Einiges über die

Verwitterungsformen der Berge

von

Albert Heim, Professor

Mit 2 Figurentafeln.

Zürich

Druck von Zürcher und Furrer

1874

Inhalt

Einleitung 3
Verwitterung 4
Karren oder Schratten 9
Felsmeere und Blockgipfel 12
Formen der Gehänge 13
Abtrag 20
Schutthalden 21
Bergstürze 23
Stadien der Verwitterung 25
gesteigerte Maximalböschungen 26
verminderte Maximalböschungen 26
Schutthaldenböschungen 29
Flussschuttkegelböschungen 30
Ausblick 32

Wenn ein Bewohner der Ebene oder hügliger Länder von irgend einem Ding sagen Will, es sei sehr fest und unwandelbar, so sagt er gerne : »fest wie ein Fels«. Er ist vielleicht vorübergehend auch schon in's Hochgebirge gekommen, da fand er irgendwo einen scharf vorspringenden harten Felszahn; er versuchte zum Spass daran zu rütteln, ging dann weg und dachte: »der ist für die Ewigkeit hingestellt« und kehrte später nicht wieder. Von seiner Heimat aus sieht er so lange er lebt in den gleichen Formen die fernen blauen Felsenberge am Horizont stehen, so viel sich auch unterdessen im Gemäuer seiner Stadt geändert haben mag.

Dem Gebirgsbewohner hingegen ist niemals der Fels, sondern vielmehr – moralisch und physisch - die von Menschenhand gebaute Mauer das Sinnbild des Festen und Unwandelbaren. Beispielsweise im Kanton Uri hört man sehr oft Redensarten wie : »das hat er geglaubt wie eine Mauer«, »auf diesen Fels kannst du ruhig treten, der hält wie eine Mauer«, dagegen: »das ist faul wie Felsen«. Und woher dieser Unterschied? Des letzteren Hüttchen steht vielleicht nahe bei dem Felszahn, von dem der flüchtige Wanderer den Eindruck ewiger Festigkeit mit sich genommen hatte - allein beim ersten Thauwetter im kommenden Frühjahr poltert der gelöste Fels mit vielen andern Gesteinstrümmern zur Tiefe. An den Detailformen der Schluchten, Abhänge, Gräte und Gipfel, die der Aelpler jahrelang in der Nähe sieht, beobachtet er ein ewiges Sichverändern, bald langsam, bald heftig und ruckweise - vielleicht sieht er Bergstürze Weiden, Vieh und Menschen verschütten.

So ist's gekommen, dass die Festigkeit der Felsen so verschieden beurtheilt wird.

Hätten uns die ersten Menschen, die Europa bewohnten, oder vielleicht die Pfahlbauer, ganz genau gezeichnete Panorama's hinterlassen, so könnte wohl der Ebenenbewohner schon aus der Ferne bei sorgfältiger Vergleichung hie und da eine kleine Formveränderung entdecken. Da fände er eine neue Bresche in einen wilden Grat geschlagen, dort eine Spitze schmaler geworden und Umsturz drohend, an einem andern Ort einen Felszahn eingestürzt.

Wir wollen den Veränderungen der Bergformen und ihren Ursachen

etwas nachspüren. Auch hier können wir wiederum lernen, uns nicht von der kurzen Dauer unseres Daseins täuschen zu lassen, und der vorübergehenden Einzelerscheinung nicht ewige Gültigkeit zuzuschreiben.

Die hohen Berge alle sind einstmals nicht dagewesen, das ist sicher. Selbst ihre höchsten Gipfel bestehen häufig aus Gesteinen, die einst im tiefsten Meeresgrunde sich gebildet haben und oft fast aus lauter Schalenresten von ausgestorbenen Meerthieren aufgebaut sind. Was jetzt 10,000 Fuss hoch und noch höher über Meer, und 10, 20 und 50 Meilen landeinwärts von der Küste liegt, war einst Meergrund. Die Vertheilung von Land und Wasser hat sich gänzlich im Laufe der Zeiten geändert, die Continente sich gewissermassen im Meere verschoben. Wir wollen jetzt nicht untersuchen, wie die Berge entstanden sind, sondern nur wie, seit sie einmal sich emporgethürmt haben, Luft, Wasser, und organisches Leben an ihren Formen beständig modelliren, wie sie verwittern.

In der Ebene oder im Hügelland bleiben die Produkte der Verwitterung an der Stelle liegen, an der sie allmälig aus dem ursprünglichen frischen Stein hervorgegangen sind, und sie bilden dann eine Kruste, die vor tiefer gehender Verwitterung schützt, oder dieselbe doch verzögert. Im Gebirge aber sind die Gehänge zu steil; was den Zusammenhang verliert, kann nicht mehr liegen bleiben, es poltert zur Tiefe und häuft sich am Fusse der Steilgehänge zu Schutthalden an, oder stürzt in die Schluchten. Wo die Gehänge nicht mehr steil genug sind, da kommen nicht selten Lauinen, oder es kommt das Wasser zu Hilfe. Wasser kann Gesteinsschutt noch bei sehr geringem Gefälle, bei dem Gefälle der Thalsohlen, mit Leichtigkeit fortschleppen; Bäche und Flüsse schaffen das meiste Verwitterungsmaterial allmälig ganz aus dem Gebirge heraus in die Vorlande und ihre Seen, in die Stromgebiete der Ebenen, ins Meer in immer feiner zerkleinertem Zustande. So kommt es, dass im Gebirge immer wieder auf's Neue der frische Fels abgedeckt und neuer Verwitterung Preis gegeben wird, die Verwitterung immer mehr und mehr die inneren Structurverhältnisse der Gebirge bloss legt.

Es gibt Gebirge, die bloss dadurch entstanden sind, dass eine Hochebene von der Verwitterung, der Erosion, in lauter Stücke (Berge und Gräte) zerschnitten worden ist, die immer mehr schwinden, während die Thäler mit dem Alter gewinnen. Solche Gebirge kann man Erosionsgebirge nennen (sächsische Schweiz, ein Theil des skandinavischen Gebirges und des Schwarzwaldes etc.).

Andere Gebirge aber haben sich, meist durch ein langsames Faltenwerfen der Erdkruste, schon in Gestalt einzelner Kämme mit zwischengelassenen Thälern gehoben. Hier hat die Verwitterung vielfach an den vorhandenen, ursprünglich gegebenen Längsthälern während und nach ihrem Entstehen weiter modellirt, und sie hat die Längskämme zerstückelt, eingekerbt und oft tiefe Querthäler durch dieselben geschnitten.

Die Verwitterungserscheinungen, die wir betrachten werden, sind ganz allgemeine, sie finden sich in jedem Gebirge in wenig modificirter Form wieder. Unsere Beispiele werden wir so viel möglich aus den nächst gelegenen Alpen nehmen. Wind, Blitzschlag, Nässe, Pflanzen, Temperaturwechsel erzeugen die Verwitterung.

