaum einen größeren Gegensatz zwischen dessen enger Schlucht und einem breiten übertieften Alpentale mit aufgeschüttetem Boden denken. Daß nun bald das Haupttal, bald das Nebental übertieft ist, erklärt sich daraus, daß die heutige hydrographische Ordnung im Gebirge nicht mit der Ordnung der eiszeitlichen Gletscher übereinstimmt. Über den Seefelder Paß floß ein mächtiger Gletscherast in das Isartal. Er war der Hauptstrom, der aus dem Karwendelgebirge kommende Isargletscher war Zufluß. Stufenförmig mündet daher das Isartal bei Scharnitz in die Bahn des Seefelder Gletscherastes, der heute der unbedeutende Drahmbach folgt: Übertieft ist immer die Hauptbahn des Gletschers; es hängt über ihr die Bahn des Zuflusses, mag dieselbe, wie meist, Nebental, oder, wie manchmal, Haupttal sein. Und weiter, wenn ein aus einem engen Nebental kommender Gletscher mit steilem Gefälle in ein breites Haupttal mit langsam sich senkender Gletscheroberfläche hineinstieß, so trieb er seine Übertiefung in den Boden von jenem hinein. Auch dafür ein Beispiel aus der Gegend von Innsbruck: Die Übertiefungsfurche des Stubaitales mündet im Mittelgebirge, das sich an der Brennerfurche südwärts erstreckt, stumpf beckenförmig. Ebenso münden die großen übertieften Betten der großen eiszeitlichen Gletscher im Vorlande der Alpen in großen *Zungenbecken*. Diese bergen die großen Alpenseen, welche insgesamt im Bereiche der eiszeitlichen Vergletscherung gelegen, die erste Veranlassung gaben, an deren starke Erosionswirkung zu denken.

Am großartigsten ist die Übertiefung in den *Trogtälern* entfaltet. So nannte EDUARD RICHTER die schmalen und tiefen Täler mit U-förmigem Querschnitt, die namentlich in den Hohen Tauern und in den Zillertaler Alpen vorkommen. Ihre steilen Wände grenzen in der Trogschulter gegen höheres, flaches Gelände ab, auf dem die Kare münden, stumpf enden sie gegen solches am Trogschluß; alle Seitentäler münden auf hohen Stufen. Man denke nur an die Gründe des Zillertales. Es handelt sich um eigenartige Formen, wie sie nur in vergletschert gewesenen Gebieten vorkommen; Seitenstücke zu ihnen sind die Sacktäler Norwegens. Aber nicht alle Täler der Alpen sind Tröge; schon das Zillertal ist unterhalb Mayerhofen kein solches, und die bei Innsbruck zusammenlaufenden Täler sind es auch nicht. Es ist offenbar, daß die eiszeitlichen Gletscher ihre Bahnen in sehr verschiedener Weise ausgebildet haben. Darüber erhält man am leichtesten Klarheit, wenn man sich Vorstellungen über den voreiszeitlichen Zustand der Alpen zu machen versucht.

Die Gegend von Innsbruck bot hierfür verschiedene Anhaltspunkte. Das Mittelgebirge ist offensichtlich ein alter Talboden. Nun liegen die ältesten Ablagerungen des Eiszeitalters im Alpenvorlande auf einer Abtragungsfläche; eine solche muß sich gebirgseinwärts in Form breiter Talböden fortgesetzt haben. Auf dem Wege einer Korrelation der Formen im Gebirge und im Gebirgsvorlande wurde der durch das Innsbrucker Mittelgebirge angedeutete alte Talboden mit der präglazialen Abtragungsfläche des Alpenvorlandes in Beziehung gebracht, und in der Folge ist es üblich geworden, die unteren breiten Terassen unserer Alpentäler, z. B. auch das Überetscher Mittelgebirge bei Bozen, als *präglazialen Talboden* zu deuten. Das Innsbrucker Mittelgebirge wird vom rundlichen Patscher Kofel überragt; die Saile ist noch ein halber Rundling, und die Waldrastspitze ist ein solcher gewesen. Kurz das morphologische Auge erblickt um Innsbruck eine vorglaziale Landschaft mit Mittelgebirgscharakter, in jenem Zustande der Entwicklung, den W. M. DAVIS als Reife bezeichnet. Emsig wurden in den gesamten Alpen nach Spuren eines früheren Mittelgebirges gesucht; mehrfach wurden solche gefunden, und der Schluß drängte sich auf, daß die Alpen ein glazial umgeformtes Mittelgebirge seien, dessen rundliche Gipfel von Karen angefressen und dessen bald engere, bald breitere Täler durch die schürfenden Gletscher übertieft seien. Aber die als präglazial erkannten Talböden führten zugleich zu einer weiteren folgenschweren Erkenntnis. Nicht bloß die großen Talseen des Gebirges, auch seine Steilformen, die ihm den Charakter des Hochgebirges aufdrücken, sollten ein Werk der Gletscher sein.

