

Der geologische Bau
der
Tiroler Alpen.



Im Selbstverlage des Landesverbandes für Fremdenverkehr in
Tirol.

Der geologische Bau der Tiroler Alpen

Von J. Blaas.

Unsere Zeit neigt mehr als alle früheren Jahrhunderte zur Betrachtung der Natur. Die Natur, das ist die Gesamtheit der Körperwelt, stellt sich unserer Anschauung durch Formen und durch Veränderungen dar. Dabei verstehen wir unter Form nicht bloß die äußere, unmittelbar auf unsern Gesichts- und Tastsinn wirkende Begrenzung, sondern auch den innern Bau eines Körpers. Weil die äußere Form unsern Sinnen leichter, müheloser zugänglich ist, beschränken wir unsere Betrachtung, wenn sie nicht aus besondern Gründen intensiv wird, auf diese. Dabei vergessen wir nur allzu leicht den Zusammenhang zwischen äußerer Erscheinung und innerer Wesenheit. Wahren und vollen Genuß gewährt die Naturbetrachtung aber nur im Erkennen dieses inneren Zusammenhanges.

Die äußere Form eines Kristalls, einer Pflanze, eines Tieres, ist ein Teil der Erscheinung, der Daseinsform, der Substanz, aus welcher das betreffende Wesen besteht; sie entsteht mit dem Entstehen des Körpers. Es gibt aber noch eine andere äußere Form der Dinge, eine äußere Form, die ihnen nicht wesentlich, sondern sozusagen aufgedrängt ist. Die Form der medicaischen Venus ist dem Marmor nicht eigentümlich, ebensowenig wie die Geschoßform dem Blei, die Brillantform dem Diamanten, die Kugelform dem Holz u. s. w. In allen diesen Fällen wird vom Menschen dem Stoff eine Gestalt aufgezwungen, meist ohne Rücksichtnahme auf seinen inneren Bau, auf seine Struktur. Unter besonderen Umständen zwingt aber die Natur den Körpern Formen auf, sozusagen mit bescheideneren Ansprüchen, sie gestattet dem Körper seine Eigenart noch neben der erzwungenen Gestalt zum Ausdruck zu bringen.

Wir denken hier an die Reliefformen der Erdoberfläche, im besondern an die Berg- und Talformen. Die Erhebungen des Landes und des Gebirges sind entstanden aus Falten und Schollenverschiebungen der Erdhaut. Eine aufgewölbte Falte, eine in die Höhe geschobene Scholle würde sich in einer ihrem inneren Bau, der Lage, Wölbung und Höhe der Falte, und der Beschaffenheit der aufgefalteten Gesteinsschichten entsprechenden Gestalt zeigen, wenn weiter mit ihr nichts geschehen würde. Allein kaum ist der Faltenzug über dem Meeresspiegel aufgetaucht, beginnen sofort die Atmosphärien zerstörend auf ihn einzuwirken, das Gestein zerbröckelt und der Schutt wird vom niederfallenden und zutal fließenden Wasser wieder hinabgeführt ins Meer. Es kommt sofort zu einem Kampf zweier einander ent-

gegenwirkende Kräfte, der die Falten aufrichtenden Kraft der Erde und der abtragenden der Schwere. Man ersieht leicht, daß die Folge dieses Kampfes eine bestimmte äußere Gestalt der Erhebung sein wird, die umso einfacher ausfällt, je gleichförmiger die erhobene Masse ist, umso reicher, je mannigfaltiger die inneren Verschiedenheiten derselben sind. Die abtragenden Kräfte sind dem Bildhauers vergleichbar, der aus dem Marmor das Bild der Venus schafft. Es besteht aber zwischen beiden doch ein wesentlicher Unterschied. Während nämlich der Meißel des Bildhauers, indem er dem auf eine bestimmte Form hin gerichteten Willen des Meisters folgt, keine Rücksicht auf den etwa an verschiedenen Stellen ungleich wirkenden Widerstand nimmt, sondern, um eben jene gewünschte Form zu erzielen, hier kräftiger dort milder arbeitet, nagt die Verwitterung am Gestein und tragen Schwere und fließendes Wasser vom Leibe des Gebirges Teile ab, nur nach gewissen, diesen Agentien innewohnenden Gesetzen, nicht aber mit der Absicht auf eine bestimmte Form. Diese letztere entsteht sozusagen von selbst, als Ergebnis der einseitigen und gesetzmäßigen Wirksamkeit der Abtragung einerseits und des ungleichen, ebenfalls ohne Rücksicht auf eine zu erstrebende Form, nur auf die Selbsterhaltung gerichteten Widerstandes der Masse andererseits.

Man ersieht daraus, daß zum Verständnis der Reliefformen der Erdoberfläche nicht bloß erkannt werden muß die Art und Weise der Abtragung, die Gesetze der Verwitterung und Erosion, sondern auch Natur und Wesenheit des inneren Aufbaues der erhobenen Erdhaut, Zusammensetzung und Struktur der Erdschichten und ihre Lagerungsformen.

Indem wir dem unsere Alpen durchwandernden Naturfreunde bei dieser genußreichen, weil verständigen Naturbetrachtung behilflich sein wollen, haben wir versucht, ihm ein übersichtliches Bild über den Bau unseres Alpengebirges und dadurch eine Erklärung der Formen desselben zu geben. Es ist selbstverständlich, daß dies ohne Kenntnis des Baumaterials des Gebirges, das ist also der Ablagerungen, der Gesteine, und ohne Kenntnis der wichtigsten Momente seiner Bildungsgeschichte nicht möglich ist. Wir versuchen daher zunächst, über beide Fragen in möglichster Kürze Aufschluß zu geben und schließen an diesen sodann einige Beispiele jener Naturbetrachtung an, von der wir uns, wie schon erwähnt, wahren und vollen, echt künstlerischen Genuß versprechen.

Übersicht der geologischen Geschichte unseres Alpengebietes.

Sedimentation und ältere Landbildungen.

„Und der Geist Gottes schwebte über den Wassern“, so beginnt die biblische Schöpfungsgeschichte und der griechische Weise sagt: „Das Wasser ist der Vater aller Dinge“.

Im Entwicklungsgange unserer Erde müssen wir nicht bloß dort, wo heute noch oder heute wieder das Meer sich ausbreitet, sondern auch überall an den Stellen des heutigen Landes Meeresbedeckung annehmen, denn die ganze heutige Landoberfläche ist aus dem Meer entstanden. Freilich wird jeweils neben dem Meer jener Urzeiten Land bestanden haben, das nicht aus dem Meer hervorgegangen ist, aber von jenem Land ist nichts mehr vorhanden, wenigstens nichts mehr bekannt. Dieses Land lieferte bei seiner Zersetzung den Stoff, aus dem die ersten Absätze des Meeres hervorgingen. Diese Absätze, aus ihren Tiefen empork-

gehoben, bildeten neue Länder, durch deren Abtragung wieder Meeressedimente und damit neue Massen für die neuen Landbildungen entstanden sind. So war auch unser Alpengebiet einst ein ausgedehntes Meer, aus dem im Verlauf von Jahrmillionen wiederholt Landrücken emportauchten, wieder verschwanden und wieder emportauchten, bis endlich die für uns letzte gewaltige Aufwölbung das heutige Gebirge schuf.

Unser Alpengebirge ist so gebaut, daß wir an der Oberfläche schon in sehr alter Zeit und tief am Meeresgrund entstandene Sedimente beobachten und erforschen können. Diese Sedimente besitzen ein eigenartiges, von den jüngeren Ablagerungen wesentlich verschiedenes Aussehen. Ursprünglich mögen auch sie Absätze im Meeresgrunde gewesen sein, ganz von der Art der weiter unten zu beschreibenden, es mögen Ton und Lehm, Sand und Gerölle, sowie kalkige Bildungen gewesen sein, allein später haben sie eine so durchgreifende innere Veränderung erlitten, daß man heute ihre anfängliche Beschaffenheit nur aus mehr oder weniger zuverlässigen Anzeichen erkennen und durch Folgerung erschließen kann. Das Wesentliche dieser Umwandlung (Metamorphose) ist, daß diese Massen aus durch ihre eigene molekulare Anziehung aneinander haftenden Kristallen von nur wenigen Mineralarten sich aufbauen. Aus diesem Grunde nennt man sie kristalline Gesteine zum Unterschied von den nicht wesentlich veränderten Gesteinsmassen, welche aus verkitteten Zerfallsprodukten älterer Gesteine bestehen und daher als klastische Gesteine bezeichnet werden. Unter den die kristallinen Gesteine zusammensetzenden Mineralien nehmen verschiedene Arten von Glimmer eine erste Stelle ein. Die Glimmer sind in äußerst dünnen Plättchen spaltbare Mineralien. Da in den metamorphen kristallinen Urgesteinen die Glimmerplättchen mehr oder weniger parallel angeordnet sind, zeigen diese Gesteine eine plattige Struktur, welche den alten Namen „Schiefer“ führt. Man nennt daher diese Urgesteine gewöhnlich „kristalline Schiefer“.

Wir bewohnen die Erde nur kurze Zeit, einige Jahrzehnte. Im Vergleich zum Alter der Erde sind auch einige Jahrtausende nur kurze Augenblicke. In den kurzen Jahrtausenden, während welcher die „historische“ Menschheit die Erde bewohnt, sind nur äußerst geringe, kaum merkliche Veränderungen auf der Erdoberfläche vor sich gegangen. Dagegen haben im Verlaufe der Entwicklung des Erdballes aus seinen uns unbekanntem Urzuständen bis zu den heutigen Verhältnissen für unser Vorstellungsvermögen ganz unfaßbare Veränderungen stattgefunden. So sehen wir mit geologisch geschultem Auge in früheren Perioden der Erdentwicklung Länder aus dem Meere aufsteigen und wieder verschwinden, wieder emportauchen und neuerlich versinken. So wissen wir, daß auch im Gebiet unserer heutigen Alpen auf die Zeit der Meeresbedeckung Land- und selbst Gebirgsbildungen erfolgten, die später wieder verschwinden durch allmähliche Verwitterung und Abtragung oder durch Versinken in den Meeresgrund. Jene Länder und Gebirge bestanden aus den kristallinen Schiefergesteinen, aber auch aus kristallinen Gesteinsmassen, die in Form von glutflüssigem Magma aus dem Erdinnern empordrangen und sich auf und zwischen den schieferigen Sedimenten ablagerten.

Diese Vorgänge mögen sich öfter wiederholt haben, und es werden zu Zeiten, in welchen im ganzen Gebiet unserer heutigen Alpen alles Land versunken lag, in der Nachbarschaft Landbildungen vorhanden gewesen sein, welche allmählich durch

fließendes Wasser abgetragen wurden. Diese fließenden Gewässer trugen den Verwitterungsschutt in gelöster Form oder in Gestalt von Schlamm und Sand dem benachbarten Meer zu, wo er in übereinander liegenden „Schichten“ zum Absatz gelangte. Schon am Meeresgrund sind diese Absätze im Laufe längerer Zeiträume infolge chemischer Vorgänge zu festen Gesteinsmassen verbunden worden.

Wir wissen, daß zu jenen Zeiten auf der Erde organische Wesen, Tiere und Pflanzen, lebten. Solche Wesen wurden durch die Gewässer vom Land her eingeschwemmt, besonders aber gelangten die Seetiere nach ihrem Tode in die Sedimente, wo sie zum Teil durch Abformung, zum Teil aber durch innere Umwandlung ihrer Hartgebilde (Skelette und Schalen) soweit erhalten geblieben sind, daß wir heute in diesen „Versteinerungen“ oder „Petrefakten“ Natur und Wesen der Lebewelt längst vergangener Zeiten der Erde erkennen können.

Wenn wir die uns heute durch Hebung aus dem Meeresgrund vorliegenden Sedimente jener Zeit genau untersuchen, so finden wir einen reichen Wechsel von Kalkgesteinen, Dolomit, Mergel, Sandstein und Tongesteinen, was auf einen wiederholten Wechsel in der Tiefe der damaligen Meere und auf Veränderungen in der Nähe des Landes hinweist. Auf die Länge jener Zeit können wir schließen aus der mehrere Tausende von Metern betragenden Dicke (Mächtigkeit) des abgesetzten Schichtenkomplexes und vor allem aus den mannigfaltigen Veränderungen, welche die Lebewelt während jener Zeit durchgemacht hat.

