

Struktur und Relief in den Alpen.

Von

J. Blaas.

Ein Bildhauer steht vor einem Marmorblock, in der Linken den Meißel, in der Rechten den Schlegel. Da drinnen in dem Block liegt bereits fix und fertig die Statue; der Meister sieht sie genau, es handelt sich bloß, sie von ihrer Umhüllung, von jenen Teilen des Blockes, welche nicht zu ihr gehören, zu befreien. Die Linke setzt an, die Rechte schlägt, Stück um Stück fliegt fort, hier dringt der Meißel in die Tiefe, dort gleitet er vorsichtig über die Oberfläche hinweg. Wohl bräche hier ebenso leicht wie dort ein Stück los, aber der Künstler will nicht, denn dieses Stück gehört der Statue an, jenes nicht. Würde die Masse des Blockes an verschiedenen Stellen verschiedene Härte besitzen, verschiedenen Widerstand leisten, so würde dies nur die Intensität der Arbeit verändern, aber die herauszubringende Form nicht beeinflussen. Was hier den Meißel tief einsinken, dort ihn oberflächlich abgleiten läßt, ist das zu schaffende Werk selbst, das da drinnen im Blocke und zugleich im Kopfe des Meisters steckt.

So entsteht das Kunstwerk, gebildet von Menschenhand nach einem bestimmten Plane, nach einem vorgestellten Vorbilde, dem es endlich gleichen muß, mag die Masse sich wehren, hier mehr, dort weniger. Gezwungen durch das vor schwebende Ziel der Arbeit ändert sich deren Intensität.

Ein anderes: Auf ebenem Felde beginnt rege Tätigkeit; ein Bau soll erstehen. Auch er steht bereits im Kopfe des Baumeisters, aber damit er handgreiflich, wirklich werde, müssen hier Gesteinsblöcke übereinander getürmt, dort Balken aneinander gefügt werden, hier muß Masse aufgehäuft, dort Raum freigelassen werden und zwar solange, bis endlich das Werk der Vorstellung gleicht.

Wie hier der Mensch nach einem Plane schafft, so tut es auch die Natur. Kann man ihr planmäßiges Handeln auch nicht wohl ein zweckbewußtes nennen, wie das menschliche, so geschieht es doch nach bestimmten Gesetzen und insoferne ist das Endergebnis ebenso vorauszusehen, wie am Werke des Menschen. Aber wenn man das Walten der Natur mit den beiden oben aufgeführten Beispielen menschlicher Tätigkeit vergleicht, so zeigt sich neben Ähnlichem auch Unähnliches. Es würde nicht schwer sein, diesen Gedanken im gesamten Gebiete des Naturschaffens, im organischen und unorganischen Reiche, zu verfolgen; unserem Zwecke dient es, sich auf letzteres und hier wiederum auf jenen Teil zu beschränken, welcher den Erdball und seine Oberfläche formt.

Wir unterscheiden hier leicht eine abtragende und eine aufbauende Tätigkeit, die vereint das Relief der Erdoberfläche schaffen. Während aber die letztere unserem zweiten Beispiele insoferne ähnlich ist, als sie sozusagen die Herstellung einer bestimmten Form anstrebt, unterscheidet sich die erste Tätigkeit von unserem ersten Beispiele wesentlich dadurch, daß es ihr weniger um die Erzeugung einer bestimmten Form, als vielmehr um die vollständige Zerstörung derselben zu tun ist und nur

insofern, als ihr dies infolge verschiedener Hindernisse, Widerstände der Massen, jeweilig nur unvollkommen, hier mehr, dort weniger, gelungen ist, bleibt eine Form, ein Relief. So ist das erstehende Werk nicht einem vorher festgestellten Plane, einem Vorbilde gleich, wie die aus dem Marmorblock gemeißelte Statue, die unbekümmert um verschiedene Widerstände und trotz derselben unter dem Meißel des Künstlers erscheint, sondern sie ist das Ergebnis verschiedener Widerstände gegen eine so-zusagen rücksichtslos zerstörende Kraft.

Der Regen fällt nieder, kleine Wasserfäden eilen den Berghang hinab, jeder bepackt sich mit Gesteinsdetritus, soviel er kann. Hier rauscht das Bächlein beladen mit Bergschlamm durch die Wiesen, dort stürzt steinbeladen der Wildbach über Felsen und unten im Tal wälzt seine trüben Fluten schäumend und tosend der Fluß dahin, hier eine Sand- oder Geröllbank aufbauend, dort im raschen Lauf sie wieder abtragend. Weit draußen im flachen Land schleichen, kaum merkbar bewegt, die gelben Ströme dem Meere zu, dessen blaue Fluten weithinaus getrübt erscheinen. Hier kommt der feinste Bergschlamm zur Ruhe; er breitet sich über unergründliche Tiefen aus und häuft sich im Laufe von Jahrhunderten zu mächtigen Sedimenten an. Sand der Küste und Ton des tiefen Meeres verfestigen im Laufe der Zeit zu Sandstein und Ton-schiefern, oder sie erleiden unter dem Einfluß von Druck und Wärme ganz wesentliche Veränderungen, sie wandeln sich in kristalline Schiefer um.

Aber auch das klare Wasser bringt gelöste Stoffe, vor allem Kalk, ins Meer und hier bemächtigen sich derselben hungrig die zahllosen kleinen und großen Tiere der See und machen sich daraus ihre Hartgebilde, Skelette und Schalen, um sie nach ihrem Tod dem Meere wieder zurückzugeben, auf dessen Grund sie teilweise zu schlammigen Massen erweichen und zwischen den herbeigeführten tonigen Sedimenten mehr oder weniger mächtige Kalkabsätze bilden. So entstehen im Laufe von Jahrtausenden und Jahrmillionen gewaltige Absätze im bunten Wechsel aufgebaut aus Sand und Schlamm, oder Kalk und Dolomit, zwischen welchen gelegentlich Ausbruchsstoffe des Erdinnern, vulkanische Aschen oder glutflüssige Ergüsse sich einbetten.

»Die Berge werden abgetragen, die Täler ausgefüllt werden.« Ginge dies so ohne weitere Störung vor sich, so würde die Abtragung gar bald ein Ende finden und allüberall würde das stille Wasser die Erdkruste bedecken und wir Menschen müßten uns Flossen und Kiemen wachsen lassen, um weiter leben zu können. So wie aber gesorgt ist, daß die Bäume nicht in den Himmel wachsen, so ist gesorgt, daß das Wasser nicht alles Land auffrißt.

Die Erde wird alt und kalte Schauer runzeln ihre Haut. Die Runzeln der Erdhaut sind aber ganz gewaltige Runzeln, berghohe Falten sind es, landgroße Schuppen und Schilder. Diese ragen aus dem Meere empor und bieten so den abtragenden Kräften neue Angriffspunkte. Und kaum, daß es den letzteren gelungen ist, hier einen Faltenwurf, eine emporragende Schuppe abzutragen, schleicht sich dort schon eine andere herauf und das Spiel beginnt von neuem.

Es ist notwendig, daß wir uns Entstehung und Bau dieser Runzeln etwas näher ansehen. Man hat sich viel geplagt, die Ursache dieser Bewegung der Erdhaut zu finden. Ohne daß wir uns hier auf eine Auseinandersetzung der verschiedenen älteren Meinungen einlassen können, halten wir an der gegenwärtig am meisten begründeten Anschauung fest, die durch obiges Bild von den Frostschauern angedeutet wurde. Es ist die Kontraktion der Erdrinde infolge der Abkühlung, welche die Runzeln, Faltungen, Risse und Verschiebungen hervorruft, und eine genaue Betrachtung der Erscheinung zeigt, daß es sich hier in erster Linie um horizontal wirkende Kräfte, um Verschiebungen in tangentieller Richtung auf der Erdkugel handelt und daß die Emporfaltungen nur Folgeerscheinungen dieser horizontalen Verschiebung, Ausweichung der Massen in den Richtungen geringeren Widerstandes, darstellen.

E. Süss hat uns Natur und Wesenheit dieser Vorgänge in Bezug auf die jüngsten Runzeln der Erde und vor allem in Hinsicht auf das Alpengebirge gezeigt, Heim hat durch seine geistvollen Untersuchungen uns den Mechanismus des Vorganges mehr im einzelnen verständlich gemacht, und die neuen tektonischen Forschungen in den Alpen, vor allem die Arbeiten von Rothpletz und Lugeon haben die schier unglaubliche Gewalt dieser Phänomene erst ins rechte Licht gestellt.

Überblickt man diese und ähnliche, große Gebiete umfassende Untersuchungen und hält man sich zugleich gegenwärtig die zahlreichen Arbeiten über das Detail der Schichtenstörungen, der Dislokationen, oder der Tektonik des Alpengebirges, welches ja eines der größten Runzelsysteme der Erdhaut ist, und nimmt man dazu noch das Experiment zu Hilfe mit weichen, übereinanderliegenden Schichten (Teig, Gips, Tuchlagen etc.), die entsprechend verschoben werden, so erhält man etwa das folgende Bild dieser Vorgänge und damit auch eine Vorstellung von der durch die Dislokationen der Schichten hervorgebrachten Struktur eines derartigen Faltenwurfes.