Diese um Innsbruck erwachsene Anschauung läßt sich heute für das ganze Gebirge nicht mehr halten. Es gibt noch andere Ursachen, welche die

Zuschärfung seiner Grate bewirkt haben können. Auf sie führte die folgerichtige Auswertung dessen, was der präglaziale Talboden lehrt. Er liegt allenthalben erheblich höher als die ihm entsprechende Oberfläche des Alpenvorlandes. Man kann ihn mit ihr nicht verbinden, ohne an eine Hebung des Gebirges zu denken. Je weiter meines Freundes BRÜCKNER und meine eigenen Untersuchungen über die Alpen im Eiszeitalter um die Alpen herum geführt wurden, desto zahlreicher wurden die Beweise dafür, daß sich der Alpenkörper während des Eiszeitalters seit der Faltung seiner Schichten gehoben hat. Über dem präglazialen Talboden wurden noch höhere Talböden bekannt, von denen solche auf der Südseite des Gebirges mit marinen Pliozänschichten in Verbindung gebracht werden konnten und damit als pliozän erwiesen wurden. Diese Nachweise belebten die Forschung. Man begann die ältere Talgeschichte der Alpen zu studieren, und gewann aus den Talterrassen nicht bloß Anhaltspunkte für ein hohes bis in das Miozän heraufreichendes Alter mancher Täler, sondern auch für eine seit dem jüngeren Tertiär erfolgende, durch gelegentliche Ruhepausen unterbrochene *Hebung der Alpen*, die sich nicht an die Faltung ihrer Schichten knüpft. War nun die Hebung *epirogenetisch?* Geschah sie im ganzen Alpenkörper gleichmäßig, oder war sie *orogenetisch*, indem sie einzelne Ketten mehr oder weniger betraf? Darüber hat das Studium der Talterrassen, die man allgemein als Überreste alter Talböden deutete, kein befriedigendes Ergebnis geliefert. Ist es schon recht schwierig, den präglazialen Talboden zu verfolgen, so bleibt bei der Verknüpfung hochgelegener Talbodenreste ein so weiter Spielraum, daß auf die Gefällsverhältnisse sehr alter Talstücke kaum noch mit Sicherheit geschlossen werden kann. Es mußte daher behufs Beantwortung der Frage der Blick auf andere Erscheinungen gelenkt werden. Er richtete sich von den Tälern mit ihren Terrassenspuren zu den Höhen.

Stehen wir auf einem höheren Alpengipfel, so sehen wir ringsum die Gipfel wie ein versteinertes Meer auf und ab wogen. Aber wie die Wellen des Meeres sich nicht weit vom mittleren Meeresspiegel entfernen, so haben benachbarte Gipfel stets ungefähr gleiche Höhe. Wir können uns durch ihre Spitzen eine ideale Fläche gelegt denken. Das ist die *Gipfelflur*. Sie kappt das Gebirge mit seinem verwickelten Schichtenbau in einheitlicher Weise. Sie erscheint auf den ersten Blick als eben. Aber in Wirklichkeit wogt sie im Gebirge in ähnlicher Weise auf und ab, wie die Gipfel in ihr. Das zeigt sich besonders deutlich wieder in der Gegend von Innsbruck. Östlich der Brennerfurche schwillt sie in den Zillertaler Alpen auf 3500 m an, westlich davon in den Ötztaler Alpen auf mehr denn 3700 m; nahe der Furche selbst bleibt sie unter 2500 m. Gegen das Inntal hin biegt sie in beiden Alpengruppen gleichfalls unter 2500 m herunter, um sich nördlich desselben im Wetterstein- und Karwendelgebirge wieder darüber zu erheben. Mit diesem Auf und Ab der Gipfelflur verknüpfen sich bestimmte Gipfelformen. Jede Aufwölbung der Gipfelflur zeigt im Herzen der Alpen scharfgratige Formen, jede Einbiegung rundliche. Es wiederholt sich an der Gipfelflur ein ähnlicher Formengegensatz, wie an der eiszeitlichen Schneegrenze und an der alten Gletscheroberfläche: Die Rundformen halten sich in geringerer Höhe, die Schneiden steigen höher an. Anfänglich wurden sie auch als Folgen der Annagung durch Kare angesehen. Aber je tiefer man in das Innere der Alpengruppen mit hoch aufgewölbter Gipfelflur eindringt, desto weniger deutlich werden die Kare. Die Kare der Zillertaler Alpen sind allesamt viel steilbödiger als die niedrigeren Gebirge. Im letzteren sind die Karseen häufig. Im Zillertal wird der eine Schwarzsee gebührend bewundert. In den höchsten Gebirgsteilen fehlen die Kare vielfach. Bezeichnenderweise hat man in der Schweiz nicht einmal einen Namen für sie, so selten sind sie. In den höchsten Gebirgsteilen steigen die Talgehänge allenthalben, nicht bloß über den Karen, sondern auch in den Karscheiden steil an, treffen sich die von Nachbartälern allenthalben in scharfen Schneiden, die im Bereich der Kümmerkare lediglich etwas mehr zugeschärft sind. Hier wird klar, daß die Grate des Hochgebirges nicht bloß der Einnagung der Kare in die Hänge ihren Ursprung verdanken, sondern die Folge des Verschneidens sehr steiler Hänge sind. Solche aber müssen überall dort zur Entwicklung kommen, wo die Tiefe der Täler im Vergleich zu ihrem Abstande voneinander sehr groß wird. Scharfe Grate aber sind äußerst gebrechliche Gebilde. Sie werden rasch zerstört, wenn die Ursache aufhört, die zu ihrer Entstehung geführt hat, nämlich das tiefe Einschneiden der Täler. Ihr Bestehen beweist die Fortdauer rascher Tiefenerosion, die ihrerseits bedingt wird durch die Fortdauer der Hebung. Die Schneiden des Hochgebirges zeigen daher Gebiete andauernder lebhafter Hebung an. An diesem Ergebnisse wird nicht geändert durch die Tatsache, daß das Ansteigen der Gehänge nicht immer ganz gleichmäßig geschieht, sondern da und dort selbst durch Terrassen unterbrochen wird, falls nur allgemein die Talgehänge übersteil sind, d. h. vom Tale bis zum Firste so steil ansteigen, daß jedes gelockerte Gesteinsstück in die Tiefe stürzen muß.