Wir haben schon angedeutet, daß die Ablagerungen dieser Zeiten von Schwankungen und Runzelungen der Erdkruste begleitet waren. Für unser Gebiet sind besonders 2 Perioden starker Runzelungen der Erdhaut von Bedeutung, weil dieselben zu ausgedehnten Landbildungen führten, die, wie wir aus den noch erhaltenen Spuren derselben schließen müssen, ganz den Charakter der heutigen Alpen hatten. Die erste fällt in die Zeit gegen Abschluß der sogenannten Kohlenperiode, der „Carbonzeit“. Sowohl im westalpinen Gebiet, als auch an verschiedenen Stellen der heutigen Ostalpen hat es damals Gebirgserhebungen gegeben, für welche mit Rücksicht auf die lebhaften Faltungen und Zerreißen der Schichten mit Recht der Name „Alpen der Carbonzeit“, gebraucht wird. Diese Gebirge wurden allmählich wieder abgetragen und an ihre Stelle trat das Meer, in welchem während der Perm-, Trias-, Jura- und der älteren Kreidezeit mächtige Sedimente abgelagert wurden. Dann beginnen an der Grenze gegen die jüngere Kreidezeit in unserem ostalpinen Gebiet äußerst lebhaft Störungen, Zerreißen und Verschiebungen in der Erdkruste, in deren Gefolge Landbildungen auftreten. Wie es scheint, hatten diese aber nicht denselben Charakter, wie die carbonischen und die heutigen Alpen. Es waren nicht so sehr langgestreckte Faltenzüge, welche aus dem Meer empor tauchten, sondern es erhoben sich vielmehr inselförmige Schollen mit flach gelagerten Schichten, zwischen denen schmale Meeresarme die ausgedehnten Meeresgebiete im Norden und Süden verbanden.

Diese „Alpen der Kreidezeit“ verfielen übrigens bald und zum größten Teil wieder der Erosion, so daß zu Beginn der letzten Aera der Erdentwicklung, der Tertiärzeit, wieder ein größerer Teil unseres Alpengebietes vom Meer bedeckt war. Die damals gebildeten Sedimente — es sind zum größten Teil tonige, mergelige und sandige Gesteine — verraten, daß sie nicht so sehr

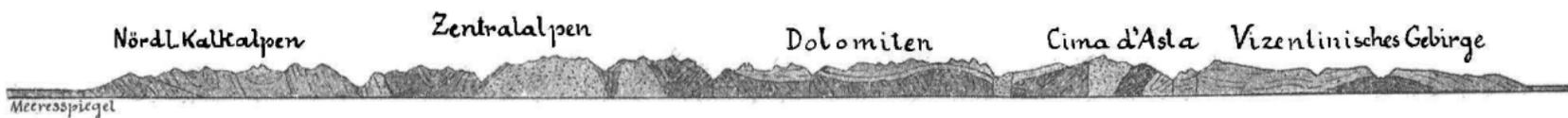
in weiten, offenen Meeren als in kleineren Binnenseen und in zwischen Landrücken hinziehenden, seichten Meeresarmen gebildet wurden. Außerdem zeigt aber der lebhafte Wechsel zwischen echt marinen und dann wieder lakustren Absätzen, mit reichlicher Pflanzeneinschwemmung, daß der damalige Meeresgrund sehr unruhig war, mit andern Worten, daß sich schon damals, das heißt in der älteren Tertiärzeit, das große Ereignis der endgiltigen Alpenhebung vorbereitete.

Die endgiltige Alpenhebung.

Durch lange Jahrtausende wurde, wie wir gesehen, das Baumaterial unserer Alpen im Meere zusammengetragen, mächtige Schichtenkomplexe verschiedenartiger Zusammensetzung, tonig-sandige und kalkig-dolomitische Absätze waren entstanden, wiederholt versuchte, könnte man fast sagen, der Erdball die Alpenrunzel aufzuwerfen, stets vermochte die gewaltige, zerstörende Wirksamkeit von Luft und Wasser die aufgetürmten Massen wieder abzutragen. Endlich gelang der große Wurf. Die ersten Geologen, welche das Alpengebiet betraten, hatten zwar bedeutende Lagerungsstörungen der Schichten in den mitteleuropäischen Gebirgen gesehen, was ihnen aber in den Alpen entgegentrat, erregte ihr Staunen. Hier waren nicht nur da und dort einzelne Schichten verbogen oder zu flachen Gewölben aufgefalt, hier zeigten sich intensive Faltungen und Schichtenverbiegungen auf meilenweite Strecken, Aufwölbungen auf Tausende von Metern; senkrechte und selbst überkippte Schichtenstellungen, Zertrümmerungen und Schollenbildungen, Verschiebungen auf viele 100 Meter und sogar Überschiebungen, so daß das Älteste über dem Jüngsten zu liegen kommt. Trotzdem sind die Bilder, welche uns die ältern Geologen vom Bau, von der Tektonik des Alpengebirges geben, einfach und leichtverständlich zu nennen im Vergleich zu dem, was uns die alpine Geologie der neuesten Zeit bietet. Hatte man bis jetzt geglaubt, daß die Schichtenkomplexe, welche an einer Stelle gefaltet und zertrümmert sich vorfinden, selbstverständlich an der Stelle ihres heutigen Vorkommens auch entstanden sind, wenn sie auch daselbst eine bedeutende Veränderung ihrer Lage erlitten haben, so lehren uns die heutigen Geologen, daß dies für den größten Teil des alpinen Gebietes nicht gilt, daß hier Schichtenkomplexe, verwickelt gefaltet, neben und übereinander geschoben vorliegen, welche ursprünglich in meilenweiter Entfernung abgesetzt, zur Zeit der alpinen Aufstauung durch ganz ungläubliche Kräfte emporgequetscht, umgelegt und dann gegen Norden hin verschoben wurden, so daß hier über jungen, tertiären Absätzen ausgebreitet und zum Teil in sie sozusagen hineingesenkt und hineingepreßt die verschiedensten Ablagerungen älterer Zeit aus südlicheren Gegenden liegen.

Um eine Vorstellung der einfacheren Auffassung der alten Geologen und jener der jüngern alpinen Forscher zu geben, mögen die beiden folgenden Durchschnitte vorgeführt werden, von welchen der eine Verhältnisse in den Schweizer Alpen, der andere einen Durchschnitt durch die Ostalpen etwa im Meridian der tirolischen Tauern zeigt. Der letztere stellt nur tatsächlich beobachtete Lagerungsverhältnisse dar, im ersteren ist auch der Versuch gemacht, diese Lagerungsverhältnisse im Sinne der modernen Anschauungen zu erklären.

(Siehe Bild Seite 6).



Zwei geologische Durchschnitte durch die Alpen
 oben durch die Westalpen (von C. Schmid), unten durch die Ostalpen.

Es muß hervorgehoben werden, daß für das Studium dieser verwickelten Lagerungsverhältnisse vorläufig fast nur die westlichen Alpengebiete günstige Aufschlüsse ergeben haben, während unsere Ostalpen und besonders unser engeres tirolisches Alpengebiet diesbezüglich noch nicht hinreichend durchforscht wurden. Dies ist auch der Grund, warum wir in unserer Darstellung noch vielfach auf dem alten Standpunkte stehen bleiben müssen, wenn wir auch Grund genug zur Annahme haben, daß in nicht ferner Zeit so manche der hier gegebenen Darstellungen ändern, sozusagen „modernistischen“ Auffassungen Platz machen müssen.

Schon aus dem Angedeuteten geht hervor, welch gewaltigen Umwälzungen auf der Erdoberfläche unser Alpengebirge sein Dasein verdankt. Die Bewegungen beginnen bereits in der ältern Tertiärzeit und erreichen in der mittleren Tertiärzeit (im Miocän) ihr größtes Ausmaß. Wir werden weiter unten an dem einen oder anderen Beispiel genauere Kenntnis vom Bau unseres Alpengebietes erhalten, hier mag nur ganz im allgemeinen hervorgehoben werden, daß zu jener Zeit der Alpenwall in seiner ganzen heutigen Größe, ja noch weiter über dieselbe hinaus entstanden ist, und daß das Meer aus allen Gebieten verdrängt wurde, daher alle später innerhalb der Alpen gebildeten Ablagerungen nicht mehr marine Sedimente sind. Sie stammen von der Abtragung des erhobenen Faltenzuges und wurden durch fließendes Wasser und durch das Gletschereis in den Talrinnen des Gebirges abgelagert.

Die an dem oben aufgeführten Durchschnitte über dem Gebirgsrelief gezeichneten Linien deuten an, welche Höhe die Faltenwellen und die überschobenen Schollen besitzen würden, wenn sie nicht abgetragen worden wären. Wenn man nun auch nicht denken darf, daß diese Falten einst wirklich diese Höhe besessen haben, weil sie ja schon während ihrer allmählichen Aufbiegung abgetragen wurden, so gibt uns die Zeichnung doch eine Vorstellung von der Größe der Abtragung. Wir sehen, daß das heutige Gebirge nur einen Rest der Runzeln darstellt. Die fließenden Gewässer, Bäche und Flüsse, haben bis heute den größeren Teil der über dem Meer emporragenden Auffaltungen wieder hinab in das Meer geführt, wo der Detritus zu neuen Schichten abgelagert wird. Betrachtet man Bach und Flußläufe im Zusammenhang mit dem geologischen Bau, mit Form und Richtung der Falten und Risse, sowie mit der Beschaffenheit der abgetragenen Gesteine, die ja der Verwitterung und Auswaschung ganz verschiedenen Widerstand entgegensetzen, so gelangt man zu einem Verständnis der heutigen Reliefformen des Gebirges, zu einer Geschichte der Talbildung, zur Erklärung von Größe, Richtung und gegenseitiger Beziehung der Tallinien und der zwischen ihnen liegenden Gebirgszüge. Wir werden weiter unten Gelegenheit haben, in dem einen oder dem andern Beispiel aus dem uns näher liegenden tirolischen Alpengebiet diesen Zusammenhang aufdecken zu können.

Die Eiszeiten.

Wie schon angedeutet, begann die Abtragung sicher mit dem Augenblick, in welchem das Land aus dem Meer emportauchte und setzt sich bis zum heutigen Tage fort. Es unterliegt nun keinem Zweifel, daß zunächst die Auffaltung des Gebirges weit über die

Abtragung siegte; nur so war es möglich, daß überhaupt eine Erhebung entstand. Allmählich erlahmte jedoch diese aufstauende Kraft mehr und mehr und so gewann nach und nach die Abtragung die Oberhand. Man pflegt die Zeit nach dem Abschluß der überwiegenden Auffaltung des Alpengebirges als eigene geologische Periode mit dem Namen Quartär zu bezeichnen und dieselbe in zwei Unterabteilungen, das Diluvium und Alluvium zu zerlegen. Wie zur Zeit der lebhaften Faltung, so wirkt auch im Alluvium, in der geologischen Gegenwart, vor allem das Wasser abtragend auf das Gebirge. Die durch die scharf einschneidende Arbeit der fließenden Gewässer entstehenden Abtragungsformen, sowie das durch seine anhäufende Tätigkeit sich bildende Oberflächenrelief sind äußerst charakteristisch und zumeist leicht verständlich. Während des Diluviums aber stand in unserem Alpengebiet die Wassererosion periodisch still und an ihre Stelle trat die abschleifende und auskolkende Wirkung des Gletschereises. Wir wissen, daß die Diluvialzeit ausgezeichnet ist durch lebhaftere Temperaturschwankungen, in deren Gefolge einerseits ein ganz außerordentliches Anwachsen der Eisbedeckung des Gebirges (Glazialzeiten), andererseits ein starker Rückgang der Vergletscherung (Interglazialzeiten) eintrat. Während diese letzteren Zeiten, zu welchen wohl auch die Gegenwart zu rechnen ist, durch lebhaftere abtragende und anhäufende Wasserwirkungen ausgezeichnet sind, vollzog sich in den Glazialzeiten eine eigenartige, von der Wasserwirkung wesentlich verschiedene Abtragung des Gebirges und eine ganz besondere Art der Schutthanhäufung. Zu der ersteren gehören die charakteristischen Rundungen der Gehänge und die trogförmige Auskolkung der Täler, zur letzteren die Anhäufung von Moränenwällen, besonders im Alpenvorland, und die schlammigen Ablagerungen (Grundmoränen) ungeschichteter, sowie die vom Schmelzwasser erzeugten geschichteten Schuttbildungen innerhalb des Gebirges. Beide Arten von Glazialgebilden springen dem Eingeweihten sofort als etwas Ungewöhnliches, Fremdes, in die Augen, beide spielen in der weiteren Geschichte unseres Alpengebirges und besonders in ihrer Beziehung zum postglazialen Alpenbewohner und dessen Kulturarbeit eine hervorragende Rolle.

Nach dem jetzigen Stand der Eiszeitforschung kann man im Alpengebiet vier Eiszeiten und drei dazwischen liegende Interglazialzeiten unterscheiden. Zu jeder Eiszeit gehören Moränen und Flußablagerungen, die Zwischeneiszeiten sind durch Verwitterung und Abtragung, sowie durch gewisse Schuttbildungen charakterisiert. Begreiflicher Weise sind uns aus den letzten Zeiten der diluvialen Vergletscherung reichlichere und weniger verletzte Überreste erhalten, als aus den früheren. Wenn nicht besonders hervorgehoben wird, aus welcher Zeit die Gletscherspuren stammen, so sind im folgenden stets Formen und Ablagerungen der letzten Glazialzeit gemeint.

Die Gegenwart und der Mensch.