Der einfachste Fall ist wohl eine flache oder steiler gewölbte oder eine domförmige Aufbiegung. Zwei oder mehrere aneinander gereihte derartige Falten geben schon ein komplizierteres Bild. Die Falten können weiter voneinander liegen oder eng aneinandergepreßt sein, die Achsen der Falten können in einer Richtung, oder, was nicht selten der Fall ist, bogenförmig verlaufen, sie sind horizontal oder geneigt, geradlinig oder geknickt. Hier lösen sich eng aneinandergepreßte Falten büschel- oder fächerförmig auseinander, dort tauchen zwischen auseinandertretenden Falten neue Wellen auf. Ein Faltenzug scheint nach einer bestimmten Richtung hin geschoben; da stellt sich ein Hindernis ein; irgend eine aus alter Zeit herrührende verfestigte Partie der Erdhaut, eine Narbe, ein »Horst«, stört die Bewegung. Deutlich sieht man den Einfluß auf die Bewegung, die Falten ziehen sich um das Hindernis herum, stauen sich an ihm, eilen neben ihm vorbei. Nicht alle Sedimentschichten können dem Schube gleich folgen. Die einen sind weicher, beweglicher, die anderen spröder, jene fügen sich in die neue Form, bäumen sich, falten sich, schmiegen sich aneinander, quetschen sich nebeneinander vorbei, lassen sich wie Teig durcheinander kneten, diese sträuben sich, nehmen nur die großen Formen an, zerbrechen, zerplatzen im kleinen und schieben ihre Trümmer in die weichen Massen hinein.

Uns kleinen Menschen scheint jeder Stein spröde, die Beobachtung der großen Formen zeigt aber, daß diese Massen unter dem kolossalen Druck der eigenen Schwere mehr oder weniger plastisch werden. Besonders gilt dies von jenen Teilen des viele Tausende von Metern dicken Schichtenkomplexes der Erdkruste, die in großer Tiefe, bedeckt von den mächtigen, auflagernden Massen, liegen. Mögen auch bei der Faltung die oben aufliegenden Sedimente stark zerrissen worden sein, die tieferen, die nicht ausweichen konnten, mußten sich biegen. Aber auch für sie hatte die Nachgiebigkeit ihre Grenze. Quollen hier die obersten Schichten empor, so können dort tiefere nicht folgen, es mußte zu Spannungen zwischen beiden und schließlich zu Spaltungen der übereinander liegenden Schichten und zu Zerreißungen kommen. Sehr schön zeigt das Experiment die Entstehungen solcher Zerreißungen infolge der Auffaltung und die Folgeerscheinungen dieses Vorganges.

Schiebt man übereinander gelegte, noch weiche und nicht allzu zähe Teigblätter zusammen, so bilden sich zunächst flache Falten, welche den ganzen Komplex gleichartig erfassen; bald aber beginnt sich hier, dann dort ein Blatt vom andern abzulösen, und kaum ist dies geschehen, folgt es der faltenden Kraft in anderer Weise als die übrigen. Es bilden sich Hohlräume zwischen einzelnen Blättern, die in weiterer Folge des Zusammenschubes sich wieder schließen oder aber auch zu einer Zerreißung führen können. Ist letzteres der Fall, so sinken die Lappen

zu beiden Seiten des Risses in den Hohlraum zurück. Injiziert man in solche Hohlräume eine dickflüssige Masse, so macht sie im geschlossenen Hohlraume die folgenden Bewegungen, dieselben mehr oder weniger störend, mit, oder sie wird durch die niederfallenden Lappen ausgepresst und ergießt sich auf die Umgebung oder endlich sie findet einen Ausweg in einen benachbarten Hohlraum.

Man hat sich viel darum gestritten, wie die Injektion glutflüssiger Massen zwischen Schichtgesteinen zu erklären sei. Es ist sicher, daß es große, plumpe, intrusive Massen gibt, die in den Schichtkomplexen und dieselben quer durchschneidend liegen (sog. Stöcke), bezüglich welcher es schwer ist, sich vorzustellen, wie sie hier Platz gefunden; gewiß gibt es aber viel mehr solche Massen in sogenannter lakkolithischer Lagerung, wenn man unter diesen Namen nicht bloß rein kuchenförmig gestaltete Massen versteht, sondern ihn ausdehnt auf alle ursprünglich zwischen aufgewölbte Schichten eingelagerte Magmamassen, mögen sie durch nachträgliche Verschiebung was immer für eine Gestalt erhalten haben. Derartige Intrusionen brauchen nicht die von ihnen erfüllten Hohlräume sich selbst gebildet zu haben, sie können sie, durch Faltung erzeugt, vorgefunden haben, wenn auch nicht in Abrede gestellt werden kann, daß sie sich diesen Raum, gepreßt durch absinkende Schollen, erweitert haben mögen. Als Beispiele jener, über einbrechende Schollen sich ergießenden Magmamassen mögen die Porphyre Südtirols angeführt werden. Wenn diese gewaltigen Ergüsse glutflüssiger Massen mit sogenannten Tuffen wechsellagern, so kann dies kein wirkliches Hindernis für diese Auffassung sein, denn diese »Tuffe« bestehen nur aus Porphyr-Detritus (Gerölle), der aus der Zersetzung und mechanischen Zerstörung des Porphyrs hervorgegangen ist. Anderseits mögen als schöne Beispiele lakkolithischer Massen jener Art, wie sie oben im Experiment erwähnt wurden, die Granitintrusionen in der Umgebung der großen Bruchzone angeführt werden, welche in der Geologie als Judikarienbruch (Linie Storo-Meran) und Draubruch (dem Draufluß entlang) bekannt ist. Es sind dies die Granitmassen des Adamello, jene in den Ortler Alpen, die Ifinger-Brixenermasse, die Lakkolithen der Rieserferner und jene in den Tauern. Vielleicht ist auch die Cima d'Asta-Masse hierher zu rechnen.

Sind auch die Faltungen in den Alpen weitaus die herrschenden und formgebenden Arten der Dislokation, so zeigt doch selbst ein flüchtiger Blick auf geologische Durchschnitte und Karten, welch große Verbreitung senkrecht oder geneigt in die Tiefe setzende Zerreißungen Brüche und Verschiebungen längs derselben (Verwerfungen, Überschiebungen) haben. Ja, wenigstens in den östlichen Teilen der Alpen, besonders aber im südlichen Gebiete spielen die Falten gegenüber den Brüchen eine mehr untergeordnete Rolle. Das erste, was hier in die Augen springt, sind die Bruchschollen und nur innerhalb derselben treten Faltungen auf.

Die angeführten Arten von Dislokationen, als Faltungen, Zerreißungen, Bruchverschiebungen (Verwerfungen) und die Intrusion eruptiver Massen sind, wenn auch großartige und besonders für denjenigen, der solchen Fragen ferner steht, erstaunliche Phänomene, so doch innerhalb gefalteter Gebirge gewöhnliche, auf Schritt und Tritt aufstoßende Erscheinungen.

Sie werden aber in zweite Linie gerückt durch die Lagerungsstörungen, welche in neuerer Zeit von einzelnen Geologen in den Schweizer und den benachbarten Vorarlberger Alpen nachgewiesen worden sind. Hier handelt es sich nicht bloß um Auffaltungen und mehr oder weniger senkrecht in die Tiefe setzende Zerreißungen, sondern um Überfaltung und Aufschiebung von älteren Sedimenten längs meilenweiter Erstreckung über jüngere Ablagerungen. Triaskalke und selbst kristalline Schiefer sind im Rätikon längs 30 km über Flysch gelagert. Dieser Flysch liegt über der Vorarlberger Kreide und bildet mit dieser die Fortsetzung eines gewaltigen Falten-

zuges der Schweizer Alpen, der vom Rhéintal quer durchschnitten wird und selbst wieder eine ähnliche Schuppe über jüngeren Gesteinen in den Glarner Alpen bildet. Von solchen schier unglaublichen Überfaltungen und Überschiebungen mögen die Durchschnitte Figur. 1. und 2. eine annähernde Vorstellung geben¹⁾.

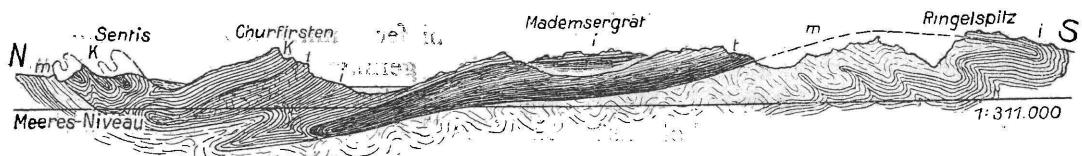


Fig. 1. Profil durch die Glarner Alpen (nach M. Lugeon).
t = Trias, i = Jura, k = Kreide, m = Tertiär,

Daß derartige Lagerungsverhältnisse aber in den Westalpen nicht vereinzelte Ausnahmen sind, hat in neuerer Zeit Lugeon gezeigt. Diese und ähnliche Durchschnitte zeigen selbst mehrmals übereinander geschobene, für sich in äußerst komplizierte Falten gelegte Schollen der Sedimentgesteine, wobei die bemerkenswerte Tatsache ins Auge springt, daß die Überfaltung und Überschiebung zwar nach einer Richtung, der westlichen oder nordwestlichen, vorherrscht, wie in den vorliegenden Profilen, während in anderen Schnitten gar nicht selten Überfaltungen gerade in entgegengesetzter Richtung auftreten.