Die Schneiden im Bereiche der aufgewölbten Gipfelflur bezeichnen also Gebiete andauernder Aufwölbung des Gebirges. Die Einbiegungen der Gipfelflur am Längstale des Inn und an der Brennerfurche dürfen wir indes nicht auf frühere Senkungen zurückführen. Daran hindert uns die Tatsache, daß sie im Bereiche des gehobenen präglazialen Talbodens gelegen sind. Sie sind minder gehobene Teile, wo die zwischen den Tälern gelegenen Talstücke von den sich fortbildenden Steilhängen aufgezehrt worden sind. Es bleibt daher unser früheres Ergebnis bestehen: Seit Faltung ihrer Schichten sind die Alpen um Innsbruck in ihrer Gesamtheit gehoben worden, im Bereiche ihrer

höchsten Erhebungen, im Zillertal, Ötztal und in den nördlichen Kalkalpen mehr, im Bereiche ihrer großen Längstäler weniger. *Die Gipfelflur spiegelt die Aufwölbung großer Sättel wieder, die durch gehobene Einmuldungen getrennt werden.* Sie stellen sich dar als ein System von flachen, sich fortbildenden *Großfalten.* Das lehrt die Gegend von Innsbruck.

Gehen wir weiter nach Osten, so zeigt sich folgendes: An die Gipfelflur treten in den nördlichen Kalkalpen *Hochflächen* von plateauförmigem Charakter heran, die man anfänglich wohl als Schichttafeln gedeutet hat, die aber in Wirklichkeit auch Abtragungsformen sind, aber nicht ebene, sondern unebene. Aus dem Dachsteinplateau steigt der Dachstein mit seinen Gefährten empor als eine isolierte Berggruppe, die im Gebirgsbau nicht bedingt ist. Sie ist der Überrest einer höheren Erhebung, die ringsum abgetragen ist, wobei sich große *Fußflächen,* sog. Piemontflächen entwickelten. Nachdem die Abtragung lange Zeit gewirkt hatte, ist eine neuerliche Hebung eingetreten, erst langsamer, so daß die Flüsse im Kalkplateau einsickerten und hier unterirdisch weiterflossen, *Höhlen* ausnagend, die sowohl auf dem Dachsteinplateau wie auch im Tennengebirge erst in unserem Jahrhundert entdeckt wurden. Eine Fortdauer der Hebung brachte auch diese Höhlenflüsse zum Verschwinden; nur die wasserreichen, aus den Zentralalpen kommenden Gerinne vermochten das aufsteigende Land in engen Quertälern zu zersägen. Diese Arbeit hat die Salzach noch nicht vollendet; noch ist sie in den Öfen in raschem Einschneiden begriffen. Bei der Hebung wurden die alten Abtragungsflächen verbogen, gelegentlich verworfen. Aber indem der Kalk das Wasser aufschluckt, ist ihre Oberfläche dessen abtragenden Wirkungen entzogen, und hat sich trotz tiefgreifender Verkarstung und der ihr folgenden Abschleifung durch Plateaugletscher ziemlich intakt als ein Überbleibsel aus alter Zeit, mutmaßlich aus dem Miozän, erhalten.