Es ist begreiflich, daß die Eiszeit in den Alpen alles Organische zerstörte, alle Bewohner dieses Gebietes, Pflanzen und Tiere, wurden durch die herannahende Vergletscherung hinaus in mildere Gegenden gedrängt. Nach Abschluß der letzten Vergletscherung finden wir innerhalb der Alpen die heutige Pflanzen- und Tierwelt und den Menschen vor. Die Geschichte desselben verfolgen wir

zunächst zurück an der Hand von geschriebenen Quellen (historische Zeit), dann geführt durch verschiedene Werke und Spuren menschlicher Tätigkeit oder Überreste des menschlichen Körpers selbst (prähistorische Zeit). Der historische Mensch reicht nicht weit zurück; vom Standpunkt der geologischen Zeitrechnung sind die paar tausend Jahre der Geschichte des Kulturmenschen verschwindend klein gegenüber der Erdgeschichte. Jedenfalls fanden während dieser Zeit keine wesentlichen geologischen Veränderungen statt. Der prähistorische Mensch reicht in das Diluvium zurück, er war ein Zeitgenosse der großen Vergletscherungen, die er natürlich außerhalb der Alpen erlebte. Ob er in den Interglazialzeiten das inneralpine Gebiet bewohnte, konnte bis jetzt nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

Baugesteine des Gebirges.

Die Urschiefer, Gneis und Glimmerschiefer sind schieferige, hochkristalline Gesteine, welche wesentlich aus Glimmer, Quarz, Feldspat und einigen mehr nebensächlichen Mineralien bestehen. Es sind die ältesten uns bekannten Gesteine der Erdhau. Sie mögen ursprünglich sandig tonige Absätze im Urmeer gewesen sein, erfuhren aber im Laufe vieler Jahrmillionen allmählich eine vollständige Umwandlung in der Weise, daß die zur Zeit des Absatzes mechanisch aneinander gefügten Zerfallprodukte der alten Erdkruste allmählich einen vollständigen chemischen Umsatz und eine morphologische Neugestaltung eben zu den oben genannten Mineralien erlitten. Diese durch Metamorphose gewonnene innere Struktur gibt ihnen den Charakter kristalliner Gesteine, während die Lagerungsverhältnisse, der Schichtenbau, darauf schließen lassen, daß man es mit echten Sedimenten zu tun hat.

Neben diesen beiden Hauptgesteinstypen der archaischen Zeit finden wir noch zahlreiche andere Arten kristalliner Gesteine, so zum Beispiel besonders häufig Hornblende- oder Amphibolitschiefer, dunkelgrüne, äußerst feste und widerstandsfähige Gesteine, die wesentlich aus Hornblende bestehen, und kristallinen Kalk (Marmor).

Die Urschiefer sind das herrschende Gestein der „Zentralzone“. Sie bauen dort zumeist in steil aufgerichteten Schichten die großen eisbedeckten Massive der Silvretta, der Ötztaler-, Ortler- und Adamelloalpen, sowie der Tauern auf.

Kristalline Schiefer jüngerer Formationen.

Kristalline Schiefergesteine gehören nicht bloß der archaischen Formationsgruppe an, man findet sie, und zwar in allen Übergängen, von vollkommen kristalliner Ausbildung bis zur Grenze rein klastischer Gesteine auch in jüngeren Formationen. Sie werden häufig kurzweg als „metamorphe Schiefer“ bezeichnet. Je nach dem Grade der Umwandlung haben sie auch etwa ursprünglich vorhandene organische Einschlüsse, Versteinerungen, verloren und somit fehlt eines der wichtigsten und zuverlässigsten Mittel zur Erkennung ihres geologischen Alters.

Es gehören hierher zunächst phyllitische Gesteine, das heißt solche Schiefer, deren wesentlichster Bestandteil der Glimmer ist, welcher das Gestein in zusammenhängenden Häuten aufbaut; die übrigen mineralischen Bestandteile liegen oft nur in ganz dünnen,

mit freiem Auge schwer erkennbaren Lagen zwischen den Glimmerhäuten. Je nachdem diese Zwischenlagen wesentlich aus Quarz oder Kalk bestehen, unterscheidet man einen Quarzphyllit (Tonglimmerschiefer) und einen Kalkphyllit. Beide Gesteine vertreten bei uns einen großen Teil der paläozoischen Formation, doch gibt es auch in den jüngeren Bildungen Gesteine, welche durch Umwandlung annähernd das Aussehen des Phyllits erhielten. Dies gilt besonders von solchen jüngeren Formationen (Jura, Tertiär), welche eine starke mechanische Beeinflussung (Druck und Zug) erlitten haben.

Sericitschiefer sind helle, grünliche oder fast weiße, seidenglänzende Phyllite, deren wesentlicher Bestandteil eine Abänderung des gewöhnlichen weißen Glimmers (Sericit) ist. Chloritschiefer enthalten vorherrschend ölgrünen Chlorit, Talkschiefer führen reichlich Talk an Stelle des Glimmers. Quarzitschiefer nennt man Abänderungen, welche glimmerarm, dagegen sehr reich an Quarz sind. Auch die phyllitischen Schiefergesteine enthalten nicht selten Einschaltungen von mehr oder weniger kristallinem Kalk in vereinzelt oder mächtigeren Schichtbänken.

Sedimentgesteine der versteinierungsführenden Formationen.

Der Kalkstein besteht aus verhärtetem Kalkschlamm (kohlenaurer Kalk) und mehr oder weniger deutlichen Kalkspatkrystallen. Es ist das weitaus herrschende Gestein der sogenannten Nebenzonen (Kalkzonen) unserer Alpen. Zumeist in deutlichen Schichten abgesetzt, weiß, durch verschiedene Beimengungen grau bis fast schwarz gefärbt, zuweilen auch rötlich, grünlich, in der Regel Versteinerungen einschließend. Der Kalkstein hat sich aus Schalen und Skeletten abgestorbener Meeresbewohner gebildet. Kalkalgen und Korallen haben ebenfalls sehr mächtige, meist nicht oder nur undeutlich geschichtete Kalkabsätze geliefert (Riffe).

Dolomit ist ein Kalkstein, welcher neben kohlensaurem Kalk bis zur Hälfte des Bestandes kohlensaure Magnesia führt. Bei uns spielen besonders in der Triasformation mächtige Dolomitmassen eine große Rolle.

Mergel ist Kalkstein mit reichlicher Tonbeimengung.

Sandstein, durch quarzige oder kalkige Bindemittel verkitteter Sand, in Schichten und Bänken sehr häufig in verschiedenen Formationen, besonders reichlich in der Tertiärformation des Alpenvorlandes.

Konglomerate, meist durch Kalk verkittete Geröllmassen, kommen zwar in verschiedenen Formationen vor, herrschen aber ganz besonders in den diluvialen Ablagerungen.

Breccien bestehen aus verkitteten, eckigen Bruchstücken älterer Gesteine. Sie können verschiedenen Ursprung haben. Die meisten Breccien unserer Alpen sind verkitteter Verwitterungsschutt (Gehängeschutt); auch sie herrschen ganz besonders in den diluvialen (und alluvialen) Ablagerungen.

Lose Aufschüttungen. In der Diluvialzeit und in der Gegenwart lagern die Flüsse Gerölle (Schotter), Kies, Sand und Lehm ab und zwar in den Talsohlen (Inundationsgebieten) breiter Täler mit geringem Gefälle, als Deltabildungen in Seen, als Schuttkegel an den Talmündungen. Zur Glazialzeit haben die Gletscher ungeschichtete Schlamm- und Blockmassen (Moränen),

die Schmelzwasser ausgedehnte geschichtete Alluvionen gebildet. Auf trockenem Wege entstanden sind zur Diluvialzeit und herauf bis heute die am Fuß der Felsgehänge im Hochgebirge liegenden **Gehängeschuttmassen**, sowie der **Verwitterungsschutt** allenthalben auf der Oberfläche des Gesteins.

Massengesteine. Die hier zu erwähnenden Gesteine sind durch Erstarrung aus Schmelzflüssen entstanden, also vulkanischen Ursprungs, (Eruptivgesteine). Die vulkanischen Ergüsse traten entweder an der Oberfläche auf (Ergußgesteine) oder sie blieben innerhalb der Erdkruste stecken und füllten dort Spalten und Hohlräume aus (Intrusiv- oder Tiefengesteine). Sie setzen sich aus innig miteinander verbundenen Kristallen verschiedener Mineralien zusammen, neben welchen zuweilen noch ein Rest des Magmas in Form einer glasigen Masse erhalten ist. In Bezug auf ihre Struktur kann man körnige und porphyrische unterscheiden, das heißt solche, bei welchen entweder die ganze Masse in Kristallen erstarrt ist oder nur ein Teil, während der übrige wenigstens für das freie Auge wie eine homogene Masse erscheint.

Zu den körnigen Massengesteinen gehört vor allem der **Granit**, ein Gemenge von Quarz, Feldspat und Glimmer, Granit ist ein in unseren Alpen weitverbreitetes Tiefengestein. Besonders reich an zuweilen sehr mächtigen Graniteinlagerungen ist die Zentralzone (Tauern, Gegend von Brixen—Meran, Adamello). Viele dieser Granite haben eine etwas abweichende Zusammensetzung, sie enthalten unter anderem reichlich Hornblende und werden „Tonalite“ genannt. Wahrscheinlich sind auch viele Gneise durch Druck schieferig gewordene Granite. Andere körnige, granitähnliche Gesteine sind der Diorit (Gegend von Klausen) und Diabas (Steinacher Joch).

Der typische Vertreter porphyrischer Eruptivgesteine ist der **Porphyr**. Ein in der Farbe ziemlich mannigfaltiges Ergußgestein, an dem man eine dichte Grundmasse und darin ausgeschiedene Quarz- und Feldspatkristalle neben Glimmer unterscheiden kann. In unseren Alpen tritt dieses Gestein in größerer Erstreckung als Unterlage der südalpinen Trias auf. In der weitern Umgebung von Bozen ist es das herrschende Gestein, auch an der Oberfläche, weil hier die Triasdecke zum großen Teil abgetragen ist.

Innerhalb der Triasformation findet man im Gebiet der „Dolomiten“ ein anderes porphyrisches Ergußgestein, nämlich den schwarzen **Angitporphyr** und dessen Tuffe; die letzteren, welche sich aus bei der Eruption ausgeworfenen Aschenmassen aufbauten, haben eine sehr große Verbreitung im Gebiet der Seiser Alpe am Schlern.

Ein ähnliches aber viel jüngerer Eruptivgestein findet sich innerhalb der südalpinen Tertiärformation. Es ist dies der besonders in der Umgebung des Mte. Baldo und dann in den Veroneser Bergen weitverbreitete **Basalt** und dessen Tuffe.

Gliederung und Ausdehnung der Ablagerungen.

Um die große Masse der im Laufe der Erdentwicklung gebildeten Sedimente besser übersehen zu können, suchte man selbstverständlich eine Gliederung und Gruppierung in dieselbe zu bringen. Es waren dabei verschiedene Gesichtspunkte bestimmend, so vor allem und zunächst die Gesteinsbeschaffenheit. Man erkannte aber bald, daß dieselbe zu verschiedenen Zeiten gleich oder wenigstens sehr ähnlich war. Alle Einteilungen, welche

die Altersverhältnisse zum Ausdruck bringen wollen, suchen daher nach anderen Merkmalen der Unterscheidung. Am meisten brauchbar haben sich in dieser Hinsicht die Versteinerungen erwiesen; außerdem kommt ungleichförmige Überlagerung in Betracht, weil sie beweist, daß zwischen der Bildungszeit der überlagerten und der überlagernden Schichten Ereignisse von größerer Bedeutung für die Erdgeschichte liegen.

Es ist zu beachten, daß die Gliederungen nach den Verhältnissen in besonders gut durchforschten Gebieten gemacht und dann von dort auf andere Gebiete übertragen wurden, auf die sie nicht immer gut passen. Ohne daß wir hier auf diese verwickelten Verhältnisse näher eingehen können, müssen wir doch die folgende Tabelle der Zeitgliederung der Erdentwicklung und der in den einzelnen Perioden gebildeten Absätze anführen, weil es unerlässlich ist, von den üblichen Namen Gebrauch zu machen.

Tafel der Formationen.

Zeiten und Formationen		Ablagerungen	Besondere alpine Bezeichnungen
Kainozoicum	Quartär	Alluvium	Flußalluvionen, Schuttkegel
		Diluvium (Eiszeit)	Schotter und Moränen Konglomerate
	Tertiär	Neogen	Molasse
		Eocän	Nummulitenkalk und Häringer Schichten Flysch
Mesozoicum	Kreide	Jüngere Kreide	Gosaufornation Biancone, Scaglia
		Aeltere Kreide	Schrattenkalk
	Jura	Malm	Tithon, Diphyakalk
		Dogger	Ammonitico rosso Aptychen-Schichten
		Lias	Algäu-Schichten (Fleckenmergel)
	Trias	Keuper	
			Cardita- od. Raibler-Schichten Wettersteinkalk und Schlerndolomit
		Muschelkalk	Partnach- und Wengener-Schichten Virgloriakalk

Zeiten und Formationen		Ablagerungen	Besondere alpine Bezeichnungen
Paläozoicum	Trias	Buntsandstein	Wurfener Schichten, Seiser- und Campilerschichten
	Perm (Dyas)		Grödener Sandstein und Veruccano
	Carbon		Metamorphe-Schiefer
Archaicum	Altpaläozoicum		Quarz- und Kalkphyllit
	Urschiefer Urgneis		Gneis- und Glimmerschiefer

Kurze Charakteristik der alpinen Sedimente.