* * *

Oft hört man in den tiefen stillen Thälern oder Einsenkungen der Gebirge, besonders Nachts, ein wasserfallartiges, aber meist unregelmässiges Rauschen und Brausen aus den Regionen der kahlen Kämme heruntertönen. Das ist der Wind, der oben wild stösst, während schon in der Höhe der oberen Alpenweiden und der obersten Tannenwälder kaum hie und da etwas Bewegung in der Luft sich zeigt. Die dem Wind besonders stark ausgesetzten hohen Gipfel sind häufig ganz nackt und kahl wie auf frischem Bruch. Wir können lange suchen, bis wir ein losgetrenntes Steinsplitterchen finden; alle aufgelockerten Theile, in denen Vegetation Fuss fassen könnte und allen schützenden Schnee fegt der Wind immer wieder weg und schleudert sie zur Tiefe. Die kahle Hochfläche des Karst ob Triest wird von der Bora, einem heftigen Winde jener Gegenden, immer wie rein gefegt. Nachdem die schützenden Wälder auf den Kalkgebirgen bei Toulon ausgerottet worden waren, hat der Wind (»Mistral«) diese Gebirge und einen grossen Theil der Provence von aller Dammerde entblösst, und es wird die Wiederbewaldung sehr schwierig, vielleicht fast unmöglich sein. Hoch auf der Schulter des Etna, 2917m hoch, nur 395m unter dem Gipfel, steht eine Ruine eines über 2000 Jahre alten Thurmes (Torre del Filosofo). Seit seiner Erbauung haben wohl schon etwa 200 Eruptionen mächtige Bomben und Aschenmassen über denselben geregnet, aber immer wieder hat ihn der Wind, der grimmig scharf über den einzelnen hohen Berg streicht, von den losen Trümmermassen befreit und dieselben zur Tiefe geworfen. Auf gleiche Weise ist es zu erklären, dass der oberste Kegel des Etna nicht mit losen rutschenden Auswurfsmassen bedeckt ist, wie der viel niedrigere Vesuv,

sondern nur aus zusammengebackenen Lavafladen und Fetzen sich aufgebaut hat, die, wie es ihre Form beweist, in noch glutweichem Zustande auf den Boden platschten und sich dadurch fest aneinander kitteten.

In den Alpen sind schon mehrere Male Wirbelwinde beobachtet worden, die über Gräte wegstreichend, handgrosse Gesteinsstücke hoch vom Boden aufheben, heftig im Kreise drehen und zum Theil zur Tiefe schleudern *). Gleiches wird wohl auch in anderen Gebirgen vorkommen, ich konnte jedoch hierüber keine Angaben finden.

So kräftig Blitz und Donner im Gebirge hallen, sind ihrer Einwirkungen auf die Berggipfel doch nicht viele und nicht starke. An den vorspringendsten Gesteinsecken mancher frei stehender hoher Culminationspunkte findet man das Gestein an der Oberfläche oft auf handgrosse Fläche etwas angeschmolzen und das dunkle Glas, das dadurch entstanden, hat sich in mehrere kleine Tröpfchen zusammengezogen. An leichter schmelzbaren Gesteinen (wie Hornblendegesteine etc.) findet man solche oberflächliche Schmelzungen, die zweifelsohne durch den Blitz hervorgebracht sind, viel häufiger als in schwerer schmelzbaren (wie quarzreiche Gneisse etc.) Blitzröhren, wie sie im Sande der Ebenen gefunden werden, sind im festen Gestein der Berggipfel nicht zu erwarten, es kommt höchstens vor, dass etwa kleinere Gesteinstrümmer zusammengeschmolzen werden.

Kein Wasser, sei es als Thau aus der Luft niedergeschlagen worden, oder als Schnee oder Regen gefallen, ist vollkommen rein, es enthält die Gasarten der Luft absorbirt in sich. Der Kohlensäuregehalt macht die eindringenden Gewässer zur schwachen Säure, der Sauerstoffgehalt zu einem schwachen Oxydationsmittel, der nicht seltene Gehalt an organischen Substanzen manchmal zu einem schwachen Reduktionsmittel. Was an unmittelbarer chemischer Energie diesem eindringenden Wasser abgeht, das wird ersetzt durch seine immer sich erneuernde Masse und durch die lange Dauer der Einwirkung. Wenn wir als Chemiker ein Mineral mit Wasser behandeln, aber in der filtrirten Lösung weder durch Reagentien noch durch Eindampfen irgend Spuren von gelösten Substanzen nachweisen können, so nennen wir das Mineral vollkommen unlöslich. Als Geologen aber werden wir sagen, das beweise

*) Siehe Jahrbuch des Schweizer Alpenclub vierter Jahrgang 1868 pag. 534 von G. Theobald.

nichts, auf so schwache Lösung wirken die Reagentien nicht mehr sichtbar, oder der Verdunstungsrückstand war zu gering, um dem Auge wahrnehmbar zu sein; lassen wir erst das Wasser in grosser Menge einige tausend Jahre darauf einwirken, oder was auf das gleiche herausläuft: sehen wir zu, ob nicht in der Natur das betreffende Mineral unter Formen und Umständen sich vorfindet, die seine Löslichkeit beweisen. Was also für den Chemiker unlöslich ist, oder fast unlöslich, ist für den Geologen noch sehr wohl, vielleicht sogar leicht löslich zu nennen. Ein Beispiel bietet uns der Quarz. Gewiss können wir ihn chemisch in reinem Wasser oder Regenwasser unlöslich nennen, und doch finden wir in Grotten Quarztropfsteine, schöne Quarzkrystalle in Klüften von Gesteinen, die aus dem Wasser abgesetzt sind, sogar in den Hohlräumen versteinerter Muschelschalen, oder er dient selbst als Versteinerungsmittel. Baryt, Feldspath, die im Laboratorium als unlöslich gelten, kommen ebenfalls in der Natur unter Umständen vor, die ihre Löslichkeit im Wasser beweisen. Entweder werden die Gesteine vom Wasser ganz gelöst, als solche wie sie sind (Kalkstein, Steinsalz, Gyps, Quarz etc.), oder es wird nur ein Theil gelöst, und es bleibt ein Rest oder Rückstand (Porzellanerde bleibt als unlöslicher Rückstand bei der Verwitterung der Feldspäthe, Serpentin als solcher bei Verwitterung von Olivin und andern Mineralien). Die zahlreichen Umwandlungspseudomorphosen (das sind Mineralsubstanzen, die äusserlich die Krystallform eines andern Minerals besitzen, aus dem sie durch Substanzumwandlung entstanden sind) haben Aufschluss über manche dieser langsamen Veränderungen im Mineralreich gegeben, die fast alle unter Mithülfe der Sickerwasser vor sich gehen. Das kohlensäurehaltige Wasser vermag die scheinbar so widerstandsfähigen Silicate (Minerale die Kieselstoff enthalten) wie Feldspäthe, Glimmer, Epidot, Turmalin, Augit, Hornblende, Olivin; Talk, Hypersten, Chlorit etc. zu zersetzen, und ihnen in Gestalt von Carbonaten (kohlensauren Salzen) Kalium, Natrium, Calcium, Eisen, Mangan, zu entziehen. Das Eisen, das oft in Gestalt farbloser Verbindungen in den Gesteinen steckt, wird durch den Sauerstoff der Sickerwasser zu Rost umgewandelt, und zahllos sind in den Alpen allein die Berge, die diesem Vorgange Namen wie Rothhorn, Rothstock, Pizzo Rosso etc. verdanken. Ausser etwa Gold und Platin gibt es überhaupt kaum ein durch die Sickerwasser absolut unlösliches Mineral. Die als solche unlöslich sind, werden erst zersetzt und die einzelnen Theile dann gelöst. Alle wesentlich gesteinsbildenden Mineralien sind in der Weise

verwitterbar und die Sickerwasser beladen sich dadurch mit Mineralsubstanzen.