Überfaltungen und Überschiebungen im Sinne des Schubes scheinen einfach erklärlich, wo aber Faltungen und Überschiebungen in einander entgegengesetztem Sinne auftreten, hat man auch an entgegengesetzte Schubrichtungen denken zu müssen geglaubt und hat darin selbst Beweise für eine von der Achse der Alpen gegen beide Flanken hin gerichtete, bewegende Kraft gesehen. Das oben angedeutete Experiment mit weichen Schichten lehrt, daß beide Erscheinungen, Überfaltungen und Überschiebungen im Sinne des Schubes und im entgegengesetzten, durch einseitigen Schub entstehen. Im letzteren Falle ist die Erscheinung in ihrer endgültigen Form zwar eine Überfaltung oder Überschiebung, während ihrer Entstehung ist es aber eine Unterfaltung und Unterschiebung. Eine aufsteigende Falte legt sich, wenn ihr im Sinne des Schubes allzugroße Hindernisse entgegenstehen, nach rückwärts, die folgende Partie schiebt sich unter sie und bei genügender Heftigkeit des Schubes folgen Zerreißungen und wirkliche Unterschiebungen.

Viel bekannter als die angedeuteten Verhältnisse der Lagerung und Lagerungsstörung, also der aufbauenden Kräfte, welche im Verein mit der petrographischen

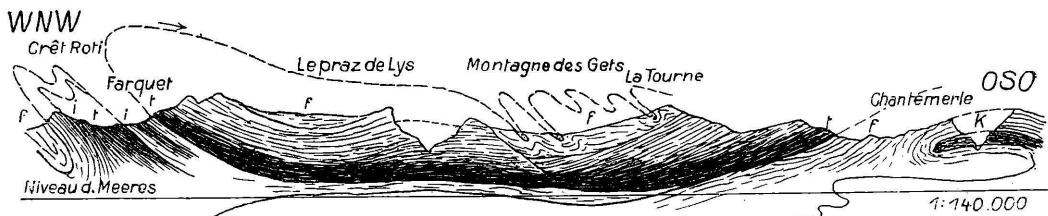


Fig. 2. Profilschnitt nördlich vom Giffretal (nach M. Lugeon).
t = Trias, i = Jura, k = Kreide, f = Flysch.

und physikalischen Verschiedenheit der Sedimente die innere Struktur der Bergmassen bilden, sind die Erscheinungen der Abtragung und wir können uns hier auf ganz flüchtige Andeutungen des Wichtigsten beschränken. Allüberall gegen-

¹⁾ Die Schichten sind um so älter, je dunkler schraffiert sie sind.

wärtig und das wesentlichste Agens ist die Schwere; chemische Zersetzung und mechanische Zertrümmerung sind ihre Vorarbeiter, das fließende Wasser ihr wirksamstes Werkzeug. Kristalline Massen- und Schiefergesteine sind im frischen Zustande sehr fest, doch fallen sie unschwer chemischen Veränderungen anheim, welche mürbe Körper liefern. Sandsteine und klastische Schiefer haben von Haus aus eine geringere Festigkeit, auch sind die Schiefer ähnlichen Zersetzung zu gänglich. Kalksteine und Dolomite hätten nicht geringe Widerstandskraft, wenn sie nicht, was gewöhnlich der Fall ist, stark zerklüftet wären, auch verfallen sie leichter der Lösung durch kohlensäurehaltiges Wasser. Hitze und Frost wirken zertrümmernd auf das Gestein und diese Agentien vergrößern jene schon durch die oben genannten Dislokationen erzeugten Zerbrechungen und Zerreißungen, Zerrungen und Quetschungen, welche in allen Graden mikroskopischer Kleinheit, bis zu meilenweiter Erstreckung beobachtet werden können. In dieser Weise für den Angriff der Schwere vorbereitete Gesteinsmassen bröckeln ab, das Bruchstück fällt so lange und so oft, als es ihm irgend möglich ist, einen tiefen Punkt zu erreichen; die standhaltenden Reste umgeben sich an ihrem Fuß mit Schuttmassen. Fast allgegenwärtig ist das Wasser. Vermöge seiner Beweglichkeit folgt es der Schwere leichter als die festen Körper. In seinem Lauf nach abwärts reißt es diese mit sich und wird so zum wichtigsten Transportmittel des Gesteinsdetritus.

Für die Frage der Reliefbildung durch Abtragung ist es wichtig, die flächenhaft abwaschende Wirkung des Regens von der linearen des fließenden Wasserfadens, des Baches, des Flusses, des Stromes zu unterscheiden. Diese letztere schafft, so zu sagen, die Basis für jene, welche die Entblößung der noch fest gebliebenen Massen von ihrer Zersetzung- und Zertrümmerungshülle befördert und so ein Relief schafft, das in seinen Einzelheiten augenfällig die innere Struktur der Massen widerspiegelt. Auf derartige Verhältnisse wurde schon oft, auch in dieser Zeitschrift, hingewiesen, und es genügt daher einige wenige markante Beispiele hervorzuheben.

Das heutige Relief der Alpen und vor allem das Detail desselben ist wesentlich durch das diluviale Gletschereis mitbestimmt und kann nur vom glazialen Standpunkte aus richtig erklärt werden. Die vorliegenden Zeilen haben nicht den Zweck, diese verwickelten Fragen anzuschneiden, sondern sie wollen nur auf den Zusammenhang der großen Formen, die ja alle präglazial sind, mit dem geologischen Bau hinweisen. Zu beachten ist, daß diese Formen ganz besonders deutlich in der Gipfel- und Kammregion zum Vorschein kommen; weiter abwärts am Gehänge werden zwar durchziehende, widerstandskräftige Gesteinslagen allenthalben im Relief sichtbar werden, die Vegetationsdecke aber und vor allem die viel rücksichtsloser als das Wasser gegen verschiedene Widerstände arbeitende, abschleifende Tätigkeit des Gletschereises haben hier eigenartige und von der Struktur mehr unabhängige Formen geschaffen. Die vegetationsarmen und auch zur Glazialzeit über den Eisströmen emporragenden Höhenregionen zeigen die Formen durch Verwitterung und Abwaschung, die wir Abwitterungsformen nennen wollen, am reinsten. Die von den linear einschneidenden Bächen oder Flüssen ausgehende, am Gehänge nach und nach aufwärts fortschreitende und zurückgreifende Abwitterung erzeugt, wie Heim so vortrefflich geschildert hat, den von der Gesteinsbeschaffenheit, seiner Festigkeit und Lagerung abhängigen Böschungswinkel. Von zwei Seiten her sich treffende Böschungen schneiden sich im Kamm, jeweilige Tieferlegungen desselben durch sich einschneidende kräftigere Einrisse lassen zwischen sich als Reste die Gipfel. Daß liegende, prismatische Formen mit einer nach oben gekehrten Kante in den Schneiden, stehende Pyramiden in den Gipfeln die angestrebten Formen sind, versteht sich hiernach von selbst. Die in den verschiedensten Richtungen

einschneidenden Bach- und Flußeinrisse und die Ungleichartigkeit des Untergrundes nach Zusammensetzung und Struktur verursachen die Mannigfaltigkeit der Formen.

Daß die kristallinen Schiefer andere Bergformen zeigen als Kalk und Dolomit, wurde oft hervorgehoben. Man kann aber nicht sagen, daß es in erster Linie die Weichheit und starke Verwitterbarkeit dieser Schiefer ist, welche ihnen ihre besondere Form sichert, wenn es diesem Faktor auch gelingt, im allgemeinen die Formen der Schieferberge weicher und breiter zu gestalten. Viel mehr ist es der Umstand, daß diese Gesteine in unseren Alpen eine außerordentlich intensive Lagerungsstörung, eine äußerst lebhafte Faltung und Fältelung, eine förmliche Durchknetung erlitten haben, wodurch die Masse trotz ihres ursprünglichen Aufbaues aus dünnenschichtigen und dickbankigen Lagen, aus harten und weichen Schichten, für die große Form eine gewisse Gleichartigkeit erhalten hat, welche sie befähigt, sich zu verhalten wie eine homogene Masse. Eine solche würde aber durch Abwitterung eine ziemlich einförmige Gestalt annehmen. Die entsprechenden Prismen und Pyramiden müßten von verschiedenen Seiten gleiche Böschungswinkel zeigen, deren Steile von der Festigkeit der Masse abhinge. In unseren Zentralalpen sind derartige Formen das gewöhnliche: breit und groß, hoch hinauf begrünt, ernst und heiter zugleich liegen sie vor uns. Ihre Einfachheit ist ein wesentlicher Teil ihrer Großartigkeit. Die einfachen Formen verschwinden aber sofort, wenn die Lagerungsstörungen geringere sind, wie dies z. B. recht gut in den östlichen Gneisalpen zu bemerken ist, wo das kräftige Gestein einer feineren Fältelung und Knetung widerstanden hat und daher die Lagerungsverhältnisse und die Verschiedenheit der Ge steinsbeschaffenheit sofort wieder zum Ausdruck kommen.