Archaische Gesteine. Gneis und Glimmerschiefer nebst Hornblendeschiefer und kristallinem Kalk in den Tauern, Ötztaler Alpen, im Silvrettastocke, in den Ortler- und Adamelloalpen. Das Krongestein in den Tauern, Zentralgneis genannt, ist ein Gneis, der aus einem eruptiven Granit durch Druck hervorgegangen ist. Über das Alter dieser Gesteine und der dieselben umgebenden Schiefer (der sogenannten „Schieferhülle“) läßt sich derzeit noch kein endgültiges Urteil abgeben.

Quarzphyllit, Kalkphyllit sind zweifelhaften Alters, wahrscheinlich gehören sie dem ältern Paläozoicum (Cambrium, Silur) an. Chlorit und Talkschiefer, sowie verschiedene andere ganz- und halbkristalline Schiefer teilt man verschiedenen Formationen zu. Dagegen sind die grünen und violetten Schiefer der Kitzbüheler Alpen sicher paläozoischen Alters.

Jüngeres Paläozoicum. Manche Quarzphyllite werden zur Carbonformation gerechnet, sichere Carbongesteine, schwarze Schiefer mit Pflanzenabdrücken, sowie Kalke finden sich auf dem Steinacher Joch. Der bekannte Silbererz und Baryt führende dolomitische Kalk von Schwaz und der Kitzbüheler Gegend gehört der Perm- (Dyas-)Formation an.

In den Südalpen liegen auf dem Quarzporphyr, dessen Erguß in die Permzeit fällt, buntfärbige, sehr feste Konglomerate, „Veruccano“, dann ein roter Sandstein, Grödner Sandstein genannt, sowie ein dunkler Kalk, Bellerophonkalk, mit Versteinerungen, welche ebenfalls auf die Permformation verweisen.

Mesozoische Gesteine. Unsere Kalkalpen sowohl im Norden, wie im Süden der Zentralzone werden zum weitaus größeren Teil von Gesteinen der Triasformation aufgebaut. Es kann hier unmöglich auf eine Beschreibung auch nur der wichtigen Typen dieser ungemein formenreichen Formationsreihe eingegangen werden und zwar um so weniger, als Gesteine desselben geologischen Niveaus ganz verschiedene Namen erhalten haben; wir müssen uns darauf beschränken, einige der häufig wiederkehrenden Bezeichnungen anzuführen und deren Bedeutung ganz kurz zu erläutern. Die meisten der im folgenden zu besprechenden Gesteine enthalten Versteinerungen, deren Kenntnis zu ihrer Altersbestimmung zwar

unerlässlich ist, deren Namen hier aber — weil es ja ohne Abbildungen nur leere Namen wären — nicht aufgeführt werden sollen.

Man kann im ganzen Triaskomplex etwa folgende Gesteinstypen unterscheiden: Schiefer, Sandsteine, Mergel, Kalke und Dolomite. Als tiefste Triasglieder findet man in den Nordalpen Schiefer und Sandsteine, meist von roter Farbe, sogenannte Werfener Schichten, dann folgen dunkle Kalke, Muschelkalk, Virgloriakalk, weiter schwarze Mergel, Partnachschichten, und im mittlern und östlichen Teil der Nordalpen ein sehr mächtiger hellgrauer Kalk, der Wettersteinkalk. Über demselben sind dann weit ausgebreitet mannigfaltige, meist dunkel gefärbte versteinungsreiche Ablagerungen, Mergel, Kalke, Dolomite und Sandsteine, die sogenannten Raibler- oder Carditaschichten. Auf ihnen liegt sodann in größerer Mächtigkeit und großer Verbreitung ein grauer, stark verwitternder Dolomit, Hauptdolomit genannt, der endlich vom obersten Glied der Triasformation, den sogenannten Rhätischen oder Kössener Schichten, Mergeln und Kalken, überdeckt wird. In den Südalpen ist die Entwicklung der Trias auffallend verschieden von jener der Nordalpen. Schon das unterste Glied, die sogenannten Seiser- und Campilerschichten, welche den nordalpinen Werfener entsprechen, sind anders ausgebildet, es sind zumeist sandige und mergelige Kalke mit vielen Versteinungen, auf welche Muschelkalkschichten folgen. Von hier nach aufwärts kann man — besonders schön im Südosten Tirols — nebeneinander zwei verschiedene Gesteinsserien unterscheiden. Während nämlich da versteinungsreiche Mergel (Wengener- und Cassianerschichten) mit eingeschalteten Ergußgesteinen (Angitporphyr) und Kalken von verschiedener Ausbildung übereinander folgen, hat man unmittelbar daneben mächtige Dolomitmassen und zwar einen untern, ungeschichteten, Schlern-dolomit genannt und einen obern, geschichteten Dolomit, den man wegen der Ähnlichkeit mit einem nordalpinen Gestein der Ostalpen wohl auch Dachsteindolomit nennt. Der Schlern-dolomit wird von vielen Geologen als eine Korallenriffbildung aufgefaßt.

In ähnlicher Weise wie in der Trias sind auch die Gesteine der Juraformation in den Nord- und Südalpen auffallend verschieden. Während nämlich in den Nordalpen neben weit ausgedehnten mergeligen Kalken, sogenannten Algäu- und Aptychenschichten, da und dort rote und weiße, versteinungsreiche Kalke (Adnetter- und Hierlatzkalke) auftreten, findet man in den Südalpen eine bunte Reihe von verschiedenen grauen und roten Kalken mit reichlicher Hornsteinausscheidung und vielen Versteinungen (besonders Ammoniten) sowie weißen bis rötlichen marmorartigen Kalk (Trienter Marmor).

In den Südalpen folgen auf die letztgenannten Gesteine hellweiße, porzellanartige Kalke (Biancone) und intensivrote Mergel (Scaglia), deren Versteinungen auf die Kreideformation hinweisen. In den Nordalpen dagegen kann man leicht zwei Gebiete mit ganz verschiedener Entwicklung der Kreideformation unterscheiden. Während nämlich im Westen, in Vorarlberg und im Algäu, ein Zug von dunklen Mergeln und grauen Kalken (Schrattenkalk) mit den charakteristischen Versteinungen der schweizerischen Kreideformation aus den Schweizer Bergen herüberstreicht, finden wir in der auf diesen Zug aufgeschobenen

ostalpinen Platte die obere Kreideformation nicht mehr konform über den ältern Schichten, sondern es zeigt sich, daß hier vor ihrem Absatze gewaltige Erhebungen stattgefunden haben, so daß diese zumeist als Gosauformation bezeichneten Bildungen, Kalk, Sandstein und Konglomerat, neben den alten, emporgehobenen Sedimenten liegen.

Kainozoische Gesteine. Innerhalb unserer Alpen sind von Tertiärbildungen nur in den Südalpen ausgedehntere Schichtenkomplexe erhalten und zwar vor allem in Form von mächtigen Kalkbänken, welche, da sie reichliche münzenförmige Einschlüsse von niederen Meeresstieren, den sogenannten Nummuliten enthalten, den Namen Nummulitenkalk führen, dann aber auch als sandig mergelige Ablagerungen, vermischt mit Eruptivtuffen und Basalten, wie schon oben erwähnt wurde. Die nordalpinen Tertiärbildungen, zumeist Sandsteine und Mergel (Molasse), liegen größtenteils außerhalb unseres Landes und sollen daher hier nicht weiter besprochen werden. Von größerer Bedeutung aber sind die in die Walchseetung bei Kufstein und in das Inntal bis Wörgl hereinreichenden alttertiären „Häringer Schichten“, weil ihnen an mehreren Stellen, so besonders in der Umgebung von Häring, größere Flötze von Braunkohlen eingelagert sind.

Die Ablagerungen des Quartärs, der Diluvial- und Alluvialzeit, sind geschichtete Flußbildungen, Sande, Kiese und Lehm, sowie die Moränen der verschiedenen Vergletscherungen.

Grundzüge der Lagerungsverhältnisse.

Arten der Dislokationen.

Schon oben wurde öfter hervorgehoben, daß das Material unserer Berge im Meere aus dem Absatz von Detritus sich gebildet hat, welchen vor allem die Flüsse von alten, längst verschwundenen Festländern ins Meer führten. Daraus folgt, daß die übereinander geschichteten Sedimente ursprünglich auf dem Meeresgrund sich in horizontaler Lagerung befunden haben. Wenn sie heute hohe Berge bilden, so müssen sie aus dieser Lage in die neue Position gebracht worden sein. Wir wissen, daß die wesentliche Ursache dieser Störung in der Schrumpfung der Erde infolge ihrer Abkühlung liegt. Wenn wir nunmehr die Tausende von Metern mächtigen Schichtenkomplexe harter Gesteine gebogen, gefaltet, zerknittert und geknetet finden, in einer Weise, als ob sie weicher Teig gewesen wären und zu gewaltigen Bergzügen emporgehoben vor uns sehen, so scheint uns kleinen Menschen dies zwar schier unverständlich, wenn man sich aber im Geiste über die Erde erhebt und sich vergegenwärtigt, daß die „feste“ Kruste über diesem gewaltigen Balle nur eine dünne Haut ist, verliert so manches dieser Erscheinung auch für uns das Unbegreifliche.

Man kann alle Lagerungsstörungen auf zwei Grundtypen zurückführen. Entweder hat man es mit Verbiegungen der Schichten, mit Faltungen zu tun, oder mit Zerreißen und Verschiebungen längs der Brüche. An den Falten kann man alle Übergänge, von der einfachen flachen Aufbiegung bis zur intensiven Zusammenfaltung unterscheiden. An jeder Falte unterscheidet man die Ausbiegung nach oben, den Sattel, und die Einbiegung nach unten, die Mulde, deren auf- und absteigender Teil mit dem Namen „Schenkel“ versehen wird, während man die Umbiegungen

Scheitel nennt. Gegenüber einer vertikal durch den Scheitel gelegten Ebene können die Schenkel symmetrisch liegen (gerade Falten) oder es können beide Schenkel mehr oder weniger nach derselben Seite hin sich neigen (schiefe Falten). Bei letzteren kann es dann zu einer vollkommenen Umkipfung der Falten kommen, so daß in einem Schenkel die gesamte Schichtenfolge umgekehrt ist, das heißt das Oberste zu unterst liegt (überschobene Falten).

Wenn Schichtenkomplexe von Rissen durchsetzt sind, so können die durch den Riß getrennten „Schollen“ für sich die horizontale Lage beibehalten oder sie können in mannigfaltiger Weise gebogen und gefaltet sein. Ist die eine Scholle gegenüber der andern in mehr oder weniger vertikaler Richtung verschoben, so spricht man von „Verwerfungen“, deren „Höhe“, das heißt der Betrag der Verschiebung in vertikalem Sinne, von Bruchteilen eines Meters bis zu 1000 Metern schwankt. Dadurch ist es möglich, daß ganz verschiedenartige Schichten unmittelbar nebeneinander liegen können. Setzen die Bruchspalten schief in die Tiefe, so wird aus der Verwerfung eine Überschiebung, die eine Scholle ist auf die andere aufgeschoben. Es liegt also auch hier, wie bei den überschobenen Falten, älteres über jüngerem.

Ältere und jüngere Lagerungsstörungen.

Schon oben wurde hervorgehoben, daß im Alpengebiet zu verschiedenen Zeiten Landbildungen, das heißt also Erhebungen und somit Lagerungsstörungen der Schichten erfolgten. So sprechen wir von permischen Alpen und meinen damit das am Schluß der Carbonzeit gebildete, während der Permzeit wieder abgetragene Gebirge im Gebiet unserer heutigen Alpen; ferner wissen wir, daß die nördlichen Ostalpen zum Teil schon in der mittlern Kreidezeit emporgehoben wurden und endlich traten fast im ganzen Alpengebiet zur ältern Tertiärzeit Gebirgsbildungen ein. Daraus folgt, daß die in der mittlern Tertiärzeit (im Miocän) mit ungeheurer Gewalt einsetzenden Faltungen, Zerreibungen und Überschiebungen ganz verschiedene Gebilde vorfanden, einerseits nämlich noch ungestörte, am Meeresgrund ruhende Ablagerungen und andererseits feste, schon in alter Zeit gefaltete und verschobene Stücke der Erdkrinde. Die miocänen Lagerungsstörungen werden sich daher ganz verschieden äußern, je nachdem sie noch ungestörte Schichten oder bereits verheilte Narben der Erdhaut betreffen. Unter diesen Gesichtspunkten müssen wir den endgiltigen Bau unserer heutigen Alpen zu verstehen suchen.

Die Lagerungsverhältnisse in unseren Alpen.

Ältere Anschauungen.

Dreigliederung des Gebirges.