Zuerst verändert sich meistens die Farbe; die ursprünglich glashellen Krystalle werden allmälig trübe und undurchsichtig, ihr Gefüge und das Gefüge der ganzen Gesteinsmasse lockert sich dadurch auf, der eindringende Frost befördert dies, und das Gestein fällt endlich in Brocken oder in einen Gruss (Haufen von Körnern) auseinander. Bei den Verwitterungsvorgängen in den Gesteinen haben wir es mit ungeheuren Zeiten und immer sich wieder erneuernder Masse der einwirkenden Stoffe (Wasser etc.) zu thun, und so geschehen tausend Umsetzungen und Auflösungen, die im Laboratorium sich nicht nachmachen lassen. Indem die Geologie dergleichen chemische Vorgänge nachweist, steht sie oft der Chemie gewissermassen ergänzend zur Seite.

Die meisten Verwitterungen sind eine Combination von chemischen und mechanischen Vorgängen. Die Pflanzen wirken auf beide Arten zugleich, chemisch durch die organischen Säuren, welche ihre Wurzeln ausscheiden, und durch die Kohlensäure, die sie beim Absterben und Faulen liefern, mechanisch durch das oft fast unwiderstehliche Wachsthum ihrer Wurzeln in den feinen Gesteinsspalten, in die sie eingedrungen sind. Es ist schon wiederholt beobachtet worden, wie in einigen Jahrzehnten die Wurzeln einer Bergföhre im Stande waren, einen kubikmetergrossen festen Felsblock, der anfangs nur einige unbedeutende Spältchen hatte, in Stücke zu zersprengen. Die gleichen Wirkungen in kleinerem Massstabe bringen die Wurzeln von ungezählten Pflanzenarten hervor. Bis in Höhen von 3600m findet man, rings von Schnee und Eis umgeben, an sonnigen Stellen in den Felsritzen noch vereinzelte Pflänzchen in prächtigen Blüthenfarben spielend. Mit starken, zähen, langen Wurzeln halten sie sich fest. Niedriger stehende Pflanzen, wie Moose und Flechten können überall anhaften und jedem Klima sich anpassen. Sind die Felsen schiefrig, so haben die Pflanzen noch leichtere Arbeit, ihre Wurzeln blättern dann das Gestein auf. Wenn die Pflanzendecke eine mehr zusammenhängende ist, und nicht im Fels selbst, sondern mehr in einer Kruste von Erde wurzelt, dann schützt sie den Felsgrund eher vor Verwitterung, als dass sie diese befördert, sie schützt ihn dann besonders vor Temperaturwechsel. Ein lückenhafter Pflanzenteppich befördert, ein dichter verzögert die Verwitterung.

Keine Gesteine sind vollkommen frei von Klüften und Spalten. Wenn wir auch vielleicht keine offenen darin finden, sind doch Spalten im Gestein vorgezeichnet, es sind Richtungen da, nach denen das feste Gestein sich leichter

trennt, als nach anderen. Die äusserste Gesteinskruste ist dem Temperaturwechsel von Tag und Nacht und von den Jahreszeiten unterworfen. Dieser dehnt aus und zieht abwechselnd wieder zusammen. Dadurch wird das Gestein immer mehr gelockert, und endlich nach und nach öffnen sich zahllose Klüftchen. Auf diesen dringt das Sickerwasser ein und lockert durch seine chemische Einwirkung noch mehr. Am allerkräftigsten wirkt, wenn einmal Klüfte da sind, der Frost. Beim Gefrieren dehnt sich das Wasser mit furchtbarer Gewalt um etwa 9% aus und erweitert dadurch die Klüfte in denen es gefriert. Thaut das Eis wieder, so fallen die losgetrennten Gesteinsbrocken auseinander. Vermag ein einmaliger Frost es nicht einen gewissen grossen Felsblock ganz abzutrennen, so kann dies einem vielfach wiederholten Frost gelingen. Wenig poröse Gesteine trennen durch Frost in Blöcken sich los, poröse, welche durch und durch mit Wasser getränkt gefrieren, können hernach in einen Grus und Sand auseinanderfallen.

Die äussere Felskruste der Berge, die wir beobachten, ist niemals ganz frisch sie ist immer schon in Verwitterung begriffen - nur Graben, nur ein Tunnel durchsticht die äussere angewitterte Kruste ganz und dringt bis tief in das vollkommen unversehrte frische Gestein ein. In verschiedenen Localitäten, unter verschiedenen Umständen ist bald mehr die eine, bald mehr die andere Art der Gesteinsverwitterung vorherrschend, an den freien Kämmen der Hochgebirge ist aber meistens der Frost das weitaus kräftigste Agens der Verwitterung. Es gibt Berggipfel, die so sehr verwittert sind, dass man mittelst Hebeisen den ganzen Gipfel schleifen könnte, ohne einen zusammenhängenden festen Block von einem Meter Durchmesser zu finden. Solche haben oft Volksnamen wie »Faulen«, »Faulberg«, »Faulhorn«, etc. erhalten.

* * *

Und nun von den Folgen dieser Verwitterungsvorgänge:

Karren oder Schratten. Es gibt wohl in der Natur kein Gestein, das, selbst in einem Block von nur Kubikfuss-Grösse, durch und durch vollkommen gleichmässig in seiner Masse ist. Im scheinbar gleichmässigsten Kalkstein oder Gyps sind einzelne Partien etwas schwerer, andere etwas leichter löslich; ein ganz geringer Unterschied in der Porosität oder in einer

Beimengung, z. B. von Kiesel oder Dolomit kann der Grund ungleichmässiger Verwitterung sein, und sehr oft werden erst durch die Verwitterung die Ungleichmässigkeiten in der Masse sichtbar. Häufig sind die Versteinerungen, welche in Kalksteinen eingeschlossen sind und selbst verkalkt sind, schwerer löslich in dem kohlensäurehaltigen Wasser als die Grundmasse des Gesteines. So kommt es, dass auf angewitterten Flächen die Petrefacten oft weit über das Gestein vorstehen, und an den Anwitterungsflächen zeigt sich dann ein Versteinerungsreichthum, von dem man auf dein frischen Bruch kaum etwas bemerken kann. Jede Kalksteinmasse, die der Nässe ausgesetzt ist, erhält allmälig eine unebene Oberfläche. Die gebildeten Vertiefungen werden zu Wasserrinnen, von den zwischenliegenden Erhöhungen läuft das Wasser schnell ab. Die Rinnen vertiefen sich mehr und mehr und erweitern sich am Grunde, die zwischen den Vertiefungen stehenden Riffe werden immer schmaler, schärfer, schneidender. So entstehen die kahlen, wilden, zerklüfteten Kalkflächen, die man in den Alpen »Karren«, »Schratten«, »Lapiaz«, nennt.