Nicht bloß durch die jedenfalls sehr alten gehobenen Hochflächen im Bereiche der Kalkalpen erhalten die östlichen Ostalpen ein sehr charakteristisches Gepräge, sondern auch durch Ablagerungen in den großen Längstälern. Jüngeres Tertiär findet sich im Längstale der Enns, in und neben dem der Mürz, in dem der Mur und namentlich im Klagenfurter Becken. Durchweg handelt es sich um kontinentale, also auf dem Lande entstandene Gebilde, deren Schichtflächen, also ehemalige Landoberflächen, die *Böden von versenkten Bolsonen* zwischen den Ketten des Gebirges darstellen. Neben den durch die Hochflächen der Kalkalpen angezeigten Großsätteln haben wir Großmulden; deren Erfüllung mit grobem aus den Zentralalpen stammendem Materiale erweist, daß die letzteren zur Zeit ihrer Entstehung in lebhaftem Aufsteigen begriffen waren. Hier wird zur Gewißheit, was wir bei Innsbruck aus den Formen erschlossen, nämlich, daß die Längstäler Einmuldungen folgen, welche nicht durch den inneren Bau des Gebirges bestimmt, sondern jünger sind. Diese Einmuldungen haben hier wieder nicht die Längstäler gebildet, sondern letztere sind erst später in ihnen eingeschnitten worden, nachdem ihre Schichten stark zerknittert worden sind. Das muß derjenige immer im Auge haben, welcher die Talgeschichte der Alpen bis in das Tertiär hinein verfolgt: Die diesem angehörigen Oberflächenstücke liegen nicht mehr ungestört; wer ostalpine Formenstudien betreibt, darf insbesondere im Bereich der großen Längstäler nicht aus der gleichen Höhe von benachbarten alten Flächenstücken auf gleiches Alter derselben schließen.

Noch weiter im Osten tauchen die Alpen unter den Ablagerungen am Westrande des pannonischen Beckens unter, oder brechen gegen die des Wiener Beckens ab. Hier erwuchs die Vorstellung, daß die Alpen nach ihrer Faltung eingebrochen seien. Aber die Untersuchung der jungtertiären Ablagerungen in der Steiermark ergibt, daß sie am Rande eines sich hebenden Gebirges entstanden sind. Hebung und Senkung liegen hier dicht nebeneinander. Hier kann man die zu den *Abtragungsformen gehörigen korrelaten Ablagerungen,* zu letzteren die korrelaten Formen finden. AIGNER, SÖLCH und WINKLER haben hier mit erfolgreichen Untersuchungen begonnen, welche nicht nur das geologische Alter gewisser alpiner Formgemeinschaften aufhellen, sondern vor allem auch Licht auf den Formenschatz jenes Teiles der Ostalpen breiten, der von der eiszeitlichen Vergletscherung nicht, oder nur sehr wenig betroffen worden ist. Hier zeigte ferner WALTHER PENCK die volle Ähnlichkeit der zum Karste hin sich streckenden Ausläufer der Alpen mit den Großfalten des nordwestlichen Argentinien.

Ihm ist auch die nähere Entwicklung der Entstehung und Bedeutung des *Primärrumpfes* zu danken. Daß eine außerordentlich langsame Erhebung eines Landes, durch die seitliche Erosion der Flüsse wett gemacht werden kann, so daß sich kein gegliedertes Relief entwickelt, hat 1918 bereits SÖLCH gezeigt und von einem also entstandenen Trugrumpf[1]) gesprochen, obwohl dessen Oberflächengestalt keineswegs bloß die eines Rumpfes vortäuscht, sondern nach Form und Entstehung wirklich einen solchen darstellt, nämlich eine beinahe ebene Abtragungsfläche. WALTHER PENCK lehrte nun, daß die gewöhnlichen abtragenden Vorgänge, daß Erosion und Denudation ganz allgemein Rumpfflächen dann bilden, wenn sie mit gleicher Schnelligkeit arbeiten wie die Hebung. Setzt die Hebung also sehr langsam ein, so entsteht an ihrer Stelle eine fast ebene Rumpffläche als erstes Glied einer Entwicklung, die so lange spielt, als die Hebung andauert, und erst nach deren Erlöschen mit der Bildung einer ganz ähnlichen Rumpffläche ab-

[1]) SÖLCH denkt sich den Rumpf stets durch Wegnahme von Gliedern hervorgegangen. Das ist nicht durch den Sprachgebrauch geboten. Ein Schiffsrumpf bleibt ein Rumpf, ob man ihm die Masten erst einsetzt oder sie schon weggenommen hat.

schließt, der Peneplain von W. M. DAVIS, der *Endrumpffläche* von WALTHER PENCK. Zwischen beiden Typen von fast ebenen Abtragungsflächen können die verschiedensten Relieftypen zur Entwicklung kommen, je nach der Intensität der Hebung, ein Mittelrelief bei geringerer, ein Steilrelief bei starker Intensität.