Was man an der Erdkruste in Hinsicht auf Baumaterial und Lagerungsform unmittelbar beobachten kann, ist im Vergleich zur Ausdehnung des Gebietes, dessen geologischer Bau erkannt und dargestellt werden soll, sehr gering. Der Geologe ist daher genötigt, aus einer kleineren Zahl von bekannten Größen eine große Zahl Unbekannter zu erschließen. Da nun ein und derselbe geologische Aufschluß nicht selten auf verschiedene Weise gedeutet und erklärt werden kann, so begreift man, daß die Auffassung des Baues, besonders eines so komplizierten Gebildes, wie es unsere

Alpen sind, verschieden ausfallen wird zu verschiedenen Zeiten, nach den wechselnden Richtungen gewisser Schalen und dem jeweiligen Einfluß hervorragender Forscher. Schon früh hat man erkannt, daß man in den Alpen mit viel großartigeren Störungen rechnen muß, als man von auswärts gewohnt war. Neben den intensiven Faltungen und Verwerfungen und neben den gewaltigen Aufstauungen der Schichten hat man schon lange auch recht bedeutende Überschiebungen von Schichtenkomplexen gekannt, immerhin aber nahm man an, daß im großen und ganzen zumeist das Jüngere über dem Älteren liege und daß das Baumaterial der großen Gebirgsgruppen an Ort und Stelle des heutigen Vorkommens entstanden, also autochthon sei. Wie schon früher hervorgehoben wurde, hat man aber in neuerer Zeit, besonders in den Westalpen, Lagerungsverhältnisse kennen gelernt, welche diese alte Auffassung zum guten Teil über den Haufen werfen.

Betrachten wir vorläufig unseren Alpenanteil mit den Augen der älteren Geologen.

Quer durch die Mitte des Landes zieht von Westen nach Osten ein hoher Gebirgswall, die Zentralalpen. In ihm liegen die höchsten Gipfel; er besteht der Hauptmasse nach aus altkristallinem Gestein. Nördlich lagert sich ihm ein ähnlicher aber niedrigerer Wall vor; die nördliche Nebenzone, auch die nördlichen Kalkalpen genannt, weil die Gesteine dieses Zuges vorwiegend aus den Kalken der mesozoischen Formation bestehen. Auch südlich von der Zentralzone findet sich ein Kalkgebirge, wenn auch anders gelagert und anders ausgebildet. Man nennt es die südlichen Kalkalpen. Die alten Geologen stellten sich vor, daß diese drei Zonen ein einheitlicher, wenn auch sehr verwickelt gebauter Faltenzug sind, welcher in der Weise entstanden ist, daß die höchsten Auffaltungen in der Zentralzone erfolgten, während die Nebenzonen sich als niedrigere Faltenzüge der ersten anfügten.

Schon früh fiel jedoch der große Gegensatz in den Lagerungsformen sowohl, als ganz besonders in der Gesteinsausbildung auf, der zwischen beiden Kalkzonen herrscht. Man nahm zu seiner Erklärung an, daß die Meere, in welchen sich die beiden Ablagerungen bildeten, durch Landrücken im Gebiet der heutigen Zentralalpen getrennt waren.

Neue Auffassung.

Mit dieser Erklärung kann man sich heute nicht mehr zufrieden geben und zwar um so weniger, als die Erscheinungen in den Westalpen zu Vorstellungen vom Bau und von der Entstehung des Alpengebirges führten, welche, auf unsere Ostalpen angewendet, sowohl die oben angeführten Ungleichheiten der nördlichen und südlichen Kalkzone, als auch viele andere Erscheinungen im Bau unserer Alpen ungezwungen erklären.

Nach dieser Auffassung hätten wir es in den Zentralalpen allerdings mit einer gewaltigen Auffaltung oder, besser gesagt, Aufpressung zu tun, die nördlichen Kalkalpen aber erscheinen nicht als eine an diese Auffaltungen angelegte autochthone Zone, sondern sie sind Teile der zentralen Falten, welche nach Norden umgelegt und in dieser Richtung als „Decke“ weithin über jüngere Absätze geschoben wurden.

Auch die südlichen Kalkalpen sind nach dieser Auffassung nicht an Ort und Stelle entstandene Ablagerungen, sondern sie sind

ebenfalls als Decke von entfernten südlichen Gegenden her an und auf die Zentralzone geschoben.

Bau der Zentralzone.

Wenden wir jedoch unsern Blick ohne Rücksicht auf den einen oder andern Erklärungsversuch lediglich auf der Beobachtung zugängliche Tatsachen, so ergibt sich in großen Zügen ungefähr folgendes Bild der Tektonik unserer Alpen.

Der Zentralzone gehören folgende Gebirgsgruppen an: die Silvrettaalpen, der Ötztalerstock, die Ortler- und Adamelloalpen, sowie die Hohen Tauern im weiteren Sinne. In diesen Gebirgsmassen sind kristalline Schiefer die herrschenden Gesteine. Die Schichten derselben sind fast überall in steilen Falten aufgerichtet. Das Streichen ist im allgemeinen ein ostwestliches. Den Schiefen sind mächtige Granitmassen eingelagert, so besonders in den Tauern der sogenannte „Zentralgneis“, dann ausgedehnte Stöcke in den Pustertaler Schieferbergen, weiter die Granitmasse von Brixen und endlich der großartige Granitstock des Adamello. Wann diese gewaltigen Eruptivmassen in die Erdkruste eingepreßt wurden, läßt sich derzeit noch nicht mit voller Sicherheit angeben. Viele Geologen halten sie für Intrusionen der archaischen Zeit. Wenn man dieser Meinung ist, muß man wenigstens die Adamellomasse ausnehmen, denn mit dieser treten Triaskalksteine in Berührung, welche im Kontakte durch die Hitze der Eruptivmasse starke Umwandlungen erlitten haben. Es muß daher diese Masse wenigstens jünger als die Trias sein.

Auch ausgedehnte Kalkschollen kommen innerhalb der Zentralzone vor, so im Westen unseres Landes an den Quellen der Etsch längs der schweizerischen und italienischen Grenze. Dieser der Trias zugezählten Kalkscholle gehört die höchste Erhebung der Ostalpen, der Ortler an. Auch im Brennergebiet liegen größere Kalkschollen mitten im Schiefergebirge (Saile, Serles, Tribulaun). Außerdem finden sich zahlreiche kleinere Kalkeinlagerungen, über deren Alter noch Unsicherheit herrscht.

Die nördlichen Kalkalpen.

Der langgestreckte, vom Rhätikon bis zum Kaisergebirge reichende Gebirgswall der Kalkalpen gleicht in seinem Bau insofern einigermaßen den Zentralalpen, als auch hier vorwiegend west-östlich streichende Faltenzüge vorkommen, doch erheben sich hier die Falten nicht zu so großer Höhe und außerdem treten Bruchverschiebungen viel mehr hervor als dort. Das Baumaterial dieses Faltenzuges stammt zum größeren Teile aus der Trias- und Jurazeit. Dabei haben zwei mächtige Triassedimente, der Wettersteinkalk und der Hauptdolomit, weitaus den größten Anteil an den Gebirgsmassen. Der Wettersteinkalk herrscht im Gebiet östlich von der Fernpaßfurche und vorwiegend im südlichen Teil der Kette, der Hauptdolomit verbreitet sich dagegen im Westen und über den ganzen nördlichen Teil der Kette. Jura und Kreidegesteine sind zwischen diesen hoch aufragenden Kalk- und Dolomitmassen in langgestreckten, oft stark zusammengepreßten Mulden eingequetscht. Als Beispiele für Gebirgszüge mit herrschendem Wettersteinkalk können das Wettersteingebirge und die Karwendelzüge, die Mieminger- und Solstein-Kette, sowie das Kaisergebirge erwähnt werden. Aus Hauptdolomit bauen sich die tirolisch-

bayerischen Grenzgebirgszüge zwischen Kufstein und Reutte, sowie die rauhen Kämme im Lechtalgebiete, hier im Verein mit reichlichen Jurazwischenlagen, auf.

Der schweizerisch-vorarlbergische Faltenzug.

Der Rhätikon besteht aus Triaskalken. An seinem Nordfuß im Wallgau steht ein eigentümliches, kalkig-sandiges Gestein an, Flysch genannt. Wandert man durch das große Walser Tal zum Oberlauf der Bregenzer Ache, von dort an die Quellen des Iller und dann über Hindelang nach Pfronten und Füssen, so hat man zur Rechten stets den mächtigen Gebirgswall der Kalkalpen, zur Linken aber sanft gerundete Flyschberge. Wendet man sich von Feldkirch im Rheintale oder von Au im Bregenzerwald längs Rhein oder Bregenzer Ache nach Norden, so durchquert man ein auffallendes, aus langgestreckten Felsenmauern bestehendes Gebirge. Es sind dies die Kreidefalten Vorarlbergs. An sie schließt sich nördlich ein breiter Gürtel niedriger Höhenzüge, aus Tertiär-gesteinen (Molasse) bestehend, die allmählich unter dem aufgeschütteten Alpenvorland verschwinden. Dieser zwischen dem Vorland und der erwähnten Kalkmauer im Süden liegende Teil unserer Alpen gehört geologisch eigentlich zu den Schweizer Gebirgen, er ist die östliche Fortsetzung des langgestreckten Faltenzuges der Nordschweiz, der, vorwiegend aus Kreide und Tertiär-gesteinen bestehend, vom Vierwaldstättersee an den Rhein und diesseits desselben in das Allgäu und von hier am Nordfuß der Kalkalpen weiter nach Osten zieht. Die Gesteinsentwicklung weicht wesentlich von jener der Ostalpen ab. Früher glaubte man wohl, daß dieser Faltenzug sich an die ostalpinen Kalkalpen längs der oben erwähnten Grenze anlege. Heute weiß man, daß diese Grenze nichts anderes ist, als der Rand der ostalpinen Decke, unter welche man sich die Kreidefalten fortgesetzt zu denken hat.

Die südlichen Kalkalpen.

Die Falten der Nordalpen legen sich mit ungefähr gleichem Streichen an jene der Zentralalpen an. In einem wesentlich andern Verhältnis stehen die südlichen Kalkalpen zur kristallinen Zentralzone. Sie werden durch eine große, bogenförmige, vom Idrosee über Judikarien nach Meran (sogenannte Judikarienlinie) und von dort gegen Osten umbiegend nach Bruneck und Lienz verlaufende Bruchspalte von den Zentralalpen getrennt. Als Ganzes betrachtet stellen sie eine mächtige, von Spalten durchsetzte Platte dar, welche ostwärts von der Etsch und nördlich vom Sukanertal eine flache, tellerförmige Gestalt hat, westlich von der Etsch aber in nordnordöstlich streichende Falten gelegt ist. Das Sukanertal folgt einem Querbruch. Längs desselben ist das südliche Gebiet abgesunken und in ostwestlich streichende Falten gelegt.

Der Faltenzug westlich der Etsch, das sogenannte „Etschbuchtgebirge“, baut sich aus Trias- und Juragesteinen auf, zwischen welchen in den Faltenmulden Kreide und Tertiärreste erhalten sind. Als vorwiegend triadisches Gebirge kann die Mendelplatte bezeichnet werden, hauptsächlich dem Jura gehören die Gebirge im Sarcagebiet und vor allem der Zug des Mte. Baldo an.

Das südlich der Valsugana abgesunkene Gebirge wird durch eine domförmige Aufwölbung kristalliner Gesteine im Gebiete von Recoaro beherrscht, von welcher zunächst die Triasschichten, dann

Jura-, Kreide- und Tertiärgesteine mantelförmig abfallen und in größerer Entfernung in flache Falten gelegt sind. Als Beispiel für letztere können die Gebirge der *Sette Comuni* angeführt werden.

Den verhältnismäßig einfachsten Bau zeigt die große tellerförmige Platte *Südtirols*. Als Unterlage derselben dienen die mächtigen, weit ausgedehnten Porphyrgänge, welche im westlichen Teil der Tafel in der Umgebung von Bozen und im *Cembratal* zutage treten. Auf ihnen ruhen in flacher Lagerung, aber allenthalben von Verwerfungsspalten durchsetzt, die Trias-sedimente, reichlich untermischt mit schwarzen Ergußgesteinen und Tuffen (*Angitporphyr*). Die herrschenden Gesteine der Trias sind zwei mächtige Dolomitmassen, einerseits der *Schlerndolomit* der untern Trias, herrschend im westlichen und südlichen Teil der Tafel (*Schlern*, *Rosengartengebirge*, *Palagruppe*), andererseits der *Dachsteindolomit*, welcher den Stock der *Ampezzaner Alpen* aufbaut. Von besonderem Interesse sind innerhalb der Trias-sedimente die mannigfaltigen und weltberühmten Durchbrüche von Eruptivgesteinen im *Fassatal*.

Am Südrand der Tafel taucht unter dem Porphyr zwischen *Pergine* und *Primero* eine Insel kristalliner Schiefer empor, deren Kern ein gewaltiger Graniterguß (*Granit der Cima d'Asta*) bildet.

Das heutige Relief unserer Alpen.