Wesentlich dieselben Formen, wie die stark gestörten kristallinen Schiefer, zeigen die in mächtigen Stöcken eingelagerten Eruptivmassen, vor allem der Granit und seine Verwandten, die Tonalite und Diorite. Ihr isoliertes Auftreten innerhalb der Schichtgesteine, sowie der Mangel einer größeren einseitigen Erstreckung, lassen es nicht zu einförmigen, langgestreckten Bildungen kommen. Die größere Festigkeit des Gesteins erzeugt einen steileren Böschungswinkel. Die Formen sind massiger und regelmässiger, stumpfer und düsterer. Schon vom Eisenbahnhang aus kann man diesen Unterschied wahrnehmen, wenn man vom Brenner abwärts nach Brixen fährt. Sterzing liegt in weitem Tal, Wald und Wiesen wechseln in den mäßig steilen, zu den Schneiden emporsteigenden Hängen. Plötzlich und ganz unvermittelt wird es bei Mauls enge, düsterer Wald bedeckt die rauen und steil ansteigenden, in stumpfen Gipfeln endenden Flanken des Granits der Franzensfeste. Wer aber die ganze Größe und Eigenart dieser Formen auf sich wirken lassen will, wandere durch die gewaltigen Einöden der Adamello-Presanella-Masse oder werfe wenigstens einen Blick auf eine gute Reliefkarte, um sich zu überzeugen, wie verschieden sich diese Masse von den umgebenden Schiefer- und Kalkformen heraushebt.

Wesentlich anders verhalten sich die Schichtgesteine, Mergel, Sandstein, Kalk und Dolomit, sowie in breiten Strömen zwischengelagerte Eruptivmassen. Die Kalkalpen zeigen einen Aufbau aus solchen Elementen. Muß schon der lebhafte Wechsel des Gesteins eine viel größere Mannigfaltigkeit der Form erzeugen, so prägen sich hier auch die Lagerungsformen viel deutlicher im Relief aus, weil sie, wenn auch verwickelt gestaltet, doch viel seltener jene intensive, ins kleine gehende Faltung und Knetung annehmen, wie im Schiefergestein.

Flache Lagerungen, wie sie z. B. in den tirolischen Südalen östlich der Etsch vorherrschen, zeigen die einfachsten Formen. Blicken wir auf den Schlern. Auf breitem, massigem Porphyrsockel, in den der Bach nur enge Schluchten zu reißen vermochte und auf dessen Rücken Wiese und Feld sich breiten, liegen schräg geböscht die weichen Sandsteine und Mergel der untern Trias. Schroff erhebt sich

darüber in gewaltigen Wänden der fast ungeschichtete Dolomit, hier in plumper, ungegliederter Masse, im Rosengartengebirge, wo das Gestein höher emporgehoben und unbedeckt der Verwitterung ausgesetzt ist, in den bekannten Türmen und Zacken. Noch viel markanter treten uns diese Formen in der Sellagruppe entgegen. Hier bildet der Schlerndolomit die Hauptmasse des Sockels, die tieferen Schichten glieder sind weniger charakteristisch, um so deutlicher erscheinen aber als schräg geböschtes Band mitten durch den Stock hinziehend die Raiblerschichten und aufgesetzt in zahllosen Lagen übereinander gelegt und zu fein gestuften Pyramiden ansteigend, der Dachsteinkalk. (Vgl. Fig. 6 auf S. 16.) Ganz ein ähnliches Bild gewähren die Drei Zinnen, besonders in dem verbreiteten Bilde von Landro oder Rimbianco aus. Ein flüchtiges Durchblättern unserer Zeitschrift führt uns eine ganze Reihe der prächtigsten Bilder dieser Art von Verwitterungsformen horizontal geschichteter oder gebankter Kalke und Dolomite vor.

Vertikale Schichtenstellung erzeugt andere Formen. Scharf zerklüftete Grate, wenn die Schichten dem Kamme parallel streichen, wild zerrissene, kaum ersteigbare Nadeln bei Querstellung. Fast unbezwingbar sind diese übrigens seltenen Formen, wenn ein lebhafter Wechsel leicht verwitterbarer Mergel und dickbankiger Kalke vorliegt (Raiblerschichten am Haller Anger, Rungelingewölbe im Klostertal).

Geneigte Schichtenlage ist in den Kalkalpen das Gewöhnliche, sei es, daß überhaupt nur geringe Lagerungsstörungen vorliegen, sei es, was im westlichen Teile der Alpen das häufigste ist, daß in den Kamm- und Gipfelregionen eben nur Teile der gewaltigen, liegenden Falten der Verwitterung ausgesetzt sind. Einseitiger Aufbau der Gipfel und Kämme ist hier die Regel; über den Schichtflächen liegt der sanft ansteigende Hang, die Schichtköpfe brechen stufenförmig in steilen Böschungen ab. Deutlich und schon von großer Entfernung kommen durch derartige unsymmetrische Silhouetten Faltungen, Faltenwiederholungen, Überfaltungen und Überschiebungen zur Anschauung. Blickt man von Rovereto nach Süden, so liegt in wunderbarer Klarheit der nach Westen stufenförmig absinkende Mantel der Recoaro-Aufwölbung vor Augen.

Wesentlich anders als die Abwitterung wirkt der linear einschneidende Wasserlauf. Ihm ist zunächst die Auflösung der großen Massen in einzelne, zwischen den Wasserläufen stehenbleibende Teilstücke zu danken. Ist bei der Abwitterung der Einfluß der Struktur auf die Form offenkundig, so kann man auf die Frage nach der Abhängigkeit des Reliefs von der Erosion durch fließendes Wasser verschiedene Antworten erhalten. Als seinerzeit in den Köpfen der Geologen die Spalten eine große Rolle spielten, ließ man fast jeden Wasserlauf tektonisch vorgezeichneten Linien folgen. Die Längstaler entsprachen »Aufbruchspalten«, die Quertäler und vor allem die Durchbruchstäler verliefen in Querspalten. Auch der Gesteinsbeschaffenheit und dem Verlauf der Faltenmulden wurde ein vielleicht ungebührlicher Einfluß auf den Tälerverlauf zugeschrieben, so daß es erklärliech ist, wenn im Kampfe gegen offenkundige Irrlehren selbst so scharf blickende Beobachter, wie Heim, gelegentlich das Kind mit dem Bade ausschütteten und den Einfluß der Struktur auf die Talbildung gewiß zu sehr unterschätzten. »Die jetzt vorhandene und sichtbare Talbildung ist ausschließlich die Wirkung der Ausspülung durch die Ströme und das Bild der anfänglichen Talbildung in den jetzt durch Denudation verschwundenen oberen Gebirgsmassen hat sich während des tieferen Einsinkens der Talbildung bis zum heutigen Stande allmählich fast bis zur Unkenntlichkeit verwischt. Die gesamte Gestaltung der Oberfläche ist ein Resultat von Verwitterung und Ausspülung, die ursprünglichen Formen schimmern nur noch als Ruinen durch.«¹⁾

¹⁾ Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung.

Es mag übrigens bemerkt werden, daß Heim seine Anschauungen vor allem in den Schweizer Alpen gewonnen hat und bestätigt fand. In der Tat zeigt sich schon bei einem flüchtigen Blick auf die geologische Karte in den Schweizer Alpen der Einfluß der geologischen Struktur auf das Relief viel geringer als in den Ostalpen. Der Grund liegt in der ungleich intensiveren Faltung der Schweizer Alpen gegenüber jener der östlichen Gebiete. Infolge derselben war die Form der ursprünglichen Oberfläche des auftauchenden Alpenkörpers eine sehr komplizierte, fast könnte man sagen gekräuselte, gegenüber der in viel breiteren, größeren Zügen gestalteten in den Ostalpen. Während hier einzelne große Wasserläufe durch die Struktur begünstigt wurden, mußten dort die zahlreichen, einander widerstreitenden Einflüsse der Struktur sich gegenseitig aufheben und kamen daher schließlich aus demselben Grunde weniger zum Ausdruck, wie in einer intensiv gefalteten und gekneteten Masse (kristalline Schiefer) die Verwitterungsformen. Wir haben ja auch in den zentralen Teilen der Ostalpen, wo der Bau ein ähnlich verwickelter ist, wie in den Westalpen, eine viel geringere Abhängigkeit des großen Reliefs von der Struktur als in den Nebenzonen. Man vergleiche hierzu das von der Struktur fast unabhängige Relief der Ötztaler Alpen mit jenem der schon etwas einfacher gebauten und daher die Struktur deutlicher durchschimmern lassenden Tauern und schließlich mit dem Relief der nördlichen Kalkalpen mit ihren, den Faltenzügen oder den Schollen folgenden Gebirgsketten oder dem hüpfenden, krausen Relief der blockigen Südosttiroler Alpen.