Dem *Mittelrelief* gehören die Hochflächen der nördlichen Kalkalpen an, die wir bereits kennengelernt haben. Es kehrt in den südlichen Kalkalpen, östlich von der Etsch wieder, in den lessinischen Alpen, und reicht in seinen Ausläufern bis in die Dolomiten hinein. KLEBELSBERG und SCHWINNER haben diese vielfach recht unebenen Abtragungsflächen näher gewürdigt. Sie knüpfen sich, wie in den nördlichen Kalkalpen, meist an Kalkmassen, welche den Niederschlag aufsaugen, und damit die abtragende Wirkung des abfließenden Regenwassers hindern. Ihre Zerstörung geschieht dadurch so gut wir gar nicht an ihrer Oberfläche, sondern schreitet von ihren Rändern aus fort, indem das Sockelgestein stärker abgetragen wird als der Kalk, wobei dieser dabei untergraben wird. Steile Felswände umranden daher meist die Kalkhochflächen. Der Schlern ist eine solche. Randliche Untergrabung hat von ihm bereits zwei Türme losgelöst, die bei geringer Höhe echte Steilformen des Hochgebirges zeigen. Am benachbarten Rosengarten ist der Kalk stärker gehoben, die Hochfläche wird hier bereits durch eine scharfe Schneide ersetzt, dadurch entstanden, daß sich die beiden Untergrabungswände oben unter spitzem Winkel treffen. In den Drei Zinnen sind drei Zacken von der früheren massigen, von der alten Hochfläche begrenzten Erhebung übriggeblieben. So ist es vielfach in den Dolomiten. Ihre steilen Hochgebirgsformen sind durchweg bei der Abtragung einer alten Hochfläche mit Mittelrelief dort hervorgegangen, wo diese stark gehoben ist; sie hat sich lediglich dort erhalten, wo die Hebung geringer war. Deutlich erkennen wir hier, daß es die Größe der Hebung ist, die die Entwicklung des Steilreliefs nach sich zieht. Dessen Gipfelflur gibt aber keineswegs die Höhenlage der ehemaligen Hochfläche wieder. Sie liegt durchweg tiefer und hat von dieser ihre Wellungen nicht ererbt, sondern erscheint als ein Gebilde eigener Art. Wie die Karlinge aus Rundlingen hervorgehen, die von eiszeitlichen Gletschern benagt worden sind, und dabei ihre ursprüngliche Form ganz verlieren, so sind die Steilformen der Ostalpen in weitem Umfange aus Mittelformen hervorgegangen, welche sehr hoch gehoben worden sind. Die Alpen um Innsbruck sind stärker gehoben als die weiter östlich und im Süden gelegenen. Das alte Mittelrelief ist in ihnen bis auf kleine Reste im Karwendelgebirge aufgezehrt worden; und verschwunden sind im Bereiche der Längstäler, weil zu hoch gehoben, die hier wahrscheinlich vorhanden gewesenen Bolsonablagerungen; zur Entwicklung gekommen ist eine Gipfelflur, die ursprünglich tiefer gelegen war als die Hochfläche mit dem Mittelrelief, nun aber infolge stärkerer Hebung über diese weit hinaufgekommen ist. Nur wo im Bereiche der Längstäler die Hebung geringer war, haben sich Formen der alten Hochfläche vererbt; ihre Nachfolger liegen in den Rundlingen vor.

Wenn sich auch in den nördlichen und südlichen Kalkalpen ein uraltes Mittelrelief erhalten findet, und es nicht unwahrscheinlich ist, daß Stücke desselben auch in den rundlichen Formen der östlichen Zentralalpen vorkommen, so darf man doch nicht glauben, daß es sich über die ganzen Ostalpen einheitlich spannte. Es bog jeweils im Bereich der großen Längstäler tief herab und war in jeder Gruppe individuell entwickelt. Auch ist wahrscheinlich, daß es stellenweise, ebenso wie heute, von Hochgebirgspartien mit Steilrelief durchstoßen wurde. Ferner ist keineswegs anzunehmen, daß es überall, wo es heute auftritt, geologisch gleich alt ist. Ist es in einzelnen Gebirgsgruppen nur wenig verbogen, hier und da auch verworfen, so ist es im Bereiche der Längstäler gleichsam in die Tiefe gequetscht und manchmal von den Seiten her überschoben; hier ist eine deutliche Raumminderung eingetreten. Hier wird ersichtlich, daß der Großfaltenwurf eine tangentiale Komponente besitzt, wodurch er dem Vorgange der Schichtfaltung näher rückt als demjenigen erscheint, der nur an die Aufwölbungen in den Sattelregionen denkt. Ja an einigen Stellen geht der Großfaltenwurf sogar in einen *Kleinfaltenwurf* über. Das ist im bayerischen Gebirge der Fall. Neben dem jäh aufragenden Wettersteingebirge erstreckt sich die Senke von Garmisch-Partenkirchen. Nur stellenweise, nicht überall, folgt sie leicht zerstörbaren Gesteinen, durch deren Ausräumung sie erklärt werden könnte, und sie endet gegen Westen am Eibsee unter einer Felswand von 500 m Höhe, die weder auf Unterschneidung durch Wasser oder Eis, noch durch Untergrabung durch ein leicht zerstörbares Sockelgestein zurückgeführt werden kann. Hier muß in jüngster geologischer Vergangenheit eine große Verwerfung geschehen sein. Hier liegt eine jugendliche Versenkung neben einer recht jungen Erhebung, eine Mulde neben einem Sattel. Jäh schnellt die Gipfelflur hier herab. Der Großfaltenwurf der Alpen ist orogenetisch in wörtlichem Sinne, er ist gebirgsbildend. Er ist es aber auch in geologischem Sinne, nämlich der Ausdruck einer Raumminderung. Schlingen sich auch manche Beziehungen vom Großfaltenwurf zur alpinen Gesteinsfaltung, so decken sich die Gebiete beider doch nicht. In den südlichen Kalkalpen sind im Bereiche der Dolomiten bis zur Poebene hin vorwiegend flach gelagerte Schichten in das Bereich der jungen Hebung einbezogen worden, während die stark gefalteten Molasseschichten Oberbayerns außerhalb derselben belassen worden sind. *Es gehört das Gebirge nicht einem bestimmten Strukturtypus an*, es greift aus demselben heraus und schließt Teile desselben aus. Form und Struktur decken sich nicht.