Verwitterung und Erosion.

Wir haben schon eingangs erwähnt, daß es wesentlich zweierlei Agentien sind, aus deren Zusammenwirken das Relief der Erdoberfläche hervorgeht. Die Sedimentation und die glutflüssigen Ergüsse aus dem Erdinnern liefern die Bausteine der Erdhaut, welche infolge der Abkühlung sich runzelt. So entstehen Erhebungen, die also eine gewisse innere Struktur besitzen infolge der wechselnden Beschaffenheit des Baumaterials und durch die Mannigfaltigkeit der Lagerungsformen. Die erhobenen Massen verfallen dann der Abtragung. Die Resultierende dieser sich widerstreitenden Gewalten ist die Gestalt der heutigen Erdoberfläche.

Wir haben soeben in den Hauptzügen davon Kenntnis erhalten, in welcher Form sich infolge verschiedenartiger Sedimentation und weitausgreifender Lagerungsstörungen jenes Stück der Alpenrunzel darstellt, welches unsere Landesgrenzen umfassen. Es erübrigt nun, den Einfluß kennen zu lernen, welchen die abtragenden Kräfte darauf genommen haben, um das heutige Relief daraus zu formen.

Verwitterung und Erosion.

Im Grunde genommen ist es nur eine einzige Kraft, welche diese Arbeit leistet, nämlich die Schwerkraft. Was durch Faltung und Bruch vom Erdmittelpunkt entfernt wurde, sucht die Schwere wieder herabzuziehen in seine Nähe. So lange aber der Zusammenhang der Massen, die zwischen ihren kleinsten Teilen wirkenden, bindenden Kräfte, hinreichend zu widerstehen vermögen, kommt es nicht zu dieser Annäherung, kehren die Massen nicht zurück in die Tiefen, aus denen sie erhoben wurden. Es muß zunächst eine Lockerung ihres Zusammenhanges vorausgehen. Diese

Lockerung wird erzeugt durch mechanische Zertrümmerung, welche zum größten Teil die aufstauenden Kräfte selbst besorgen, dann aber durch andere physikalische und besonders durch chemische Agentien. Wir fassen diese letzteren kurz unter dem Namen der Verwitterung zusammen, worunter wir also eine durch physikalische und chemische Vorgänge bewirkte Veränderung der Gesteine verstehen, die wesentlich in einer Lockerung des Zusammenhangs der Teile oder auch in einer Lösung derselben durch Wasser besteht. Die gelockerten Massen werden ohne weiteres schon eine Beute der Schwere. Sie stürzen nach und nach in die Tiefe. Jede Schutthalde im Gebirge kann als Beispiel dafür dienen. Allein wegen der größeren Reibung fester Massen aneinander wird der Weg der Massen in die Tiefe sehr erschwert und verzögert. Hier springt nun ein viel mehr beweglicher Körper, das Wasser, vermittelnd ein.

Der Erdball hat nicht nur eine feste Haut; er hat auch eine flüssige und eine gasförmige Hülle. Zwischen diesen beiden besteht eine Wechselbeziehung in der Weise, daß die erstere fortwährend in die letztere übergeht und immer aus ihr wieder zurückkehrt. Das Wasser verdunstet und fällt als Regen wieder herab. Vermöge seiner Beweglichkeit eilt es in flüssiger Form leicht von den Erhöhungen der Erdkruste in ihre Vertiefungen und dabei nimmt es die gelockerten Massen mit sich. Dadurch wird das fließende Wasser ein wesentliches Agens der Sedimentation.

Das fließende Wasser führt einerseits Stoffe der Erdkruste in gelöster Form, andererseits feste Bruchstücke mit sich und führt sie zurück ins Meer. Schon die lösende und spülende Kraft des fließenden Wassers vermag Furchen in die Erdoberfläche zu graben, noch viel mehr werden aber die mitgeführten, festen, harten Teile der Gesteine, Sand, Kies und Gerölle, reibend und abschleifend auf den Untergrund wirken, und Schluchten und Talrinnen in den festen Boden reißen. So entstehen die Täler. Zwischen ihnen bleiben die noch nicht abgetragenen Reste der Erhöhungen, die Berge stehen.

Einfluß der inneren Struktur auf das Relief.

Würden die abzutragenden Massen innerlich eine gleichartige Struktur besitzen, das heißt nach allen Seiten einen gleichen Widerstand entgegensetzen, so würden die Reste der Abtragung, die Gebirge, eine recht einförmige Gestalt besitzen, es würden mehr oder weniger nach oben keilförmig zugeschnittene oder kegelförmige spitze Körper sein. Da jedoch die erhobenen Falten und Schollen der Erdkruste, wie wir gesehen haben, in der Masse und in der Lagerung wesentliche innere Verschiedenheiten besitzen, werden die Bergformen, die Gestalt der Kämme und Gipfel, die Berggehänge sowie auch das Talgefälle, hiedurch in der mannigfaltigsten Weise beeinflusst werden. So müssen harte Kalke und Dolomite andere Gipfformen liefern, als weiche Schiefer, am Hange werden die widerstandskräftigen Gesteine als Steilstufen erscheinen, ebenso werden sie im Talgefälle Knickungen erzeugen. Horizontal liegende oder vertikal gestellte Schichten werden ein wesentlich anderes Gebirgsrelief erzeugen, der Anstieg über die „Schichtenköpfe“ eines geneigten Schichtenkomplexes wird erheblich anders beschaffen sein als jener auf den Schichtenflächen u. s. w.

Die Haupttalzüge.

Unter diesem Gesichtspunkt werden uns die mannigfaltigen Formen des Gebirgsreliefs und die scheinbar regellosen Windungen und Verzweigungen im Flußnetz verständlich.

Wir wollen dies nur an einigen Beispielen aus unseren Alpen zeigen.

Die Tauern sind geologisch als ein mächtiges Gewölbe aufzufassen, dessen Achse von Westen nach Osten streicht. Nördlich und südlich begleiten das Gewölbe parallele Faltenzüge. Über den nördlichen und südlichen Schenkel des Gewölbes fließen zahlreiche kleine Wassergerinne, die kleinen Quertäler der Tauern. Längs der Falten sammeln sie sich in größeren Talzügen (Oberpinzgau, Ahrn-, Virgen- und Defreggental). Ziller-, Tauferer- und Iseltal durchqueren die ganze große Auffaltung der östlichen Zentralzone. Im Ötztalerstock ist der Einfluß der innern Struktur auf die Talentwicklung kaum bemerkbar, die Täler durchschneiden die im großen und ganzen stockförmig erhobene Masse radiär. Zwischen Landeck und Schwaz folgt das Inntal dem Streichen der Faltenzüge. Auch im Engadin zeigt sich deutlich der Einfluß der Faltung auf den Flußlauf, nur das Stück zwischen Prutz und Landeck ist etwas Fremdes im Talgebiet, ein Quereinriß, durch welchen der Inn aus einer südlichen Faltenmulde in eine nördliche überspringt. Auch unterhalb Schwaz lenkt der Fluß in ein Bruchgebiet ein, welches die Kalkfalten quer durchsetzt.

Vintschgau, Ultental und Val di Sole liegen im Schichtenstreichen. Die ersteren beiden Täler lenken bei Meran, das letztere bei Cles plötzlich und unvermittelt in die Faltenzüge und Bruchverwerfungen der „Etschbucht“ ein. Diesen folgt Etsch und Sarca, von allen Seiten die Zuflüsse an sich ziehend.

Die Gebirge.

Das vorarlbergische Kreidegebirge und die Nordtiroler Kalkalpen sind vortreffliche Beispiele für Gebirgsketten, welche dem Streichen der Falten folgen, ähnlich verhalten sich die südsüdwestlich streichenden Ketten der Etschbucht. Einen wesentlich andern Charakter besitzen dagegen die Gebirge der Dolomittafel in Südost-Tirol. Hier kommen allenthalben die flachen Lagerungen der Schichten, sowie die zahlreichen Bruchspalten dadurch zum Ausdruck, daß das Gebirge in einzelne blockförmige Massen aufgelöst ist. Man denke nur an den Schlern, das Latemargebirge, an die Sellagruppe, an die gewaltige Platte der Pala, an Civetta und Antelao, an Sorapiß, den Cristallostock und die Sextener Dolomiten.

Nirgends springt auch deutlicher als hier der Einfluß des Gesteins auf die Bergform in die Augen. Wir erinnern nur an die sanftwellige Oberfläche der Porphyrlatte in der Umgebung von Bozen, über welcher sich dann die steilen Mauern des Dolomits an der Mendel, im Schlern und Rosengarten, in der Palagruppe erheben.

Wer mit kundigem Auge die Platte des Sellagebirges betrachtet, wird unschwer die beiden Dolomitmassen, den untenliegenden ungeschichteten Schlerndolomit und den die Gipfel bildenden Dachsteindolomit, getrennt durch das Band der Raibler Schichten, erkennen. In Vorarlberg hebt sich längs der Faltenzüge allüberall deutlich die steile Wand der Schratzenkalke von den sanften Böschungen der untern und obern Kreidemergel ab und in den nördlichen Kalkalpen ist es nicht schwer, die weißen, hoch-

aufragenden, massiven, kräftig profilierten Kämme des Wettersteinkalkes von den stumpfen, rauhen, wild zerklüfteten und kahlen Mauern des Hauptdolomites zu unterscheiden und beide wieder zu trennen von den mehr zierlich gestalteten, vielschichtigen Höhen, welche aus Jurakalken und Mergeln bestehen, ganz zu schweigen von den sofort von diesem Hintergrund sich abhebenden, milden Flysch- und Molassebergen des nördlichen Alpenvorlandes.

Wir haben diese Beispiele aus dem Kalkgebirge gewählt, weil dort der Gesteinfluß auf das Relief viel deutlicher auch im Einzelnen hervortritt als in den Schieferbergen. Diese letzteren bilden aber wieder für sich einen auffallenden Gegensatz zum Kalkgebirge, durch die Ruhe und Großartigkeit ihrer Formen, die sie einerseits dem Baumaterial und dessen gleichförmiger Struktur, dann aber auch ihrer Höhe und der Eisbedeckung verdanken. Trotzdem kommen aber für den aufmerksamen Beobachter sehr merkliche Unterschiede zum Vorschein, wenn er sich eingehender mit dem Gebirge beschäftigt. So findet man bald den Unterschied zwischen dem mehr stockförmigen, massigen Bau der Gebirgs-erhebung in der Silvretta und dem Öztalerstocke heraus, gegenüber den Kettenzügen in den Tauern und der Ortlergruppe, ein Unterschied, der wesentlich im geologischen Aufbau begründet ist. Noch viel mehr aber muß jeder die Veränderung des Gebirgscharakters fühlen, wenn er aus dem Schiefergebiet in jenes der intrusiven Massen, also vor allem in die Granitstöcke, zum Beispiel der Tauern oder des Adamello, eintritt. Wem ist dieser Wechsel im Landschaftsbilde nicht schon aufgefallen bei einer Fahrt von Sterzing nach Brixen durch die Sachsenklemme, dem zwischen Mails und Franzensfeste mitten in den Granitstock eingerissenen Engpasse?

Beispiele geologischer Wanderungen durch die Tiroler und Vorarlberger Alpen.

Die vorangehende Darstellung des Werdeganges und der formbildenden Kräfte auf der Erdoberfläche und besonders im Baue unserer Alpen werden uns hinreichend vorbereitet haben, daß wir an einigen Beispielen einen etwas tiefern Einblick in diesen Aufbau nehmen können. Dabei ist es uns freilich nicht gegönnt, dies mit Muße tun zu können, wir müssen uns begnügen, wie im Fluge über die Landschaft zu streichen.

Quer durch das Kreidegebirge Vorarlbergs.

Der Bodensee ist ein durch den Rheingletscher vertieftes Becken, das zu drei Vierteln von Moränenschutt umgeben ist. Bei Bregenz grenzt der See an die erhobenen jungtertiären Ablagerungen (Sandstein, Konglomerate) des Pfänder. Südlich folgen bis Dornbirn in niederen Hügelzügen ältere Molasse, welche die Bregenzer Ache in enger Schlucht durchbricht. Den gerundeten, milden Formen dieser Ablagerungen verdankt der vordere Bregenzerwald sein liebliches Gepräge. Südlich von Andelsbuch ziehen gegen Osten die Faltenzüge des Kreidegebirges mit den weithin sichtbaren Mauern des Schrattekalkes. Am Südrand des Kreidezuges bei Au bricht unter ihm das mächtige, dunkle Jurakalkgewölbe der Canisfluh hervor. Dieses durchschneidet die Ache in einem Engpaß, durch das Kreidegebirge windet sie sich mühsam, indem sie die Aufwölbung quer durchschneidet und aus den

Mulden die seitlichen Zuflüsse aufnimmt. Südlich von Au folgt zunächst noch ein schmaler Streifen Flysch und dann erhebt sich die Kalkmauer der ostalpinen Decke. Schrecken liegt einsam mitten in diesem wilden, zerrissenen Gebirge. Guten Einblick in den komplizierten Bau gewähren die Übergänge nach Warth und Lech. Vor allem aber eine Wanderung längs der Flexenstraße nach Stuben am Arlberg, quer durch eine mächtige Auffaltung von Jura und Triasschichten, deren zusammengepreßtes Gewölbe wir kurz vor Stuben durchqueren. Dieses Gewölbe stößt unmittelbar an die kristallinen Schiefer des Arlbergs, in welchen der Tunnel zwischen St. Anton und Langen liegt.