Im Gebiete solcher Auswaschungen sind die Felsen tief, 2, 3 bis 10, selten bis 50 Fuss tief durchbrochen von bald ganz engen, bald weiten unregelmässigen Rinnen und Löchern. Man kann häufig in ein Loch hinunterkriechen und durch ein anderes wieder heraufklettern. Die Rippen und Kämme zwischen den Löchern und Furchen sind meistens sehr scharfkantig und rauh, oft messerscharf, so dass man sich leicht daran verletzt. Die ähnlichen unregelmässigen Formen, die im Grossen an den Karren auftreten, wiederholen sich an den Oberflächen der grossen Formen im Kleinen; im Kleinen sind aber meistens die Rippen schmal, die Furchen breiter, im Grossen die Rippen dicker, die Furchen enger. Die ausgezackte und durchbrochene Gesteinsmasse behält aber ihren soliden Zusammenhang: lose Trümmer sind nur selten. Je nachdem die Oberfläche des Kalkfelsens geneigt oder horizontal ist, herrschen die zahlreichen, weniger tiefen Furchen in der Richtung der grössten Neigung, oder die tiefen Löcher vor. Schon aus der Unregelmässigkeit der Karrenformen geht hervor, dass keine mechanischen Vorgänge sie gebildet haben können, sondern eine chemische Auflösung die Ursache dieser Erscheinung ist. Karren entstehen hauptsächlich da, wo Schnee lange liegt und schmelzender Schnee den grössten Theil des Jahres seine Unterlage nass erhält. So finden wir in der Nähe der Schneelinie nicht selten auf weite Strecken (oft nur auf einer Fläche von ¼ Juchart, aber auch auf einer Ausdehnung, die bis über eine

Quadratstunde steigen kann) die Karren ganz kahl und frisch in Bildung begriffen; in ihren tiefsten Löchern bleibt leicht der Schnee das ganze Jahr hindurch liegen. Hohe Terrassen, weite sanftere Gehänge, oder die Gipfelflächen der Kalkberge, wenn sie der Schneelinie nahe stehen, sind mit frischen Karren bedeckt. Stellen, wo man sehr entwickelte Karren sehen kann, sind beispielsweise: die Silbern, die Karrenalp und die Rädertenalp im Kanton Schwyz; der Mattstock ob Amden im Kanton St. Gallen; die Mulde des »grossen Schnee« am Sentis. (Siehe Fig. 1).

Nach schneereichem Winter werden in kalten nassen Sommern viele weite Karrenfelder der Kalkalpen niemals schneefrei. In den tieferen Regionen, oder in sonst günstiger Lage verhelfen die warmen Jahre der Vegetation zu siegreichem Vordringen gegen die Karren. Es siedeln sich dann die Alpenpflänzchen zuerst in den nicht allzutiefen Karrenlöchern an. Wie in natürlichen Blumentöpfen sind sie hier geborgen und ist ihnen guter Schutz vor dem Wind gegeben. Diese Löcher fingen Pflanzensamen und erdige Bestandtheile, die der Wind herbeiwehte und über die Fläche schleifte, zuerst auf. Von den einzelnen Angriffspunkten aus verbreiten die zähen Alpenpflanzen ihr kriechendes Aesteflechtwerk über die Felsflächen in Gestalt eines Polsters, das man leicht ablösen kann, das aber an einer Stelle durch zähen Wurzelstock in tiefer Furche festgeheftet ist. Wunderbar glänzt im Sommer die Farbenpracht der Blüthen mitten aus dem weissgrauen, kahlen Karrenfeld. Die Löcher und Furchen der wilden Gesteinsfläche füllen sich durch das Absterben der unteren Pflanzenwurzeln mehr und mehr mit Humuserde an, die Ast- und Wurzelgeflechte benachbarter Colonien verweben sich, und allmälig ragen nur noch die höchsten Karrenkämme steinig rauh aus der immer dichter, dicker und zusammenhängender wachsenden Pflanzendecke hervor und endlich, bei andauernder Wirkung der für die Vegetation günstigen Verhältnisse, werden auch diese letzten Rippen unter der schwellenden Pflanzendecke begraben. In den tiefern Regionen, wo jetzt Karren unmöglich mehr frisch entstehen können, findet man stellenweise beim Abgraben der Humuserde alte solche in schöner Entwicklung freilich nicht sehr häufig (Anlagen des Axenstein am Vierwaldstättersee). In solche Karren haben sich dann meistens sehr ausgeprägt Pflanzenwurzeln eingeätzt und dadurch ist das Bild etwas verändert. Sehr wahrscheinlich geht die ächte Karrenbildung unter der feuchten Humusdecke nicht mehr, oder nur sehr unvollkommen, vor sich.

Wie langsam oder wie rasch Karrenformen sich bilden, darüber ist es bis heute nicht gelungen Aufschluss zu gewinnen. Gewisse Karrenformen an erratischen Kalkblöcken beweisen, dass es schon zur Eiszeit in den Alpen Karrenfelder gegeben hat und ihre Weiterbildung geht heute noch vor sich. Im Jura gibt es ähnliche Kalksteine wie in den Alpen; unregelmässig ausgewaschene Oberflächenformen findet man auch dort, aber doch keine eigentlichen Karren, weder jetzt sich fortbildende, noch alte, - warum wissen wir noch nicht. Karrenähnliche Formen, Karren im Kleinen, entstehen auch an der Oberfläche von Kalksteinen und Gypsen, die in stehendem Wasser liegen, durch ungleichartige Auflösung (vom Walensee etc. bekannt).