Das gilt auch im einzelnen. Erstaunlich wenig gibt sich der komplizierte Bau mancher Alpenteile in ihrer Oberflächengestalt zu erkennen. Der

Deckenbau der Schweizer Alpen verrät sich nicht durch einzelne Stockwerke in der Erhebung des Gebirges. Diese ist das Werk der späteren Großfaltung; die längst in ihrer geographischen Individualität erkannten Gruppen der Alpen zeigen die Großsättel an. Aber nirgends sind die Wellungen der Großfaltung intakt. Die sich aufwölbenden Großsättel sind schon während ihrer Entstehung durch das rinnende Wasser und die ihm folgende Denudation abgetragen worden. Die Großmulden hatten ein verschiedenes Schicksal: Dort, wo sie sich tief einbogen, wie im Osten des Gebirges, wurden sie verschüttet, wo sie aber in die Gesamthebung des Gebirges mit einbezogen wurden, da wurden sie zerschnitten. Auf beweglicher Bühne spielt die Talbildung in den Alpen. Die Großfaltung wirkte auf sie richtungsbestimmend. Von den Großsätteln strahlen die Täler aus; in den Großmulden laufen sie zusammen und werden von orogenetisch angelegten Längstälern zusammengefaßt. Die Intensität des Großfaltenwurfs bestimmt die Intensität der Erosion und der ihr unmittelbar nachfolgenden Denudation. Wo große Höhenunterschiede zur Entwicklung kamen, entstanden Steilformen, und sanftere bildeten sich an den Stellen geringeren Ausmaßes der relativen Höhen. Danach müssen wir annehmen, daß die *Reliefenergie* des Gebirges, solange sein Großfaltenwurf dauert, in den Großsätteln immer größer als in den Großmulden gewesen ist, und wenn wir in den letzteren ein präglaziales Mittelgebirgsrelief antreffen, so dürfen wir daraus nicht auf ein gleiches präglaziales Relief in den Großsattelregionen schließen. Hier fanden die eiszeitlichen Gletscher höchst wahrscheinlich ein anderes Relief vor, als in den den Großmulden folgenden Tälern. Hier aber auch konnten die eiszeitlichen Gletscher eine andere Wirksamkeit entfalten als in den Großmulden. *Das typische Trogtal ist auf sich hebende Großsattelregionen beschränkt.* Hier ist die glaziale Erosion sichtlich sehr groß gewesen. Die Gletscher haben bereits vorhandene enge Taleinschnitte U-förmig ausgeweitet und vertieft. Daß sie dabei Stufen an den Talmündungen bilden konnten, bedarf keiner weiteren Erörterung. Ob aber alle Talstufen, namentlich die in den übertieften Tälern selbst, auf glaziale Erosion zurückzuführen sind, darf deswegen nicht geschlossen werden. Es ist auch denkbar, daß sie sich an ältere Gefällsbrüche knüpfen. Der Entscheid kann nur durch Einzeluntersuchungen gewonnen werden, die die Herausarbeitung von Formunterschieden einzelner genetischer Typen ins Auge fassen müssen.

Gering war die glaziale Erosion allenthalben in den großen Längstälern, wo äußerst mächtige Eismassen aufgestaut waren. Die Berghänge oberhalb des Innsbrucker Mittelgebirges sind bis hoch hinauf mit Moränen überkleidet, ein Beweis dafür, daß sie nicht unter glazialer Erosion gelitten haben. Daß aber auch nicht der ganze Einschnitt des Inntales in das Mittelgebirge ein Werk glazialer Erosion ist, erscheint mir sicher, seitdem ich nachgewiesen habe, wie tief die Höttinger Breccie, die der großen Interglazialzeit in der Mitte des Eiszeitalters angehört, unter den präglazialen Talboden herabreicht. Dieser mußte wegen seiner Höhenlage in jeder Interglazialzeit auch vom Wasser zerschnitten werden; die letzte Vergletscherung fand ihn schon tief zertalt vor; tief eingeschnitten in den präglazialen Talboden ist der Lauf der Sill aus der letzten Interglazialzeit. Er mündet westlich vom Berge Isel; ihm folgt die Brennerstraße, seine Stufenmündung in Serpentinen ersteigend.