Ein Profil durch die nördlichen Kalkalpen.

Wir verlassen bei Länggries an der Isar das bayrische Alpenvorland. Nordöstlich und nordwestlich haben wir die sanft gerundeten Flyschrücken, welche der Fortsetzung des Schweizer Faltengebirges angehören. An sie und zum Teil über sie geschoben stößt plötzlich hoch erhoben das Kalkgebirge der ostalpinen Decke. Es sind untere Triasschichten, welche in eng zusammengepreßten Falten westlich das Benediktengebirge, östlich den Geiger- und Fockenstein aufbauen. Dann treten wir in das einförmige, rauhe Gebiet des Hauptdolomits ein. Von Westen folgt ungefähr dem Streichen der Falten die Jachenau, die Isar setzt von Fall angefangen quer durch dieselben.

Wir wandern dem Ausfluß des Achensees entlang im Hauptdolomit bis Achenwald. Nun wird die Landschaft lebendiger. Schon der reichere Wechsel der Vegetation, sodann die mannigfaltigeren Reliefformen, deuten auf einen verwickelteren geologischen Bau. Wir überschreiten auf dem Wege zum Achensee eine durch Querbrüche zertrümmerte tiefe Einfaltung jüngerer Gesteine, Jurakalke und Kreidemergel, welche östlich das Gebiet von Mammoos, westlich den Juifen aufbauend, kurz vor Achenkirch bis in die Talsohle herabsteigen und hier leicht betrachtet werden können. Dann aber gewinnt zu beiden Seiten des Achensees die Trias wieder die Oberhand. Am Unnuz erhebt sich ein mächtiges Wettersteinkalkgewölbe, südlich breitet sich darüber Hauptdolomit, in welchen der See eingebettet ist. Steigt man über die kahlen Abhänge dieses Gesteins empor, so gelangt man beiderseits in geologisch berühmte Gebiete, einerseits in die versteinungsreichen Liasschichten des Pfonsjoches, andererseits in die wunderbaren Lias-Jurafalten und Schollen des Sonnwendgebirges. Am Süden des Sees wölbt sich noch einmal der Wettersteinkalk an der Lachwaldspitze und dem Stanser Joch kräftig empor, den Südschenkel der Aufwölbung bespült der Inn, jenseits desselben erscheinen die erzeichen Schwazer Kalke, über unterste Triasschichten geschoben und selbst wieder einschließend unter die kristallinen Schiefer der Zentralzone.

Das Achenseetal wurde ursprünglich gegen den Inn entwässert; nachdem aber die Eiszeitgletscher den Ausgang des Tales mit Schottern und Moränen abgesperrt hatten, staute sich hinter denselben das Wasser zum See, der schließlich den niedrigen Scheiderücken bei Achenkirch erreichte und so einen Abfluß nach Norden fand.

Quer durch die Zentralalpen.

Wer ohne Mühe den Zentralalpenwall durchqueren will, benützt die Brennerbahn. Läßt sich auch von dieser Linie aus nur ein geringer Einblick in den Aufbau gewinnen, so mag derselbe doch für den vorliegenden Zweck einer Übersicht genügen, besonders wenn man an einzelnen lehrreichen Punkten halt macht und die Umgebung näher ins Auge faßt.

Zu beachten ist, daß die Brennerlinie einer geologischen Depression entspricht, insofern nämlich, als längs derselben jüngere Schiefer und sogar mesozoische Kalke, tief zwischen den hochaufragenden ältern Gesteinen des Ötztalerstockes und der Tauernkette eingequetscht wurden. Dadurch wird auch erklärt, daß unmittelbar an der Wipptalfurche nur jüngere kristalline Gesteine anzutreffen sind, während die ältern erst beiderseits in den höhern Gebirgsmassiven zum Vorschein kommen.

Innsbruck ist reich an glazialen Ablagerungen und berühmt durch sein „interglaziales Profil“ im Norden der Stadt. Man erblickt dort in großen Steinbrüchen eine sehr verfestigte Schuttbildung, die „Höttinger Breccie“. Sie führt schöne Pflanzenabdrücke, welche auf ein mildes Klima hinweisen. Der Schutt kann sich daher nur in einer Zeit mit geringer Gletscherentwicklung gebildet haben. Da nun sowohl über als unter der Breccie Moränen liegen, ist diese Ablagerung ein gewichtiger Beweis für eine wiederholte Vergletscherung der Alpen.

Ein Blick von Innsbruck nach Süden zeigt links den gletschergerundeten Patscherkofel und die charakteristischen Schieferberge der zentralalpiner Vorstufe, rechts im untern Teil der Gehänge ähnliche Gesteine, die Gipfel aber, Saile und Serles, werden von Kalkschollen gebildet, die der Trias angehörig, als Reste einer einst weiter ausgedehnten jüngern Decke auf den kristallinen Schiefeln anzusehen sind. Sie lassen sich bis über den Brenner hinaus (Tribulaun, Gschleierberg bei Gossensaß) verfolgen. An der Bahnlinie hat man allenthalben bis auf die Brennerhöhe Gelegenheit, die Eigenart der jüngern kristallinen Schiefer in Faltung und Zerknitterung zu studieren. Der Blick nach Süden zeigt aber auch, wie diese Gesteine mantelförmig von dem im Osten aufgewölbten Dom der Zillertaler Alpen gegen Westen hin abfallen. Jenseits des Brennersattels bemerkt man rechts, mitten in den Schiefeln, Kalkbänke eingeschaltet; es sind dies Teile der oben erwähnten Kalkplatte, die aber hier, infolge intensiver Faltung, unter die Schiefer eingequetscht wurde. Die Umgebung von Sterzing, mit ihrem Ausblick nach Westen in das Ridnaun, nach Osten in das Pfitschertal, gibt gute Gelegenheit zum Studium der charakteristischen Formen des Schiefergebirges, die um so mehr hervorstechen, als bald darauf die schon erwähnte Talenge im Brixener Granit folgt. Hat man diese hinter sich, so eröffnet sich in der Umgebung von Brixen neuerdings ein weiter Ausblick auf ein Schiefergebirge, ähnlich jenem am Nordsaume der Zentralzone. Es fällt flach gegen Süden ab und bildet die Unterlage der großen Dolomitplatte.

Vom Schlern bis ins Sextental.

Diese Wanderung führt uns quer durch die eben genannte südosttirolische Platte, welche von dem herrschenden Gestein, dem Dolomit, den Namen „Die Dolomiten“ erhalten hat. Das

Wesentlichste des Aufbaues derselben haben wir schon oben hervorgehoben. Als Unterlage dient die mächtige, aus einzelnen Porphyrgüssen und Tufflagen gebildete Porphyrtafel. Auf ihr liegt weitverbreitet ein roter Sandstein, der Grödner Sandstein, und dann folgen die mannigfaltigen triadischen Absätze. Der ganze Komplex senkt sich vom Eisackgebiet gegen Osten und hebt sich im Sextental wieder flach empor. An beiden Rändern wird man daher die untersten Schichten treffen, während in der Mitte der tellerförmigen Einsenkung, im Gebiete der obersten Verzweigung des Ampezzanertales, die höchsten Schichten des Komplexes, der Dachsteindolomit, die Oberfläche beherrscht.

Steigt man von Waidbruck nach Kastelrut empor, so überschreitet man zunächst den Quarzporphyr und gelangt bald in den roten Grödner Sandstein. Darüber erheben sich am Schlern zunächst mit sanfter Böschung die untersten Triassschichten, dann steigt die pralle Wand des Schlerndolomits aus ihnen empor. Wir erklimmen sie am Touristensteig, blicken zurück auf die weite, hügelige Fläche der Seiser Alpe mit ihrer schwarzen Decke von Augitporphyr, Tuffen und Mergeln, und erreichen dann die Oberfläche des Dolomits im Schlernplateau. Von hier öffnet sich ein prächtiger Blick auf die Dolomitzacken des Rosengartens und des malerischen Latemargebirges. Über braunrote Raibler Mergel wandern wir gegen Osten und überschreiten „auf der Schneid“ die schwarzen von der Seiser Alpe heraufreichenden Tuffe. Im Osten erhebt sich, aus den Tuffen emportauchend, das Felsenriff des Platt- und Langkofels, ein prächtiges Beispiel für die Riffnatur des Schlerndolomits. Wir umgehen dasselbe im Süden und vor uns liegt die herrliche Sellagruppe, wie eine gewaltige Burg, mit ihren Schlerndolomitmauern und ihren Zinnen und Zacken aus Dachsteindolomit. Am Pordoiyoche, einer zwischen den Dolomitwänden der Sella und dem Sasso Pitschi bis zu den tiefern Triasgesteinen eingesenkten Scharte, erreichen wir die neue Dolomitenstraße. Diese führt uns, an schwarzen Tuffen und ältern Triasgesteinen vorbei, hinab nach Buchenstein und dann wieder in das Gebiet des Schlerndolomits hinauf nach Falzarego. Hier stehen wir vor der mächtigen Dachsteindolomitplatte der Tofana, an deren Südrand wir hinab nach Cortina wandern. Nach allen Seiten öffnen sich großartige Ausblicke auf die gewaltigen, deutlich geschichteten Massen des Dachsteindolomits, gerade vor uns im Sorapiß, zur Linken in der Cristallogruppe, während unten in den weichen, untertriadischen Mergeln das Tal von Cortina sich weitet. Jenseits dieser tief eingesunkenen obern Triassschichten taucht in der Gruppe der Sextener Dolomiten wieder der untere Dolomit, der Schlerndolomit, hervor und gewinnt an Herrschaft, während der obere nur mehr in den höchsten Gipfeln erhalten ist. Ein besonders schönes Beispiel für dieses Verhältnis ist die Drei Zinnengruppe: der Sockel derselben ist Schlerndolomit, über ihn breiten sich geringmächtige Raiblerschichten, die Zinnen selbst sind Dachsteindolomit. Das gleiche Verhältnis herrscht in der Gruppe der Drei Schusterspitze und in den südlichen Gebirgen. Indem wir durch das Fischleintal nach Sexten hinabsteigen, verlassen wir den weißen Dolomit, durchqueren die untern Triassschichten nahe am Talgehänge und draußen am Sextener Bad begrüßen uns wieder die roten Bänke des Grödner Sandsteins, unter dem wir mit Grund den Quarzporphyr vermuten. An mehreren Punkten der im Sandstein verlaufenden Kreuzbergsenke steht er auch wirklich an.

Über die Mendel zum Tonalepaß.

Steht man am Virgl bei Bozen, so hat man einen prachtvollen Rundblick und ein klares Bild der geologischen Verhältnisse ringsum vor sich. Zu Füßen und im Norden die Porphyrtafel, dahinter im Nordwestend heraufblickend die Schiefer der Zentralzone. Im Osten ruht auf der Porphyrtafel der mächtige Klotz des Schlern-dolomits und die aus demselben Gestein bestehenden Zacken des Rosengartens. Im Westen die Mendelwand, aufruhend auf dem Porphyrtafel, der den Gebirgsfuß und den Mittelberg vor uns bildet. Wir brauchen nicht viel Fantasie, um die Mendelplatte mit dem Schlern über unseren Köpfen hinweg zu verbinden und so den Zustand vor der Abtragung dieser Triastafel wieder herzustellen.

Mit der Überetscherbahn durchqueren wir den alluvialen Bozner Boden, bewundern bei Sigmundskron den in senkrechte Platten abgesonderten Porphyrtafel und steigen dann an der Schotterlehne auf die weingesegnete Hochfläche von Überetsch empor. Wir befinden uns hier im alten Etschtal, das zur Eiszeit verschüttet wurde. Vor uns erhebt sich die Wand der Mendel, deutlich sehen wir über dem dunklen Porphyrtafel die roten untern Trias-schichten und darüber die mächtige Dolomitplatte. Guten Einblick in Einzelheiten bietet die Drahtseilbahn. Haben wir mittels derselben die Mendelscharte erreicht, so erblicken wir vor uns eine flache, wellige Landschaft, den Nonsberg. Er wird von der sanft nach Westen gesenkten Platte gebildet, deren Schichten wir soeben durchquert haben. Im Mendelkamm bildet Schlern-dolomit die höchsten Erhebungen (Gantkofel, Penegal), westlich davon liegt der Dachsteindolomit, Jura, Kreide und Tertiär. In diese Schichten, unter welchen besonders die roten Kreidemergel (Scaglia) in die Augen springen, sind die tiefen Schluchten der Novella eingerissen.