Felsenmeere und Blockgipfel. Während Flächen reinen Kalksteines durch die Wasser zu Karren ausgebildet werden, lösen sich hingegen Berge, die aus Granit, Gneiss und verwandten Gesteinen bestehen, an ihrer Oberfläche gerne in Trümmerhaufen auf. Den feinen Spältchen oder Ablösungsflächen nach, die solche Gesteine nicht selten in regelmässigem Netz durchziehen, dringt die Verwitterung ein, die Klüfte werden offen und immer weiter, die Kanten und Ecken der Blöcke, in die dadurch der Fels zerschnitten wird, nicht selten stark abgerundet. Wo früher zusammenhängender Fels war, könnte man jetzt mit Hebeisen Block um Block wegbringen und diese Zertheiluug schreitet immer weiter bergeinwärts. Endlich werden auf den Klüften zwischen manchen der tieferen Blöcke stellenweise die Lücken zu weit, die oberen Blöcke sinken nach diesen Lücken hin ein, kommen dabei aus ihrer ursprünglichen Lage, erleiden vielerlei Umstellungen, und allmälig wird die Oberfläche des Berges zu einem Chaos wild durcheinander liegender und übereinander gethürmter, oft gewaltiger Trümmermassen. Wo sonst Blöcke lose übereinander liegen, rühren sie meist von Bergstürzen, sie sind irgendwo hergefallen, hier aber ist der Fels an dem Ort, wo wir seine Trümmer finden, in Blöcke aufgelöst worden (»Zertrümmerung in loco«). Zahlreiche Culminationspunkte der Alpen bestehen aus in dieser Art übereinander gethürmten mächtigen Blöcken, die, wo sie nur wenig verschoben nebeneinander liegen, doch tiefe Klüfte zwischen sich klaffen lassen. Hier, im Gebirge, überwiegt die Frostwirkung die chemische Auflösung des Gesteins und so sind die Blöcke, obschon ganz verstellt, oft noch scharfkantig, das Gestein ziemlich frisch. Bei Berggipfeln ist die gegenseitige Verstellung der Blöcke, in die der ursprüngliche Fels von der Verwitterung zerhackt worden ist, in vielen Fällen ausser durch

ein Einsinken gegen die tieferen zunehmenden Lücken auch durch seitliches Ausweichen der tieferen Blöcke hervorgebracht. Bei zu steilen Gipfeln kommt solche Blockbildung nicht vor, weil da der abgetrennte Block sogleich zur Tiefe stürzt. Beispiele von Blockgipfeln aus den Alpen sind Fibbia, Pizzo Rotondo und Pizzo Lucendro aus der Gotthardgruppe, Schwarzhorn im Wallis etc. (Siehe Fig. 2). Wenn eine solche Trümmermasse über eine ausgedehntere Fläche sich gebildet hat, so nennt man dies ein »Felsenmeer«, weil Block an Block liegt, wie Welle an Welle - der Vergleich ist zwar kein geschickter. Berühmt sind Felsenmeere aus den Pyrenäen, dem Harz, Schwarzwald, Fichtelgebirge, aus Schottland etc. Felsenmeer und Blockgipfel erheischen viel Gewandtheit und Vorsicht von Seiten des Wanderers, denn oft sind die schwersten Blöcke in Lagen, wo ein unbedeutendes auf einer Seite zutretendes Uebergewicht sie zum Umkippen bringen kann.

Formen der Gehänge. Für jede Felsart mit bestimmter Zerklüftung und Lagerung in bestimmten klimatischen Verhältnissen gibt es eine Grenze der möglichen Steilheit, die nur ganz local, aber nie im grossen Ganzen auf einem grösseren Stück der Profillinie eines Berges überschritten werden kann. Wird diese Maximalböschung (so wollen wir diese, auf längere Strecken grösstmögliche Steilheit nennen) an einer Stelle eines Abhanges durch herausfallen einer losgewitterten Gesteinsmasse einmal überstiegen, so folgt ein allmäliges Nachbrechen der zu wenig gestützten oberhalb liegenden Massen, das aufwärts schreitet, bis es an der Kante eines Grates oder Gipfels, manchmal sehr rasch, manchmal erst nach Jahrhunderten, anlangt. Indem so das Gehänge wieder auf seine Maximalböschung sich eingestellt, sich nivellirt hat, entsteht zugleich eine entsprechende Erniedrigung des Grates oder Gipfels. Die übersteilen Partien an den Gehängen wandern also gewissermassen aufwärts, und durch die Verwitterung schärfen sich die Bergkämme und Gipfel nicht von oben herab, sondern von unten herauf. Jede, auch die geringste Untergrabung am Fusse eines steilen Hanges wird sich schliesslich bis zu oberst fühlbar machen, und wenn sie eine stärkere Runse oder Rinne ist, so wird sie Breschen in den Grat schneiden, ihn in Stücke zerlegen. Selten bietet sich eine Gelegenheit diesen Vorgang so schön zu beobachten, wie an den Kuh- oder Chur-Firsten. Sie waren ursprünglich ein zusammenhängender Kamm, durch ein schief aufgerichtetes Sedimentschichtensystem gebildet. Ihre dachförmigen Rücken auf der Nordseite werden aus den in einer Ebene

liegenden Stücken ein und derselben ursprünglich zusammenhängenden Gesteinsplatte gebildet. Von der Nordseite sind kleine Schluchten heraufgestiegen und haben den Grat in 9 bis 11 Zacken zerschnitten. Eine westlichste Schlucht zwischen Hinterruck und Kaiserruck ist eben am Kammscheitel angelangt, hat aber bis heute noch keine Lücke in denselben geschnitten. (Siehe Fig. 3).

Vollkommen senkrechte W ä n d e finden sich in den wildesten Gebirgen immer nur von geringer Höhe und sehr selten, so oft man auch von ungeheuren senkrechten Wänden spricht. Wo einigermassen erhebliche senkrechte Wände bestehen, da stehen sie geologisch gesprochen noch nicht lange und werden nicht lange bleiben, sie sind eine sehr vorübergehende Erscheinung. Ganz compacte horizontal geschichtete Kalk- Dolomit- und Sandsteinmassen können am ehesten senkrechte Wände von ziemlicher Dauer und Bedeutung liefern, ebenso senkrecht gestellte Platten von Gneiss, die wenig oder keine Querklüfte besitzen. Local entstehen auch überhängende Wände. Dies geschieht am leichtesten, wenn über einer stark verwitterbaren Masse eine viel widerstandsfähigere liegt. Die erstere kann herauswittern, die letztere bleibt als vorspringendes Dach stehen. (Siehe Fig. 4, a). Ferner entstehen überhängende Wände leicht bei ziemlich steil geneigten, aber nicht ganz senkrechten schiefrig oder tafelförmig sich absondernden Massen auf der unteren Seite, wenn die Platten oder Schiefer ziemlich leicht von einander trennbar sind, aber in sich selbst jede Platte ziemlich fest und nur selten von Querklüften durchsetzt ist. (Siehe Fig. 4, b). In der inneren Schweiz werden solche unterhöhlte Wände »Balmen« genannt. Es gibt solche Balmen, die jeden Frühling sich vergrössern, indem beim Thauen von den losgefrorenen Schiefem der Decke herunterbrechen. Ist die Balm aber zu gross geworden, so bricht der ganze Dachvorsprung ein (in Fig. 4, b deutet die Linie c d den wahrscheinlich folgenden Bruch an). Der Rest ist eine kleine von Trümmern fast verschüttete Balm, die nun wieder sich vergrössern kann. In den Schutz der stabileren Balmen sieht man vielfach die Hütten und Häuschen gebaut.