Daß klaffende Spalten auf den Verlauf der Täler sozusagen keinen Einfluß ausüben, ist heutzutage eine unbestrittene Sache, schon weil es klaffende Spalten im Sinne der Spaltentheorie kaum gibt. Wie weit aber Dislokationen, Faltungen und Verwerfungen auf die Tallinien Einfluß haben und haben müssen, werden wir weiter unten kennen lernen. Daß dies nicht in dem Sinne zu verstehen ist, als ob etwa jede Schichtenmulde ein Tal, jeder Sattel eine Gebirgskette nach sich ziehen müßte, und daß harte und weiche Gesteinslagen auf Richtung und Gefälle eines Tales sehr häufig gar keinen Einfluß haben, kann man auf Schritt und Tritt beobachten. Unsere beigegebenen Profile zeigen Beispiele für und gegen diese Abhängigkeit und beweisen so, daß man nicht generalisieren darf. Um zu zeigen, wie begründet gegebenenfalls diese Unabhängigkeit ist, geben wir ein Beispiel aus dem vorderen Silltal, als Vertreter zahlloser ähnlicher Fälle. (Figuren 3 und 4.) In die alte Talrinne, die im Felsen eingerissen ist, wurden zur Glazialzeit Schotter eingebaut. Diese Schotter hat der Bach später wieder durchschnitten und der jetzige Einriß liegt dort, wo zufällig der junge Bach über der alten Talfestenlinie lag, in dieser (A), dort aber, wo der in Windungen hinfließende Bach bei seiner Erosionsarbeit die Felsflanke des alten Tales traf, scheute er vor dem Einschnitt in diese nicht zurück (B) und die verwunderte Frage, »warum er nicht lieber die weichen Sand- und Schotterlagen durchnagte,« ist müßig und naiv. So wie hier, werden es die fließenden Wasser stets gemacht haben, wenn sie, den einmal bestimmten Lauf verfolgend, in der Tiefe auf Schichten verschiedener Wider-

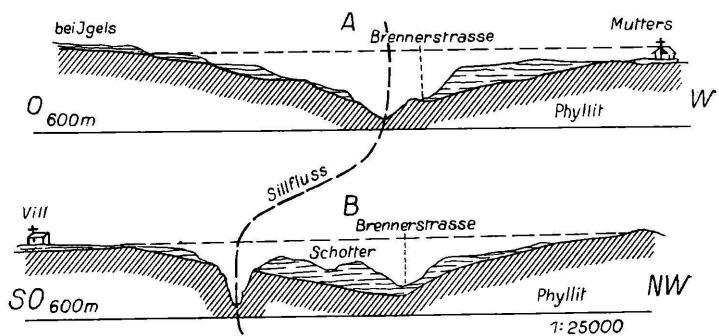


Fig. 3 und 4. Profile durch das vordere Silltal.

standsfähigkeit stießen. Harte Gesteinslagen werden hier zwar verlangsamt auf den Erosionsprozeß einwirken, vielleicht auch gelegentlich eine kleine Ablenkung oder Gefällsknickung erzeugen können, wesentlich ändernd auf den einmal eingeschlagenen Weg werden sie nur in besonderen Ausnahmefällen gewirkt haben.

Anders ist es, wenn wir die ursprüngliche aus dem Meere emportauchende Oberfläche der zu erodierenden Masse ins Auge fassen. Das fließende Wasser eilt auf dem kürzesten Weg in die Tiefe; ein bereits bestehender, größerer Einriß zieht zweigförmig kleinere an sich. Diese beiden wesentlichen Tatsachen müssen bei der Erklärung dieser Erscheinungen stets im Auge behalten werden. Bildet eine sattelförmige Aufwölbung, ein Tonnengewölbe, die Oberfläche, so müssen zahlreiche rechtwinklig zur Gewölbeachse stehende Wasserläufe entstehen (Tauerntäler), eine domförmige Aufwölbung oder ein abradierter Block einer alten Landmasse erzeugt eine radiale oder unregelmäßige Anordnung der Wasserläufe (Ötztauerstock). Daß Mulden Längstäler veranlassen, Knickungen von Gewölbeaxen nach abwärts Quer-durchschnitte durch sattelförmige Erhebungen ermöglichen, ist selbstverständlich.

Alle diese Tallinien sinken im Laufe der Zeit in die Tiefe mit wesentlicher Beibehaltung ihrer Richtung, unbekümmert, ob sie dort die gleichen Strukturverhältnisse finden, wie nahe der Oberfläche, oder andere. Das Talsystem unserer Alpen ist sehr tief in die Schichtenkomplexe eingeschnitten, gewiß ragt kein einziger Gipfel mehr in die Region der einstigen Oberfläche empor. Wir können daher nur erwarten, daß vielleicht einzelne große Talzüge noch die ursprüngliche, durch die Form der Oberfläche bedingte Richtung besitzen, während die kleineren, diesen tributären Täler nur unter ganz besonders günstigen Umständen den ersten Anlagen entsprechen werden. Viele von den ersten TaleinrisSEN werden überhaupt verschwunden und durch andere, später durch irgend welche Zufälligkeiten zur Herrschaft gelangte, verdrängt worden sein und wir können uns daher nur mit Vorsicht aus dem jetzigen Talsystem ein Bild der ursprünglichen Oberfläche des Alpenreliefs entwerfen. Übrigens ist es mitunter nicht schwer, solche alte, verlassene Talzüge, die bei derartigen Betrachtungen ins Auge gefaßt werden müßten, aufzufinden. Ich verweise z. B. nur auf die alten Talungen im Unterinntal (Brixental, Ellmautal, das Tal über Hochfilzen, Walchseetal, die quer durch die Kalkalpen durchziehenden Furchen des Fernpasses, jene von Seefeld und Achensee u. dgl. m.). Je tiefer die Erosion in die gefaltete Erdkruste eingesenkt ist, um so undeutlicher, verwischt wird, wie schon erwähnt, das durch die ursprüngliche Oberfläche erzeugte Relief sein. Unsere Zentralalpengebiete sind diejenigen, welche offenbar zuerst aus dem Meere emportauchten, in ihnen hat die Erosion am längsten gewirkt, am tiefsten eingegriffen. Wenn sie trotzdem heute noch die höchsten Erhebungen bilden, so beweist dieses nur, daß hier die Aufstauung weit über die Abtragung gesiegt hat. Wir finden hier, wie bereits oben erwähnt, wenigstens im westlichen Teile unserer zentralen Ostalpen, den geringsten Einfluß der Struktur auf das Relief. In den Silvretta- und Ötztauer Alpen scheinen die Flußläufe vom geologischen Bau unabhängig.¹⁾

Viel deutlicher wird der Einfluß der Struktur in dem großen Faltenzug, der aus den Ortler Alpen südlich um den Ötztauerstock über Meran, Sterzing und den Brenner setzt und hier in den Tauern nach Norden ausweichend und in mehreren großen Faltenwellen sich entwickelnd, nach Osten fortstreicht. Die

¹⁾ Wir verweisen hier zur Illustration des Gesagten auf Leuzingers schöne Reliefkarte von Tirol (textarme Ausgabe, besonders die schönen ersten Abdrücke) und auf des Verfassers Geolog. Karte der Tiroler und Vorarlberger Alpen, welche beide Karten schon wegen des gleichen Maßstabes leicht vergleichbar sind. Mit Rücksicht auf diese bequem zugänglichen Behelfe wollen wir unsere Beispiele auch auf die Gebiete dieser Karten beschränken.

mächtige Aufwölbung als Ganzes kommt in den großen Erosionsquertälern gegen Norden und Süden zum Ausdruck. Sie sind aber nur Entleerungen, gewissermaßen Überflüsse der überall den Faltenzügen folgenden und herrschenden Nebentallinien. Aber auch die große Entwässerung wird zum Teil von tektonischen Tälern besorgt. Schon die Etsch wird von Laas abwärts bis Meran in den Faltenzug gedrängt. Das Ultental und die Tallinie über den Tonale liegt im Faltenstreichen. Auf der Nordseite der großen Tauernaufwölbung folgt das Tuxer- und Gerlostal, sowie das Oberpinzgau, auf der Südseite Pfitscher-, Ahrn-, Virgen- und Defreggental den Faltungen. Wer hier den Einfluß der Tektonik auf den Verlauf der Täler in Abrede stellen wollte, befände sich meiner Meinung nach mit den Tatsachen in krassem Widerspruch.

Gehen wir aber von den Zentralalpen nach Norden und Süden in die jüngeren Anfaltungszonen über, so zeigt sich der Einfluß des Baues aufs Relief der Tal- und Gebirgsbildung um so deutlicher, je näher wir an den Rand des Gebirges gelangen. Freilich auch hier wie in den Zentralalpen kommt der Zug der Gewässer, die Erhebung auf dem kürzesten Weg, also bei langgestreckten Gewölben senkrecht zu ihrer Achse zu verlassen, stets wieder zum Ausdruck. Aber dieses Streben zeigt sich fortwährend im Kampfe gegen den von Faltung und Verwerfung, so weit diese am ursprünglichen Relief der Oberfläche zum Ausdruck kamen, verlangten Wasserlauf. Es ist hier auf äußerst beschränktem Raum un-

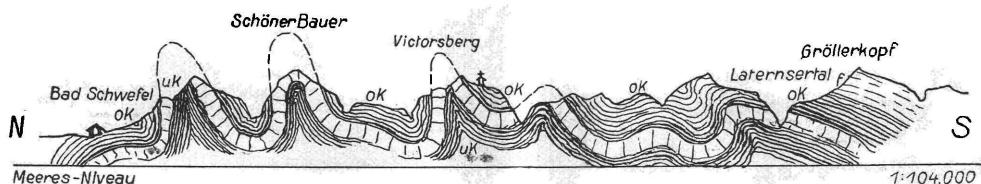


Fig. 5. Profil durch das Vorarlberger Kreidegebirge (nach Vacek).
uk = Untere Kreide, ok = Obere Kreide, f = Flysch.

möglich, auf die zahlreichen Beispiele näher einzugehen, wir begnügen uns mit einigen Hinweisen. Wer vermöchte in den Vorarlberger und Allgäuer Kreide- und Flyschbergen und ihren Talzügen den Zusammenhang von Faltung und Struktur zu leugnen (vgl. den Schnitt Fig. 5)! Bregenzerache und Iller, die der gesamten Abdachung Ausdruck geben, erscheinen nur wie Verbindungsabflüsse der zahlreichen, den Ostnordost streichenden Falten folgenden Bäche zu sein. In den Kalkklappen selbst folgt die Klosterthalung und der Inn der Aufschiebungsgrenze der alten Schiefermassen des Silvretta- und des Ötztales, und erst wo diese Aufschiebung durch Vermittelung der Überfaltung bei Schwaz nach und nach in ruhigere Lagerungsformen (normale Überlagerung in den Kitzbühler Alpen) übergeht, vermag der Inn mehr und mehr der allgemeinen Abdachung des Gebirges zu folgen, um schließlich, vielleicht einer tektonischen Depression¹⁾ nachgehend, auf kürzestem Weg das Gebirge zu verlassen. Aus den Gebieten innerhalb der tirolisch-bayrischen Kalkalpen mögen als ausgesprochen tektonische Längstalsurchen das oberste Lechtal, das oberste Loisachtal, das oberste Isartal und dessen Strecke zwischen Wallgau und Fall, die Talfurche der Jachenau, die Tierseetalung, sowie die schon oben erwähnten breiten Talungen im Norden und Süden des Kaisergebirges etc. etc. erwähnt werden. Nördlich von der Flyschzone entsprechen die Höhenrücken allenthalben den schwach emportauchenden Faltenzügen, die größeren Flüsse setzen quer durch.