Jenseits der letzteren erreichen wir am Sulzberge die quer durch das Tal durchziehende, von Meran bis zum Idrosee reichende, sogenannte Judikarienspalte, einen senkrecht in die Tiefe gehenden Riß, an welchem die eben überschrittenen Gesteine tief abgesunken sind und hier längs dieser Spalte an die hoch erhobenen kristallinen Schiefer der Ortler- und Adamelloalpen stoßen. In diese treten wir unvermittelt bei Malè und bleiben in denselben bis zur Landesgrenze am Tonale. Der Noce folgt dem Streichen der in Falten gelegten Schiefer, durch welche Val Rabbi und Val Pejo quer durchschneiden, während am gewaltigen Presanellostock im Süden der Granit die Schiefer vollständig verdrängt.

Durch das Sугaner tal.

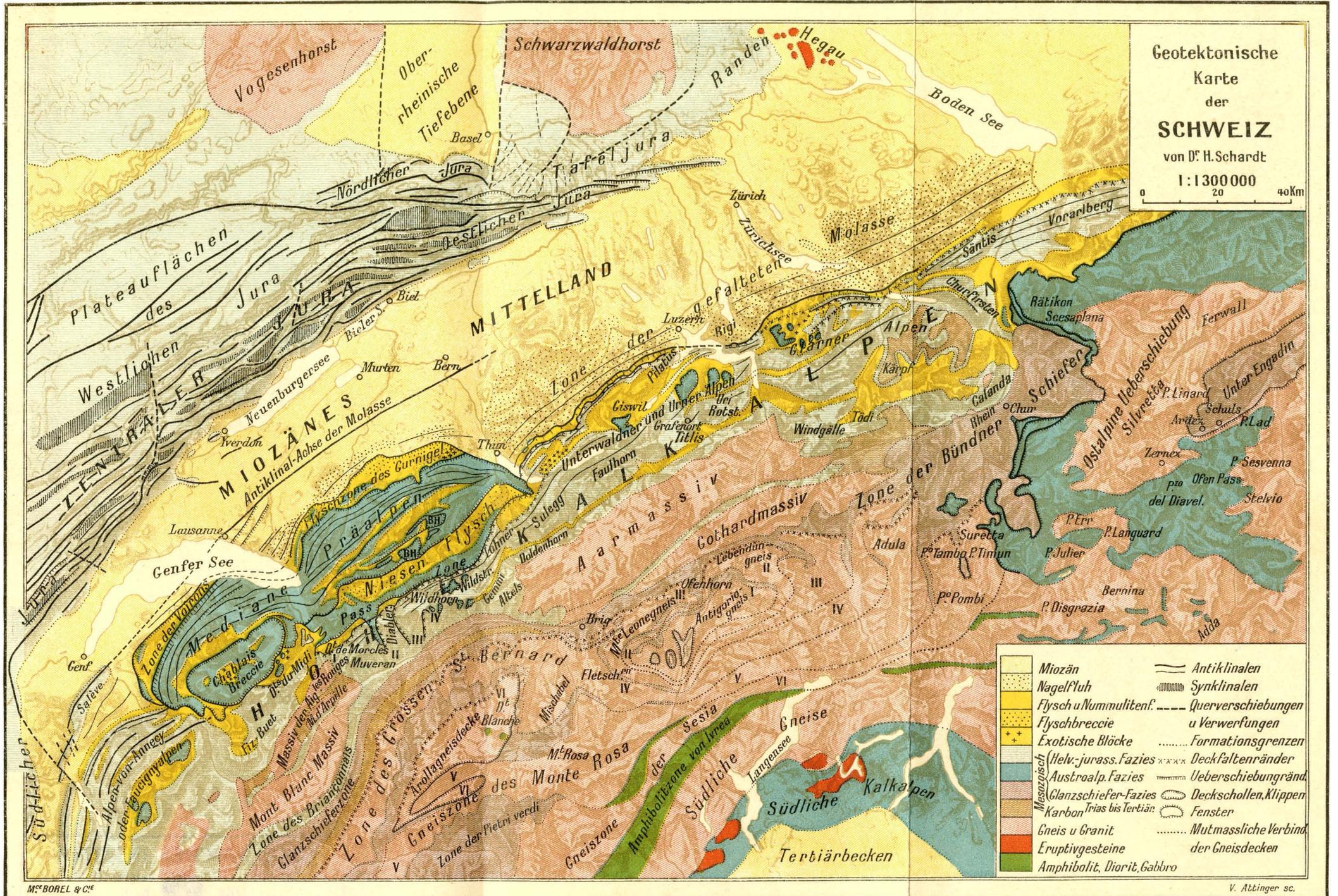
Die Umgebung von Trient ist geologisch ein äußerst verwickelt gebautes Gebiet. Von Gardolo bis Pergine schneidet eine Bruchspalte durch das Gebirge, eine zweite zieht von Pergine nach Trient. Zwischen beiden liegt ein dreieckiges Stück, bestehend aus obern Triasgesteinen (Hauptdolomit am Kalisberg und Cimirolo), Jura, Kreide und Tertiär (am Abhang gegen Trient), welches zwischen Quarzporphyrtafel und Grödener Sandstein (Gebirge im Norden und Süden) eingesunken ist. Über diese Scholle hinweg führt die Valsuganer Straße und Bahn, welche letztere ganz besonders guten Einblick in diese Ablagerung gewährt. Pergine liegt bereits auf der Unterlage des ganzen Komplexes, auf den kristallinen Schiefeln jener Urgebirgsinsel, welche, wie schon oben hervor-

gehoben wurde, in ihrem Kern den Granit der Cima d'Asta enthält. Bis Borgo liegt der Oberlauf der Brenta in diesen Schiefen, im Norden liegt auf den Höhen der Quarzporphyr, im Süden aber reichen bis in die Talsohle herab die Triasgesteine der Sette Comuni, welche, wie ebenfalls schon auseinandergesetzt wurde, längs einer Bruchspalte abgesunken sind. Diese folgt der Valsugana bis Borgo und setzt von hier in das östliche Gebirge ein. Bei Borgo neigt sich die Bruchspalte flach gegen Norden, so daß die kristallinen Schiefer des Astastockes über die jüngern Gebilde nach Süden heraufgeschoben erscheinen. Östlich von Borgo wendet sich die Brenta nach Südosten und durchschneidet in einer cañonartigen Schlucht die abgesunkene Schichttafel. Prächtig erschlossen hat man hier die flach übereinander gelagerten Bänke vom Dachsteindolomit angefangen über Jura hinauf bis zu den hellweißen und tiefroten Kreidesteinen, über welche am Rand der Alpen, gegen die Venetianische Ebene hinab geneigt, endlich die Tertiärschichten auflagern.

Von Rovereto an den Gardasee.

Blickt man von Rovereto aus nach Süden, so hat man Gebirge mit deutlichem Abfall gegen Westen vor sich. Das Etschtal erscheint als Bruchspalte, längs welcher das östliche Gebirge abgesunken ist, während es im Westen von dem erhobenen Rand der Mte. Baldoscholle begrenzt wird. Mitten im Tal liegt bei Mori der gewaltige Bergsturz der Lavini di Marco; deutlich sieht man am östlichen Berghang die glänzenden Flächen, an welchen die Schichtenkomplexe abgerutscht sind. Wir wandern längs der Mori—Arcobahn nach Westen. Ein Blick auf das Gebirge links und rechts zeigt uns, daß vor der großen, gegen die Sarca-Gardaseetalung hin geneigten Platte abgesunken eine niedrige Vorstufe liegt. Es ist eine Teilscholle, deren Schichtenfolge vom Dachsteindolomit bis zu den mächtigen Nummulitenkalken am Abhang südlich von Mori prächtig erschlossen ist. Am Loppiosee und westlich davon liegen die Trümmer eines großen Bergsturzes vom Baldo herab, die Wände zur Rechten gewähren wunderbaren Einblick in Schichtenfolge und Faltung. Die Straße nach Torbole und Arco liegt auf den kahlen, westwärts geneigten Bänken des Nummulitenkalkes, auf welchen prächtige Gletscherschliffe und Riesentöpfe Zeugnis geben vom alten Etschgletscher, der hier über die Gardaseefurche auf die oberitalienische Ebene hinaustrat und dort in weiten Ringwällen seine Moränen abgelagerte. Mitten aus den an Stelle des einst bis Arco reichenden Sees ausgebreiteten Sarcaalluvionen ragt wie ein von Titanen geschleuderter Felsblock der aus Nummulitenkalk aufgebaute Monte Brione heraus, ein letzter Rest der in Schollen stufenförmig nach Westen abbrechenden Gebirgsmassen.



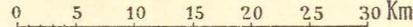


Aus dem Geographischen Lexikon der Schweiz.

GEOLOGISCHE PROFILE DURCH DIE SCHWEIZ

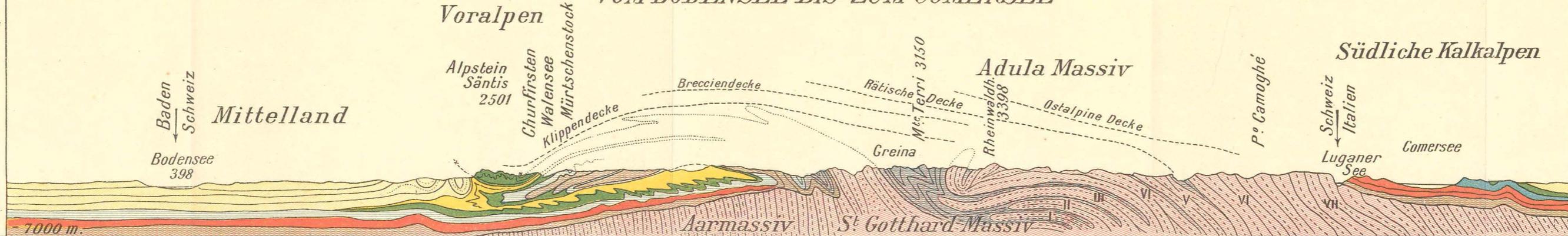
Nach den Aufnahmen von Alb. Heim, C. Schmidt, R. Zeller, A. Baltzer, H. Gerlach und nach den eigenen Beobachtungen konstruiert von D^r. H. Schardt 1906.

Massstab 1:650000



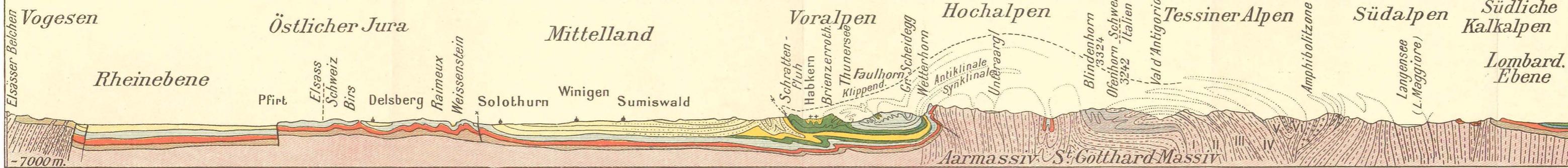
PROFIL 1.

VOM BODENSEE BIS ZUM COMERSEE



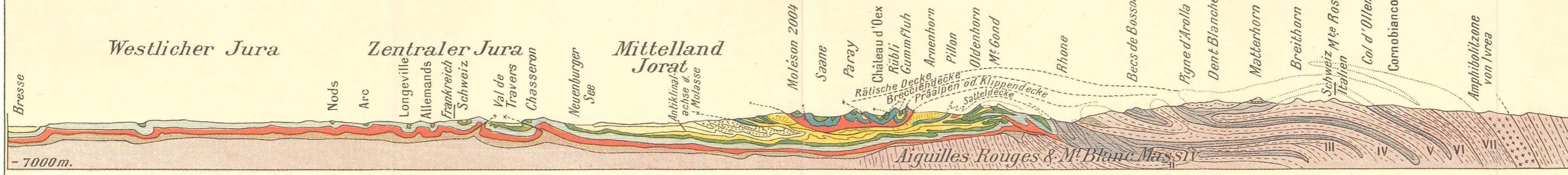
PROFIL 2.

VON DEN VOGESEN BIS ZUM LANGENSEE



PROFIL 3.

VOM WESTLICHEN JURA BIS ZUM MONTE ROSA



Legende.

- Miozän u. ob. Oligozän Molasseformation
- Nagelfluh der Molasse
- Flysch u. Nummulitenformat. unt. Oligozän u. Eozän
- Flyschbreccie
- Exotische Blöcke
- Kreideformation
- Jura Helvetisch-Jurassische Fazies & Austroalpine u. Klippenfazies
- Trias Glanzschieferfazies
- Trias, wenn ausgeschieden
- Perm u. Karbonformation
- Amphibolite, Diorit, Gabbro
- Granit, Gneis u. Grundgeb.
- Ausgehende Ueberschiebungsflächen u. Verwerfungen
- Supponierte Ueberschiebungs- u. Ueberfaltungsflächen der oberen Deckfalten
- Gneisdecken der Walliser u. Tessiner Alpen

Diese Profile sind, des sehr kleinen Maßstabes wegen, sehr schematisch. Sie geben aber wohl ein der Wirklichkeit ähnliches, wenn nicht genaues Bild der Tektonik der Schweiz.