In der Region der Schneelinie ist die Verwitterung am stärksten, denn in ihrer Nähe schwankt die Temperatur am häufigsten um den Gefrierpunkt herum, da fehlt sowohl eine schützende Pflanzendecke als auch eine Schneedecke, da ziehen sich die feuchten Wolken am meisten hin. Es ist hier bei gleicher Gesteinsbeschaffenheit die Maximalböschung geringer als tiefer und höher, die Verwitterung frisst hier am raschesten und tiefsten ein. Die

Berge, die in die Schneeregion reichen, zeigen daher mit verschiedenen Modificationen meistens ein Profil, das von der regelmässigen pyramidalen oder Hausdachform durch stärkere Einhöhlung in der Region der Schneelinie abweicht. Es ist der Abhang in der Schneelinienregion flacher, der Kamm aber wird durch Untergraben steiler. (Siehe Fig. 5, a b die Schneelinie).

Wer von einem hohen Punkte das Gipfelheer der Alpen oder eines ähnlichen Gebirges flüchtig überblickt, der möchte wohl versucht sein, es mit einem wogend erstarrten Ocean zu vergleichen, und das Bild, das manche davon auf dem Papier entworfen haben, sieht einer wogend erstarrten Wasserfläche nicht unähnlich. Gehen wir aber daran, die einzelnen Gipfelformen genau zu studiren (mit Fernrohr wenn sie zu ferne stehen), so sehen wir anstatt der Aehnlichkeit der verschiedenen Wellen eine unbegrenzte Mannigfaltigkeit der Gipfelformen, und unter tausenden finden wir nicht zwei, die zum Verwechseln ähnlich wären, selbst wenn wir nur die obersten Gipfel ins Auge fassen. Sich davon zu überzeugen ist das beste Mittel das Zeichnen, denn dadurch sieht man alles genauer an als ohne dies und übt den Blick. Der Hauptvortheil des Zeichnens ist durchaus nicht immer das geschaffene Bild, sondern weit mehr die Uebung in scharfer Auffassung. Alle diese Formen der Berggipfel in ihrer enormen Mannigfaltigkeit hat die Verwitterung aus dem früher massenhafteren Gestein modellirt. Sie war der allen gemeinsame Bildungsfaktor. Der zweite Faktor, der diese Formen geschaffen hat, ist die Gesteinsbeschaffenheit (Verwitterbarkeit, Gleichmässigkeit oder Ungleichartigkeit, Massigkeit, tafelförmige oder schiefrige Absonderung, Schichtung, Lage der Schichten, Resistenzfähigkeit verschiedener Schichten etc.). Nach der Gesteinsbeschaffenheit sind wir dann auch im Stande, in diese unendliche Zahl von Formen einige Gruppirung zu bringen, diejenigen zusammenzustellen, die bei manchen individuellen Verschiedenheiten doch einem Typus folgen, der charakterisirt ist nicht durch den constanten Faktor, die Verwitterung, sondern den wechselnden, die Gesteinsbeschaffenheit.

Die Gesteinsbeschaffenheit ist freilich eine sehr mannigfaltige, und wollte man alle Unterschiede in Betracht ziehen, so verlöre man sich in Eintheilungsspitzfindigkeiten ohne allen praktischen Werth. Dabei ist die Gefahr immer nahe, einer unerklärten Sache nicht mehr tiefer nachzuforschen, weil der hochklingende Name, den man dem Ding nun gibt, aussieht, als wäre es erklärt. Wir wollen hier nur drei auffallend verschiedene Typen aufstellen und gleich sagen, dass Zwischenformen sie verbinden können:

1. Das Gestein kann massig ausgebildet sein, d. h. es ist gleichfest in allen Richtungen, die Spalten, die es durchsetzen, theilen es in Stücke von ungefähr gleich grossen Dimensionen nach allen Richtungen, in keiner Richtung herrscht eine Schieferung oder leichtere Spaltbarkeit vor. Da wirkt die Verwitterung gleichförmig in allen Richtungen, und ist das Gestein leicht verwitterbar, so haben wir nie scharfe kühne Gipfelformen, sondern konische, oben rundliche Kuppen. Manche Eruptivgesteine, denn diese sind vorwiegend massig ausgebildet, liefern solche Formen (manche Porphyre, Granite, Gabbros etc.). Felsenmeere und Blockkuppen sind hier häufig, freilich liegt der Verwittemug nicht selten schon von Anfang an eine Kuppenform vor. Schöne runde Gabbrokuppen gibt es im Appenin nördlich und westlich von Genua, in den Alpen ist dieser Typus äusserst selten. (Siehe Fig. 6).

Dem Typus 1 stehen die beiden andern gegenüber, indem bei diesen eine Schieferung, Absonderung oder Schichtung des Gesteines der Bergform ihren Charakter aufprägt. Unsern Formentypus II bilden diejenigen Gesteine, deren Lagen, Schiefer oder Platten von ungefähr gleicher Resistenzfähigkeit sind, und dies ist fast immer bei den »krystallinischen Schiefern« (Gneiss, Glimmerschiefer, Urthonschiefer, Hornblendeschiefer, Talkschiefer, Granatenschiefer etc.) der Fall. Unser II ist also fast gleichzusetzen den Formen der Berge, die aus krystallinischen Schiefem bestehen. Unserm Formentypus III gehören Berge an, wo die verschiedenen Gesteinsplatten, oder zum Theil mächtigen Schichten, verschieden leicht verwittern. Diese Bedingungen sind fast immer und am besten erfüllt, wenn der Berg aus Sedimentgesteinen (Kalksteine, Mergel, Dolomit, die meisten Conglomerate, Sandsteine, auch manche Thonschiefer) besteht. Die Schichtung der Sedimente (Wasserabsatzgebilde) ist durch einen Unterbruch oder eine Veränderung in der Ablagerung hervorgebracht worden, und so sind die verschiedenen Schichten dieser Gesteine besonders grösserer Schichtengruppen niemals ganz gleich beschaffen, niemals gleich leicht verwitterbar. Die Plattung und Schieferung der »krystallinischen Schiefer« hingegen bezeichnet wahrscheinlich keine Unterbrüche in der Bildung. Die verschiedenen Platten und Schiefem mögen selbst gleich alt sein. Der Grad der Verwitterbarkeit der krystallinischen Schiefer wie der Sedimentgesteine hängt, ausser von der mineralogisch chemischen Beschaffenheit, hauptsächlich von der Feinheit der Schieferung oder Schichtung ab, und besonders von der Zahl von Klüftchen, welche die Schieferungs- oder Schichtungsrichtung schneiden. Wir besprechen zuerst unsern dritten Formentypus:

III. Je resistenzfähiger gegen die Verwitterung eine Felsmasse ist, desto grösser ist die höchst mögliche Böschung, die sogenannte Maximalböschung, die dies Gestein annehmen kann; je verwitterbarer, desto geringer ist die Maximalböschung. Denken wir uns einen Berg ans Schichten aufgebaut, die sehr ungleich rasch verwittern. Da wird sich meistens auch der Fall vorfinden, dass resistenzfähigere Schichten von leichter verwitternden unterteuft werden. Diese letzteren treten am Profil des Abhanges rascher zurück, die festeren werden dadurch untergraben, und sobald dies ihnen zu stark werden will, brechen auch sie nach, aber nur bis sie das überhängende Vorstehen wieder in die ihnen eigene Maximalböschung reducirt haben. So müssen alle höher liegenden Felsschichten wenigstens gleich schnell zurückweichen wie die tiefste der leicht verwitterbaren, und dabei werden sie sich jede in die ihr eigene Maximalböschung einstellen. So wechselnd die Verwitterbarkeit der Schichten ist, so wechselnd ist diese Böschung, und die Profillinie solchen Gehänges wird eine gebrochene sein. Die Gehänge der aus Sedimentschichten zusammengesetzten Berge sind daher terrassenförmig. Das terrassenförmige Profil, das von den Schichten gebildet wird, die über einer am leichtesten verwitterbaren Schichte liegen, wird bei fortdauernder Verwitterung mit sich selbst parallel in der Richtung der Schichten bergeinwärts getrieben, und zwar gleich rasch wie diese leichtest verwitterbare Schicht zurücktritt.

Die flacheren Terrassen der Gehänge werden um so leichter mit Vegetation überzogen, da in ihrem verwitterbaren Material die Pflanzen leichter Fuss fassen. Diese glänzend grünen »Rasen-Bänder« ziehen sich oft zwischen steilen, kahlen, grauen »Felsbändern« entlang, und schon aus grosser Ferne kann man an ihrem Verlauf den Verlauf und die Lage der Felsschichten ablesen. Manchmal kann man auf einem Rasenband rings um den ganzen Berg herumwandern. Wenn Schnee die Terrassenflächen bedeckt, während an den Terrassenabstürzen er nicht haften kann, so wird der schichtige Treppenbau des Berges noch auffälliger, und so können wir von den meisten Alpengipfeln, die wir von Zürich oder vom Uetliberg aus sehen, bei guter Beleuchtung und besonders im Winter schon aus dieser Entfernung sagen, welche aus Sedimentgesteinen und welche nicht aus solchen bestehen. Die inneren Alpenketten bestehen meistens aus krystallinischen Schiefem, südlich und besonders nördlich folgen die Zonen der »Kalkalpen« oder Alpen aus

Sedimentgesteinen in vielfachen Ketten auf der ganzen Länge der Alpen sich hinziehend. Fast alle Formen dieser sedimentären Gebirge gehören unserm Typus III an. Als Beispiele mögen gelten: Rigi, Sentis, Pilatus, Leistkamm, Rautispitz, Calanda, Glärnisch, Urirothstock; den krystallinischen Massen näher folgen: Tödi, Windgällen, Titlis etc. etc. (Siehe Fig. 7).

Die Faletsche am Uetliberg ist ein Beispiel von einem Gehänge, das jetzt so rasch zurückwittert, dass Vegetation nicht die sanfter geneigten Bänder überziehen kann. Das ist aber nicht der allgemeine Fall. Meistens geht das viel langsamer. Da fällt heute ein Stein, morgen löst sich dort ein anderer, und bis von der gleichen Stelle ein zweiter fällt, hat das grüne Pflanzenleben die alte Wunde bereits vernarben gemacht. So ununterbrochen die Verwitterung geht, so kann es doch sein, dass der Pflanzenteppich dadurch nur local, und vorübergehend aber im Ganzen wenig zerrissen wird.

Die Sedimentschichten liegen in Gebirgen wie Alpen und Jura nur selten horizontal. Meistens liegen sie mehr oder weniger steil aufgerichtet, oft sind sie stark gebogen und verquetscht. Wenn auch dadurch die Bergformen vielfach modificirt werden, so bleiben doch die Erscheinungen ziemlich die gleichen. An der Biegung und Lage des Rasenbandes und Felsbandes erkennt man dann die Biegung und Lage der Schichten. (Siehe Fig. 7, c & d). Schichten in steiler Stellung sind im Allgemeinen leichter zu kühnen Formen geneigt, zu solchen, die die Namen »Spitz«, »Nadel«, »Horn«, »Pizzo«, »Aiguille« etc. verdienen. (Siehe Fig. 7, d). Die mehr horizontalen hingegen bilden öfter breitere Formen, sogenannte »Stöcke«, »Köpfe«, »Kuppen«, »Tafeln«. Die Kühnheit der Formen nimmt mit der Resistenzfähigkeit einzelner Schichten zu. Die verschiedenen Formen der Berggipfel spiegeln sich vielfach in ihren Namen.

II. Die krystallinischen Schiefer bilden im grossen Ganzen betrachtet Gehänge von viel gleichmässigerem Gefälle. Hier, wenn auch keine absolute Gleichförmigkeit der Platten und Schiefem da ist, haben wir keinen auffallenden Wechsel von sehr leicht und sehr schwer verwitternden Massen und somit auch keine Terrassenprofile. Die in den Alpen gewöhnliche steile, oft fast senkrechte Stellung der Schiefer und Platten begünstigt dies noch mehr. Da gibt es Berge, die vom Gipfel bis zur Thalsohle eine nahezu constante Böschung haben. Der Bristenstock ist eine der reinsten Formen dieses Typus (siehe Fig. 8, a). Auf eine Verticaldistanz von 2550 Meter ist die eine Kante

der herrlichen Pyramide vom Gipfel bis an den Fuss nach Amstäg mit Ausnahme einer leichten Einbiegung in der Region der Schneelinie fast ununterbrochen 36 Grad steil. Schon aus grosser Ferne charakterisirt die Gipfel der krystallinischen Schiefer ihr scharfkantiges, pyramidales Wesen frei von irgend welcher deutlichen Terrassenstructur. Von den vom Uetliberg sichtbaren Gipfeln sind für Typus II charakteristisch: Gruppe des Bristenstock, Düssistock, Sustenhorn, Oberaarhorn, Finsteraarhorn, Schreckhörner (siehe Fig. 5, b). Die Alpengipfel *) der krystallinischen Schiefer haben wohl niemals eine eigentliche Scheitelfläche, es sind alles scharfe Schneiden, über die man oft nur mit grosser Mühe, meistens gar nicht wegkommen kann. Hier ist das Deckengewebe der Vegetation in den milderen Regionen ein lückenmaschiges, aber ein sehr allgemeines. Wir finden nicht das dichte saftige Grasband der Kalkgebirge, aber auch nicht deren absolut kahle Wand. Nach den höheren Regionen verläuft das Grün sich ganz allmälig, es hat keine so ausgesprochene obere Grenze, und es steigt bis auf die Schneiden der Kämme, wenn diese nicht gar so hoch sind. Ein guter Kletterer kann seine Wege in den Gebirgen der krystallinischen Schiefer meistens freier wählen, es wird ihn nirgends ein sanft geneigtes »Band« wie auf vorgeschriebener Strasse so bequem zum Ziele geleiten, aber auch nicht so leicht eine absolut unerkletterbare, langgestreckte, nicht zu umgehende Wand alles Vorwärtskommen unmöglich machen.