¹⁾ Wie weit der heutige, stufenförmige Aufbau der Talflanken auf tektonische Störungen oder Erosion allein zurückzuführen sei, ist für den Talverlauf im Großen unwesentlich. (Vgl. Schlosser und Penck.)

In den Südalpen macht sich sofort und auf den ersten Blick der Einfluß der Etschbuchtensenkung geltend, der die Flüsse von allen Seiten zueilen. Der Judicarienbruch selbst, an dem dieser Abbruch erfolgte, ist durch die ausgesprochene Talung Judicarien—Val Rendena—Val di Sole zwischen Dimaro und Cles markiert. In das Senkungsfeld biegen knapp an der Bruchspalte Etsch und Noce ein und werden sofort von den Faltungen der Etschbucht ergriffen, ziehen aber sodann, im Verhältnis zu ihrer Größe und Erosionskraft Wasserläufe an sich, die infolge der Tieferlegung ihrer Erosionsbasis dem tektonischen Einfluß ihres Untergrundes mehr und mehr entzogen werden. Passer, Talfer, Eisack werden auf diese Weise sozusagen der Tektonik entrissen, während sie selbst ähnlich auf ihre tributären Bäche wirken. Bei der Val Cembra ist die Ablenkung von der vorzeichnenden Trudelinie nicht ganz gelungen. Innerhalb der südsüdwestlich streichenden Faltenzüge der Etschbucht zeigen sich besonders im südlichen Teile parallel diesen Falten oder Flexuren verlaufende Täler, darunter am auffallendsten der alte Talzug der Etsch Terlago—Vezzano—Gardasee, während jetzt der Fluß aus bisher nicht vollkommen klargestellten Ursachen in die nächstöstlich folgende tektonische Linie Trient—Ala—Ceraino überspringt. Die auffallenden Querdurchbrüche der Sarca durch die Faltenwellen zwischen Tione und Tre Arche, sowie die merkwürdige Quertalung bei Mori kommen auf Rechnung glazialer Flußlauf-Verlegungen.

Die oben erwähnten, der Etsch zueilenden Flüsse haben die flach aufgewölbte, nach Westen und Osten sanft geneigte Dolomitplatte größtenteils bis zur Porphyry unterlage entfernt. In der westlich gelegenen, tiefer gegen den Judicarienbruch abgesunkenen Nonsbergertafel, an welcher die einfache Tektonik im Relief ganz vor trefflich zum Ausdrucke kommt, ist dies weniger gelungen. In der großen, schüsselförmigen Mulde des südosttiroler Dolomit- und Dachsteinkalk-Gebietes zeigt sich im allgemeinen ein Bestreben nach einer gegen Süden zum Suganabruich, gegen welche hin diese Platte sich neigt, gerichteten Entwässerung. Vom steilen nördlichen Rand der Schüssel eilen kleine Wasserfäden der Pustertalerlinie zu. Im Innern der Schüssel dagegen hat die geologische Struktur weniger auf die lineare Erosion der Flüsse, die vielfach vom Bau ganz unabhängig erscheint, gewirkt. Unverkennbar bildet der Cima d'Asta-Granitstock einen der Erosion und Verwitterung wesentlich andere Formen aufprägenden Kern. Die Drau- und Gailbruchlinie, sowie die alte Faltenwelle der karnischen Hauptkette, welche der Erosion offenkundig die Wege gewiesen hat, braucht kaum einer Erwähnung, ein Blick auf die geologische Karte gibt darüber befriedigenden Aufschluß. Das Gleiche ist im Gebiete südlich von der Valsugana-Bruchlinie der Fall. Die große Tertiärmulde von Belluno springt sofort am Relief in das Auge, desgleichen die flachwellige, nach Süden geneigte Tafel der Sette comuni. Nicht weniger ist am Flußnetze die domförmige Recoaro-Erhebung mit ihrem nach Westen zur Etsch und nach Süden in die Veronesergegend abfallenden Mantel zu erkennen. Wie diese Wölbung durch die Schiobruchlinie im Osten schroff abgeschnitten wird, kommt selbst in den rohesten Karten der Alpen zum Ausdruck.

Daß in den aufgezählten Fällen innere Struktur und äußere Form teils in unverkennbarem Zusammenhang stehen, teils voneinander ganz unabhängig erscheinen, wird, glaube ich, niemand ernstlich in Abrede stellen wollen. Es fragt sich nur, wie man sich diese Verschiedenheit zu erklären hat. Wir haben bei den obigen Betrachtungen stillschweigend eine Voraussetzung gemacht, welche in der Wirklichkeit nur teilweise zutrifft. Wir haben eine fertige Strukturform einer nachträglichen Abtragung ausgesetzt, also Bildung der inneren Struktur und Modellierung des äußeren Reliefs zeitlich getrennt, während wir dem wirklichen Vorgange in der Natur viel näher gekommen wären, wenn wir beide Vorgänge zeitlich ver-

eint hätten. Sicher ist nicht der ganze Faltenbau, Bruch- und Schollenverschiebung der Alpen der Erosion zeitlich vorangegangen, wenigstens teilweise gingen beide Tätigkeiten Hand in Hand. Dort wo eine fertig struierte Masse der Erosion ausgesetzt war, können wir wesentlich andere Formen erwarten, als dort, wo sozusagen eine werdende Struktur abgetragen wurde. Im ersten Fall wird für das Relief zunächst nur die Form der Oberfläche des von der Erosion ergriffenen Erdrindenstückes für das Relief maßgebend gewesen sein, und soweit diese Oberfläche ein Ausdruck der innern Struktur war, mußte diese wenigstens in den ersten Stadien der Erosion auch im Relief zum Ausdruck kommen. In größerer Tiefe wird freilich, wie schon oben angedeutet, dieser Zusammenhang mehr und mehr undeutlicher werden. Der Faktor der Erosion, das Gesetz der Schwere, die lebendige Kraft bewegter Massen wird in der geschaffenen Form weit mehr zum Ausdruck kommen, als der Faktor der inneren Struktur.

Anders muß es sein, wenn die Erosion und Abwitterung einen werdenden Faltenwurf, ein sich verschiebendes Schollengebilde bearbeitet. Nicht bloß, daß in diesem Fall selbst das Relief auf die werdende Dislokation Einfluß nehmen kann, (Auffalten, Ausgleiten und Ausquetschen infolge von Entlastungen, Einstürze und dergleichen mehr); die werdende Form wird während ihres Entstehens unmittelbar der Erosion die Wege weisen. Ein sich auffaltender Sattel wird einen Wasserlauf verdrängen, eine Mulde ansammeln können, eine entstehende Verwerfung kann einem Wasserlauf einen ganz neuen Weg verschaffen, die Injection einer Eruptivmasse oder ihr Hervorquellen kann ihn ablenken. Jedenfalls wird es zu einem Kampfe beider Agentien kommen und vom jeweiligen Siege der einen oder anderen Kraft wird es abhängen, ob das Relief mehr oder weniger von der Struktur sich beeinflußt zeigt.

Betrachten wir von diesem Gesichtspunkt aus das Relief unserer Alpen, so zeigen sich Gebiete, welche im wesentlichen sicher schon fertig struiert der Erosion anheimfielen und solche, bei welchen sich deutlich der Kampf zwischen Dislokation und Erosion abspiegelt. Ganz im allgemeinen kann man sagen, daß die zentralalpinen Gebiete die zuerst aus dem Meere emportauchenden waren und daß sich an sie angeschmiegt nach und nach die nördlich und südlich folgenden Nebenzonen erhoben. Ein Blick auf diese letzteren zeigt, daß (wo nicht tiefe Einstürze ausgedehnte Gebiete in die Tiefe versenkt und so unseren Blicken entzogen haben, wie vielfach am südlichen Alpenrand) wenigstens in ihren äußersten Ausläufern nur mehr sanfte wellige Formen auftreten und ein allmählicher Übergang zu flacher Lagerung sich einstellt. Auch sind es hier die jüngsten Sedimente, welche an der Oberfläche erscheinen. Zum Teil schon in den Kalkalpen, vor allem aber in den kristallinen Zentralzonen, finden wir die intensivsten Faltungen, Zertrümmerungen und Überschiebungen von Falten und Schollen. Auch sind in diesen Gebieten allenthalben ältere, schon vor der letzten (miocänen) Alpenfaltung gestörte Gebilde eingefügt. In den Zentralalpen ist die Erhebung die größte und die Erosion hat die tiefsten Sedimente bloßgelegt. Hieraus geht ohne weiteres hervor, daß der Einfluß der werdenden Form am Relief um so deutlicher zum Ausdruck kommen wird, je weiter wir von den zentralen Zonen gegen den Rand der Gebirge vorschreiten. Freilich gibt es auch innerhalb der Alpenkette Gebiete, in welchen die letzten Lagerungsstörungen, die miocene Faltung und die sie begleitende Bruchbildung noch sehr deutlich zum Ausdruck kommt. Es sind dies die östlichen Alpengebiete, besonders die östlichen Ausläufer und solche Stellen, wo spät entstandene Einbrüche tief in das Innere eingreifen (Drau- und Gailbruch, Judicarienbruch etc.).