Es wechseln in den Alpen Stellen großer und geringer glazialer Erosion, und begreiflich wird, warum die einen von sehr starker Glazialerosion sprechen, und die andern sie verneinen. Die Wahrheit liegt nicht in der Mitte, sondern bald hier, bald dort. Das ist verständlich. Wo das Abströmen des Eises rasch geschah, war dessen erodierende Wirkung groß, wo es langsam erfolgte, gering, ja minimal. Es muß ferner immer im Auge behalten werden, daß die Täler des Gebirges nicht als Betten einer Bewegung entstanden sind, sondern erst während der Eiszeit solche wurden. Bald waren sie für die abströmenden Eismassen zu eng und seicht, und mußten erweitert und vertieft werden, bald waren sie zu weit, und blieben in ihrer präglazialen Form nahezu erhalten, wobei ihre Gehänge mit einer Decke von Moränen überzogen wurden, wie wir es bei Innsbruck sehen. Die verschieden starke Entfaltung der Erosion in den Alpentälern lehrt uns lediglich, daß das Eiszeitalter eine Episode in der Abtragungsgeschichte des Gebirges ist, eine Episode freilich, die dem größten Teile der Alpen allerdings recht charakteristische Züge aufgedrückt hat, und welche im allgemeinen als eine Periode gesteigerter Abtragung zu gelten hat. Das lehren die ungeheueren Schuttmassen, welche die eiszeitlichen Gletscher aus dem Gebirge heraus auf das Vorland der Alpen gebracht haben, und welche von den von ihnen entströmenden Flüssen nicht fortgeschafft werden konnten.

Diese Abtragung wirkte indes während des ganzen Eiszeitalters nicht fortlaufend. Sie wurde während der Zwischeneiszeiten durch wiederholte Zuschüttungen der Alpentäler unterbrochen. Solche erfolgten namentlich im Inntale. In der letzten Interglazialzeit wurde letzteres bis zur Höhe des präglazialen Talbodens herauf mit Schotter, Sand und Ton erfüllt, und dann schnitt der Inn wieder ein. Neben der alten felsigen Terrasse ist eine jüngere Schotterterrasse entstanden. Namentlich oberhalb Innsbruck ist sie gut entfaltet, im Unterinntale baut sie den Gnadenwald auf. Lang ist erörtert worden, warum diese Aufschüttung erfolgte. Erst nach und nach haben sich die Meinungen dahin geeint, daß sie infolge von Krustenbewegungen geschah. Es bog sich in der letzten Zwischeneiszeit das Inntal ein, ein See entstand, der zugeschüttet wurde; dann hob sich das Land wieder, und zwar in ungleicher Weise. Der Spiegel des alten Sees liegt oberhalb Innsbruck 220 m, unterhalb, am Vomperloche, nur 100 m über der Stadt. Es vollzog

sich im Inntale eine Art Schwingung der Erdkruste. Gleiches hat sich auch in anderen Alpentälern, z. B. im Isartale ereignet. Derartige Schwingungen können im Gefolge der Eiszeit auftreten. Die Last einer Vergletscherung drückt das Land ein, ihr Schwinden hat ein Wiederaufsteigen zur Folge, wie solches in Skandinavien geschieht. Man kann daran denken, daß auch in den Alpen derartige *isostatische* Bewegungen vonstatten gegangen sind, wenn auch hier die Mächtigkeit und namentlich die Ausdehnung der Vergletscherung weit geringer gewesen ist als im Norden Europas. Aber die Beschränkung solcher Schwingungen auf einzelne Täler und ihr Fehlen in benachbarten macht nötig, neben isostatischen Bewegungen auch orogenetische zur Erklärung der quartären Talgeschichte der Alpen heranzuziehen. Wenn isostatische Bewegungen vorhanden waren — und daran zu zweifeln, liegt keine Veranlassung vor — so kombinierten sie sich immer mit orogenetischen, und im Zusammenwirken und Gegeneinanderwirken beider liegt möglicherweise der Schlüssel zum Verständnis der recht verschiedenen jüngsten Geschichte der einzelnen Alpentäler, vielleicht auch die Erklärung dafür, daß wir in den Schweizer Alpen so herrliche Talseen haben, während sie in den Ostalpen fehlen. Wie dem auch sei, die Schotterterrasse des Inntales macht uns ebenso wie dessen mächtige Erfüllung mit Anschwemmungen mit einer außerordentlich großen Beweglichkeit der Erdkruste im Bereiche einer alpinen Großmulde bekannt.

Es gilt beinahe als Axiom in der Alpengeologie, daß das Gebirge in jüngerer geologischer Vergangenheit nicht der Schauplatz vulkanischer Tätigkeit gewesen ist, obwohl seit mehr als 60 Jahren durch PICHLER-Bimsstein aus dem Ötztal bekannt geworden ist. Das Vorkommnis ist klein und hat deswegen kaum Beachtung gefunden. Gelegentlich der geologischen Neuaufnahme des Ötztales durch den Direktor der österreichischen geologischen Bundesanstalt ist es kürzlich sozusagen neu entdeckt worden, und die Akademie der Wissenschaften in Wien hat die Mittel für seine Bloßlegung gewährt. Es ist ein Gang von kaum 10 m Länge und kaum 0,5 m Breite. Es war ein überaus glücklicher Gedanke von den Veranstaltern des Innsbrucker Naturforschertages, daß sie vor der Zusammenkunft zu einer Exkursion an diese einzigartige Stelle der Alpen einluden. Direktor HAMMER war der Führer; nur 5 Teilnehmer begleiteten ihn zu dem im Walde nördlich Köfels gelegenen Vorkommen. So klein es ist, so bemerkenswert sein Auftreten. Es liegt am Boden einer halbkesselförmigen Vertiefung an der linken Flanke des Ötztales unweit Umhausen. Gegenüber befindet sich der wüste Trümmerhaufen des Tauferer Berges, welcher sich wie ein Damm vor das Hairlachtal legt und mit einem wüsten Trümmerwerk, der Maurach, bedeckt ist. Die Ötztaler Ache durchbricht ihn. Sie schneidet hier Felsen an, aber dieser ist einer von solcher Klüftigkeit, daß er bloßgelegt, sofort in Trümmer fällt. Seine Durchsägung macht dem Flusse keine Schwierigkeit. Es handelt sich nicht um den sonst so festen Gneis, sondern um ein gewaltsam zerrüttetes Gestein, das bei einer vulkanischen Explosion in Trümmer gegangen ist. Diese sprengte den Halbkessel um Köfels aus, und warf die Trümmer in die Mitte und an die andere Seite des Tales. Wir haben es im Ötztale mit einem ähnlichen Sprengloche zu tun, wie sie in den Maaren der Eifel vorliegen, und mit dem dazu gehörigen Trümmerhaufen. Daher dürfen wir von einem postglazialen Vulkane im Ötztale sprechen. Das Antlitz der Alpen erscheint nunmehr bereichert um einen Zug, der ihm bisher völlig fremd zu sein schien, nämlich um *vulkanische Formen*. Dieser verschwindet dermaßen unter der Fülle anderer, daß er sich bisher der Beachtung entzogen hat. Aber so klein er auch ist, so groß ist seine theoretische Bedeutung. Ist die Schichtfaltung der Alpen, wie immer aufs neue betont worden ist, ohne Mitwirkung vulkanischer Kräfte geschehen, so ist ihre Erhebung von solchen begleitet, und es ist kein prinzipieller Unterschied mehr zwischen Alpen und Kaukasus, wenn dieser von seinen Vulkanriesen Elbrus und Kasbek überragt wird. Das Sprengloch von Köfels verrät uns, daß auch der alpine Großfaltenwurf mit vulkanischer Tätigkeit verbunden ist.

Hat uns die Schichtfaltung in den Alpen mit großartigen Krustenbewegungen bekannt gemacht, die hier einst gespielt haben, so zeigen uns einzelne Züge in ihrem Antlitz, daß solche noch hier in jüngster geologischer Vergangenheit stattgefunden haben. Der Bruch am Eibsee, die jähe Aufwölbung des interglazialen Seebodens im Inntale und schließlich der postglaziale Vulkan von Köfels charakterisieren Nordtirol und Oberbayern als einen überaus unruhigen Teil der Erdoberfläche. Es erscheint dringend geboten, genaue Messungen zu veranstalten, um festzustellen, ob nicht auch in aller Stille unaufhörlich hier Krustenbewegungen vonstatten gehen. Nicht nur möchten die Triangulationen, die sich über die Gipfelflur spannen, von Zeit zu Zeit wiederholt werden, ebenso wie die Nivellements, die durch die Täler geführt sind, sondern auch ihre Verbindung ist zu erneuern, und vor allem sind Nivellements über das Hochgebirge zu führen. Die Kämme im Norden und Süden des Inntales, bilden heute die Grenze Tirols. Möchte die Wissenschaft diese Grenzen überschreiten dürfen, die durch ein einheitliches Land gezogen worden sind.

Das Antlitz der Alpen steht in vieler Abhängigkeit von der Eiszeit, aber was diese Periode ihrer Geschichte gezeitigt hat, sind im Grunde genommen doch nur Verzierungen in den größeren Formen der Täler, den durch die Denudation erweiterten Einschnitten des rinnenden Wassers. Wird die Richtung der letzteren durch die letzten orogenetischen Bewegungen festgelegt, so wird die Entfaltung der ersteren, wie allenthalben auf der Erde, ganz wesentlich von der Struktur der durchschnittenen Krustenteile bestimmt. In den Hangformen der