Wenden wir unsren Blick auf unsere ersten beigegebenen Durchschnitte (Fig. 1 und 2, S. 5). Wir sehen hier meilenweit übereinandergeschobene Schollen der Erdrinde von der Erosion zerschnitten. Man mag noch so viel der schemati-

sierten Zeichnung zugute halten und überzeugt sein, daß die Grenzlinie der über-einandergelegten Schollen in der Wirklichkeit viel bewegter sein wird, so ist es doch nicht denkbar, daß hier die Falten und Schollen älterer Gesteine auf erodierte Gebiete jüngerer Absätze aufgefaltet und aufgeschoben wurden. Die hier vor-liegenden Störungen sind submarin entstanden und ein bis zu einem gewissen Grade fertig struierter Gesteinskplex erschien über der Meeresfläche, um hier der Erosion zu verfallen. Den komplizierten inneren Bau mag die auftauchende Oberfläche nur sehr unvollkommen wiedergespiegelt haben und dem entsprechend konnten auch die ersten Flußläufe nur einen losen Zusammenhang mit dem innern Bau zeigen. Noch mehr verwischen mußten sich diese Beziehungen, als die Erosion in große Tiefen eingriff und derartige große Tiefen legen diese Relief in der Tat bloß. Struktur und Relief konnte unter solchen Verhältnissen zumeist nur in den kleinen Formen der Abwitterung zum Ausdruck kommen. Daß in den zen-tralen Schweizer Alpen ein viel geringerer Zusammenhang von Relief und Struktur sich zeigt, mag in der intensiveren Störung dieser Alpengebiete und darin seinen Grund haben, daß diese Gebiete in großer Tiefe submarin gefaltete und bis zu diesen Tiefen abgetragene Krustenteile darstellen. Je weiter wir aber an den Rand der Alpen oder gegen Osten gehen, um so einfacher wird der Bau, um so deutlicher aber auch dieser Zusammenhang. Klar hat dies für den westlichen Teil der Schweizer und der französischen Alpen Lugeon in einigen Beispielen von Durchbruchstälern gezeigt. Offen vor Augen liegt er in dem Zuge des Jura.

Von den Tiroler und bayerischen Alpen haben wir schon oben solche Beispiele auf-gezählt und wir hätten hier nur zu zeigen, wie das Relief während der Alpenfaltung entstanden sein mag.

Über diese interessanten Fragen liegen nur wenige Untersuchungen vor. Meine eigene Meinung über diesen Gegenstand, die sich übrigens nur auf das mittlere Alpengebiet erstreckt, kann ich hier auf beschränktem Raum selbstverständlich nicht begründend vortragen. Hier müssen einige Andeutungen und Hinweise genügen. Silvretta- und Ötzalerstock sind alte Massen, die als bereits gefaltete Gebilde dem späteren Alpenfaltenzug einverlebt wurden. Zur Zeit der miocänen Alpenfaltung wahrscheinlich schon als Landbildungen bestehend, wurden sie mit den Ortler-Tauernfalten, die an sie angelegt, teilweise sogar unter sie eingepreßt wurden (Passeieralpen), gehoben und stellenweise über den Faltenzug der nördlichen Kalk-alpen, der damals noch größtentheils unter dem Meere lag, geschoben (Schwaz—Arlberg—Montavonlinie). Die Flußläufe folgten der allgemeinen Abdachung der emporsteigenden Faltenzone nach Norden (Montavon, Paznaun, die nördlichen Täler des Ötzalerstocks, Wipp- und Zillertal, Unterpinzgau etc.). Solche Talzüge haben die mehr und mehr emportauchenden, das wesentliche ihrer Struktur bereits mitbringenden Kalkalpen quer durchsetzt. Die alten Querfurchen im Lechtalgebiete, Fernpaß—Reutte oder Garmisch—Loisachtal, Seefeld—Isartal, die Achensee-furche, das Innquertal, die große Ache, die Saalach, die Salzach deuten heute noch auf die alten Entwässerungen der Alpen hin. Zum Teil sind es deutliche Depres-sionen, Einbrüche (Fernpaß) oder Knickungen der Längsfalten (Seefeld), welche den Gewässern die Wege gewiesen haben. Verfolgt man aber diese Furchen genauer, so findet man, daß sie nur mehr stückweise vorhanden sind und von den größeren Flüssen heute entweder überhaupt nicht mehr oder nur teilweise benützt werden. Wir müssen uns vorstellen, daß auch nach dem Emportauchen noch ganz be-deutende Lagerungsstörungen, vor allem Faltungen innerhalb der durch Längs-brüche und Überschiebungsfächen getrennten Schollen entstanden. Das Lechtal wurde durch die steile Aufstauung am Arlberg von den Zentralalpen getrennt. Die auftauchenden Falten in den Nordtiroler Kalkalpen störten die Fernpaßstallinie und

die Seefeld—Walchenseetalung; zwischen Wallgau und Fall obsiegte die Auffaltung über den Fluß. Das Quertal wurde hier zum Längstal, bald aber gelang es dem Fluß, die Faltung zu überwinden, so wie er es vermochte, weiter oben zwischen Scharnitz und Mittenwald die aufsteigende Karwendelfalte zu durchschneiden. Leicht lassen sich weiter gegen Osten Beispiele auffinden für dieselben Vorgänge, für das jeweilige Obsiegen der Faltung über die Erosion oder umgekehrt.

Die Längenfurche des Inns selbst ist ein kompliziertes Gebilde, eine durch allmähliches Empertauchen der Kalkalpenfalten einerseits und anderseits durch Einbrüche enstandene Linie, in welche die ursprünglich nach Norden fließenden Gewässer erst nach und nach gedrängt wurden. Die Verhältnisse im Unterengadin sind nicht hinreichend klargestellt. Hier liegt möglicherweise ein Stück eines tiefer liegenden, von Schollen alter kristalliner Gesteine überschobenen Krustenteiles vor, dessen Decke abgetragen wurde. Ob hier der Fluß, der genau dieser Abtragung folgt, sein Tal sich geschaffen, oder ob er eine tektonisch vorgebildete Depression benützte, lässt sich vorläufig nicht entscheiden. Die Fortsetzung dieses Tales geht über den Piller nach Telfs. Längs den Kalkalpenfalten liegt die Talung Arlberg—Landeck—Imst, wo auch ein Rest der alten Fernpaßquertalung vorhanden ist. Die Linie Nassereit—Telfs liegt in der westlichen Fortsetzung der tiefen Seefelder Mulde auf welche die Ötztaler Masse aufgeschoben ist. Bei Telfs endigt der Einfluß der vorgeschobenen Silvretta-Ötztalmasse, die sich in einer Ablenkung der Faltenzüge nach Ostnordost deutlich bemerkbar macht; weiter östlich streichen die Faltenzüge und damit zahlreiche Talfurchen direkt nach Osten. Sie entsprechen dem großen Tauernfaltenzug, der, vom südlichen Abhang der alten Ötztaler Masse, wo er intensiv zusammengequetscht erscheint, herüberziehend, sich hier breit entfalten kann. Allenthalben zeigen sich hier die alten westöstlich streichenden Talzüge, die der Faltung oder den Bruchzonen folgen und von denen wir einen Teil schon oben aufgezählt haben. (Tiersee—Walchseetalung, Ellmau—Pillersee, Brixental, Gerlos—Oberpinzgau, Virgen, Defreggen und schließlich der Pustertalerzug.) Das Inntal selbst folgt zwischen Arlberg und Telfs der Aufschiebungsgrenze, von hier bis Schwaz tiefen Einbrüchen, während es sich weiter talabwärts, durch Erosion schief oder quer durch die Falten seine Wege suchte.

Alle diese Tallinien zeigen deutlich ihre Entstehung während der Dislokation, sie sind ein deutliches Abbild des Kampfes dieser mit der Erosion. Ihre Geschichte würde sich schon heute trotz der noch ganz unvollkommenen Kenntnis des geologischen Aufbaues und der geologischen Entwicklung einzelner dieser Gebiete mit einiger Sicherheit schreiben lassen.

Ähnlich ist es in den mittleren Südalpen. Hier muß man vor allem die große Leitlinie Judicarien—Meran, die Pustertaler—Drau- und die Gailllinie, so wie den Valsuganabruch im Auge behalten. Eigentlich ausgebildet wurden diese Linien erst in der Tertiärzeit. Bedeutende Störungen, Landbildungen und neuerliche Überfaltungen gingen aber sicher schon voraus. Das Dolomit- und das weiter südlich und südöstlich angrenzende Gebiet war in der älteren Kreidezeit überflutet. Ob dies im Etschbuchtgebiete der Fall war, scheint zweifelhaft. Jedenfalls erfolgte hier in der jüngeren Kreidezeit eine Senkung, wie die Transgression der jüngeren Kreide beweist. Die Dolomitplatte ruht auf einem festen Sockel alter Gesteine, der in der nachcretaceischen Zeit über dem Meere blieb und bei der großen tertiären Alpenfaltung in den Winkel Meran-Brunneck geschoben wurde und so vielleicht zum endgültigen Aufrisse der Judicarienspalte Anlaß gab. Die Kalkalpen südlich der Valsugana folgten in derselben Richtung nach, indem sie sich längs der Schio-bruchlinie von der Recoaro-Aufwölbung losrissen. Mir scheint auf diesem ganzen Gebiete eine Unterschiebung gegen Norden verständlicher, als eine Überschiebung

in Südrichtung. Der ganze Vorgang schuf die Aufbiegung im Osten der Etsch zwischen Bozen und Trient und gab Anlaß zur Faltung im Etschbuchtgebiete.

Von den alten Flussläufen vor diesem letzten Vorgang ist wenig mehr zu bemerken. Vielleicht sind, wie schon oben bemerkt, die Talzüge des Vinschgaus, dann Martell, Ulten, Tonale—Val di Sole noch Andeutungen davon. Mit der Bildung der Etschbuchsenkung treten sofort neue Tallinien hervor. Die eben erwähnten Wasserläufe stürzen sich sozusagen plötzlich in diese Senkung (Knickung der Etsch bei Meran, des Noce bei Cles) und verlaufen innerhalb derselben längs der Faltenzüge. Die Etsch zieht rasch von allen Seiten ihre Vasallen an sich, Passer, Talfer, Eisack, Avisio reißen sofort, unbekümmert um alle Struktur, ihre Rinnale ein; innerhalb der Etschbucht dagegen zeigen sich Talfurchen und Bergzüge im besten Einklang mit der Struktur. Die Bruchlinie selbst ist, wie schon oben angedeutet, durch Tallinien markiert. Novella und Noce folgen Mulden, der Durchbruch an der Rochetta ist durch eine tektonische Senkung erleichtert. Prächtig ist die Mendelplatte herauspräpariert. Kaum braucht man auf die alte Etschtallinie Vezzano—Arco und die parallele Molveno—Tre Arche—Balino zu verweisen. Diese Formen sind offenkundig mit der entstehenden Faltenstruktur genetisch verbunden. Östlich der Etsch herrscht unverkennbar die Recoaroaufwölbung, von welcher der ganze Gesteinskörper nach Norden, Westen und Süden absinkt, ein Lagerungsverhältnis, dem die radial angeordneten Flussläufe beredten Ausdruck

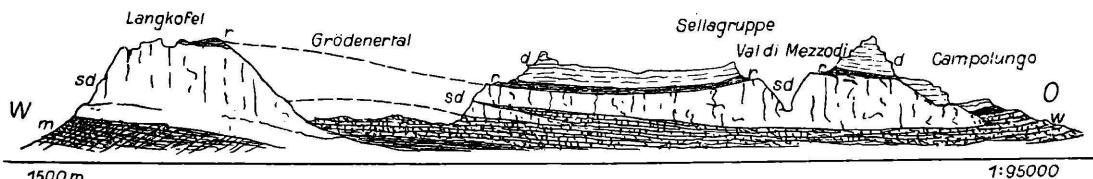


Fig. 6. Profil durch Langkofel- und Sellagruppe (nach Mojsisovics).

m = Muschelkalk, sd = Schlerndolomit, w = Wengener Schichten, r = Raibler Schichten, d = Dachsteindolomit.

verliehen. Östlich von der Schioline geben die Reliefformen allenthalben Zeugnis vom inneren Bau. Ich verweise auf die flache Mulde der Sette comuni mit dem steilen Rand gegen die Valsugana und dem durch einen Längsbruch vermittelten Absturz in die Ebene von Schio—Bassano, auf die Tertiärmulde von Feltre—Belluno und die den Falten folgenden Berg- und Talzüge südlich davon, auf den schön markierten Querbruch des Lago di Santa Croce etc. etc. Vielfach folgen diesen Strukturlinien auch die Gewässer, wo aber der allgemeine Fall des Alpengebirges sie zu einer Entwässerung gegen die Ebene nötigte, da brechen sie, zumeist in engen Schluchten, unbekümmert um die Struktur, quer durch alle Formen durch (Astico, Brenta, Cismone, Piave unterhalb Feltre).

Wesentlich anders sind die Formen auf der hochliegenden Dolomitenplatte mit dem südlichen Pfeiler der Cima d'Asta zu beurteilen. Hier liegt eine der Erosion viel länger ausgesetzte, bis in große Tiefen abgetragene, und von der letzten Alpenfaltung vielleicht schon als Land ergriffene Partie der Alpen vor, wenigstens ist es ein Stück Erde, das zur Zeit der miocänen Alpenfaltung relativ geringe Lagerungsstörungen erlitten hat. Es fehlen daher alle jene Momente, welche, wie wir gesehen haben, besonders geeignet sind, Struktur und großes Relief in Zusammenhang zu bringen. Ich sage großes Relief, weil, wie schon ein ganz flüchtiger Blick zeigt, die großen Erosionsformen, Tal- und Bergzüge kaum einen merkbaren Zusammenhang mit der inneren Struktur zeigen. Für die Wasserläufe sind hier in erster Linie die allgemeine Abdachung, tektonische Störungen in der Nachbarschaft (Bruchzonen im Süden und Südosten) oder tiefer gelegte Erosions-

basis (Etsch im Westen) maßgebend. Anders ist es, wenn wir die Formen mehr im Einzelnen betrachten. So ist es nicht zu verkennen, daß die beckenförmige Einsenkung im Nordosten (Gebiete des Dachsteindolomites) einen gewissen Einfluß auf den Lauf der oberen Boita hat. Die Piave zeigt sich teilweise beeinflußt von der großen, in der Fortsetzung der Valsuganaline liegenden Bruchzone, der Cordevole folgt in seinem Verlaufe teilweise tektonischen Linien.

Um so schärfer ist die innere Struktur und der Gesteinscharakter in den Abwitterungsformen zum Ausdruck gebracht. Die ruhige Lagerung und die großen petrographischen Differenzen der aufeinanderfolgenden, mächtigen Gesteinskämpe fördern dieses Verhältnis im hohen Grade (vgl. Fig 6). So treten einerseits die mergligen Schichtenreihen der Werfener-, Wengener-, Cassianer- und Raiblerschichten in lebhaften Kontrast mit den kalkigen und dolomitischen Sedimenten, Dachsteinkalk und Schlerndolomit, wobei das stockförmige, isolierte Auftreten des letzteren noch ganz besonders geeignet ist, das ganze Gebiet in mehr weniger isolierte Gruppen aufzulösen. Alle diese Gesteine ruhen auf dem mächtigen Sockel der gewaltigen Porphyrtafel, in welche sich der Fluß tiefe Schluchten gerissen hat, so daß ein stufenförmiger Aufbau entstehen mußte. Im Westen und äußersten Osten des Dolomitgebietes erklimmt man zuerst diesen Porphyrsockel, wandert weiter auf begrünten, welligen Flächen der Porphyroberfläche oder des auflagernden roten Grödnersandsteines, steigt sodann auf geneigter Böschung über die Werfenerschichten und steht zumeist plötzlich vor der steilen weißen Mauer des Schlerndolomits mit den senkrechten, zerklüfteten Wänden. Sind diese erklettert, so stellt sich, falls sie nicht unverhüllt und in Zacken aufgelöst (Rosengartengebirge) in die Lüfte ragen, neuerdings eine Hochfläche, Dolomitplateau mit Raiblerschichten ein, über welche nur da und dort einzelne Reste der geschichteten Dachsteinkalke erhalten sind (Pez auf dem Schlern, Cinque torri, Dreizinnen). Wo der Schlerndolomit fehlt, schließen nach oben die Mergel und Tuffelagen der Wengener- und Cassianerschichten ab. Mehr gegen die Mitte des Dolomitbeckens erreicht die Porphyrunterlage die Oberfläche nicht. Die genannten Mergelkomplexe haben eine große Verbreitung, aus ihnen erheben sich da und dort die mächtigen Riffemassen des Schlerndolomites und darüber türmen sich, meist geschieden von einer deutlich markierten Lage von Raiblermergel, die gewaltigen, unendlich abgestuften, teilweise in zahllosen Türmen und Zacken aufgelösten Massen des Dachsteindolomits auf. Unsere Zeitschrift brachte bereits und bringt, wie schon oben bemerkt wurde, herrliche Bilder dieser wunderbaren Landschaft in reicher Fülle, auf welche ich hier verweisen will. Als typisch in diesem Aufbau mögen diejenigen der Sellagruppe oder die Dreizinnenbilder ganz besonders hervorgehoben werden.

Ich habe mit obigen Zeilen, infolge einer freundlichen Anregung der Schriftleitung unserer Zeitschrift, welche eine möglichst rasche Erledigung verlangte, auf einen Gegenstand hingewiesen, der, wie leicht ersichtlich, einer eingehenderen und gründlicheren Behandlung würdig wäre, als ihm hier auf beschränktem Raum und ohne größere Vorstudien zu Teil werden konnte. Mögen die flüchtigen Hinweise wenigstens den Erfolg haben, daß sie den Blick der zahlreichen Alpenwanderer auf eine Seite der Bergherrlichkeit wenden, die bisher wenig Beachtung gefunden hat.