Im grossen Ganzen aus der Ferne betrachtet, sind die Formen der Sedimentgebirge viel gegliederter, viel mannigfaltiger als diejenigen der krystallinischen Gebirge, in den kleineren Einzelformen hingegen sind die letzteren die zerrisseneren, kühneren, ausgezackteren und ausgezahnteren Gestalten (siehe Fig. 8, c). Die gleiche Kante, der gleiche First, der aus der Ferne als ungebrochene Linie erscheint, ist in der Nähe tief sägenartig eingekerbt, wie dies bei Sedimentgesteinen nicht oder höchstens im Fall fast senkrechter Stellung dünnplattiger Schichtung vorkommen kann. Die Formen des Typus III gehen überhaupt bei senkrechter Schichtstellung oft fast in diejenigen von Typus II über. Die grosse Windgälle z. B. besteht aus senk-

*) Von Plateaugebirgen der krystallinischen Schiefer gilt dies natürlich nicht, in der ganzen Abhandlung sprechen wir ja überhaupt meistens nur von Gipfelgebirgen, es wird nicht schwer zu unterscheiden sein, welche Worte noch allgemeinere Bedeutung haben.

recht aufgerichteten Kalksteinplatten, aber von Zürich aus ist es dem nicht sehr geübtem Auge fast unmöglich, die sedimentäre Natur ihres Gesteines aus den Formen mit Sicherheit zu erkennen, in der halben Entfernung hingegen geht's schon eher.

Abtrag (Denudation, Ablation). Das Gebirge wird durch die Verwitterung im Ganzen erniedrigt. Wenn auch die Sohle mancher Kessel und Thäler durch Schuttaufhäufung steigt, wird doch sehr viel des Schuttes von den Gewässern ganz aus dem Gebirge herausgeschafft, und wenn man nach dem Durchschnitt frägt, ergibt sich eine Erniedrigung, eine Verwitterungsablation, ein Ab t r a g. Aus den Geschiebsmassen, welche die Reuss in den Vierwaldstättersee führt, ist der durchschnittliche Abtrag ihres aufwärts von der Mündung gelegenen Gebietes auf 1 Fuss in 3600 Jahren berechnet worden. (Diese Zahl von Jahren ist aber jedenfalls bedeutend zu gross, da die feinen Schlammmassen, die weit von der Mündung erst sinken, nicht gemessen worden sind). Der durchschnittliche Abtrag des gesammten Pogebietes ist zu 1 Fuss in 1100 Jahren, derjenige des Missisippigebietes zu 1 Fuss in 6000 Jahren, der des Gangesgebietes zu 1 Fuss in 2380 Jahren, der des Rheingebietes bis Bonn zu 1 Fuss in 9000 Jahren, aus den Schlamm- und Geschiebsmassen der Ströme berechnet worden. Nun aber vertheilt sich dieser durchschnittliche Abtrag sehr ungleich auf die verschiedenen Stellen der Oberfläche eines solchen Gebietes. Er ist ungleich grösser, wo das Material leicht verwittert, und treibt daher solche Stellen gegenüber den resistenteren Massen zurück, drückt ihre Oberfläche hinunter, und die resistenteren ragen mehr und mehr über die gesammte Fläche vor. Schon mancher scharfzackige Fels und mancher kühn kegelförmige Berg ist bloss dadurch eine auffallende Erscheinung geworden, dass der ungleiche Verwitterungsabtrag ihn von einem umhüllenden Mantel zerstörbarer Gesteine, in den er früher eingebettet war, befreit hat.

Auf dem runden, breiten, öden Rücken des Riesengebirges sind in den sonderbarsten Ruinenformen ganz vereinzelte, bis über 30 Meter hohe zerrissene Stöcke und Pfeiler als widerstandsfähigere Reste einer Granitmasse stehen geblieben, die früher die ganze Rückenfläche in solcher Höhe gehalten hatte (siehe Fig. 9).

Auf weite Strecken bestehen die Vulkane aus vulkanischen Tuffen, d. h. aus leicht zusammengebackenen und verkitteten Lavasandmassen (Aschen), aus kleineren und grösseren Auswürflingen des Vulkanes. Bei Eruptionen

reissen sich Spalten in diese Bergmasse, und darin steigt heissflüssige Lava auf. Die Spalten ausfüllend erstarrt sie zu fester compacter Steinmasse, sogenannten Gängen. Die Gänge verwittern viel schwerer als der sie umgebende Tuff. Der letztere tritt zurück, wo er der Verwitterung ausgesetzt ist, und wie hohe Mauern bleiben dann die zahlreichen Gänge frei aufrecht stehen. (Siehe Fig. 10). Aehnlichen Gängen einer älteren Zeit, die die weichen Kalke und Schiefer in den Umgebungen des Christianiafjordes durchbrochen haben, verdanken die meisten Inseln in jener Meerbucht ihre Erhaltung. Ueberhaupt sind die Küsten reich an merkwürdigen Zerstörungsformen der Gesteine - allein wir können hier für diessmal nicht so weit von unserem Thema, den Gebirgen, abschweifen. Manche der schönen kegelförmigen Berge aus vulkanischen Gesteinen (Drachenfels am Rhein und die Höhgauer Kuppen mögen statt hunderten als Beispiele gelten, siehe Fig. 11) waren ursprünglich ganz in Tuffmassen vergraben, bis der Verwitterungsabtrag sie bis heute ganz oder erst theilweise herausmodellirt hat; er hat aber, als wollte er den Geologen einen Gefallen thun, oft noch hoch oben an den schönen Kuppen kleine Reste der Tuffmassen am festeren Gestein unzerstört ankleben lassen - zum Beweis, dass einst der Tuff bis oben alles umhüllt hielt. Aber auch die Alpen sind reich an Beispielen wo die Ungleichheit im Verwitterungsabtrag Berge geschaffen hat. Aus einer Umgebung von rundlich sanft geformten Bergrücken ragen die beiden Mythen, ragen die Schienstöcke, Roggenstock etc. sehr scharfzahnig, kühn und frei hervor (siehe Fig. 12). Sie selbst bestehen aus festen Kalkfelsen, die sanften Wellenformen an ihrem Fusse aber ans sehr leicht verwitterbaren Schiefem (eocenen, Flysch). Dass die Verwitterung diese scharfen Gestalten allmälig aus einem früher viel höher umhüllenden Mantel von Flyschschiefern blossgelegt hat, ist zweifellos, ihre festen Kalksteinmassen liegen nicht als Decke auf dem Flysch, sondern haben unter demselben ihre Wurzel.

Schutthalden. Wenn wir auf einem »wilden« Grate oder einer Spitze schweigend weilen, so vergeht wohl keine Minute, dass nicht unser Ohr das Rollen und Poltern von fallenden Steinen wahrnimmt, selbst bei ganz ruhiger schöner Witterung. Es gibt Stellen, wo keine Minute vergeht, ohne dass losgelöste Steinstücke fallen, und wo es aus diesem Grunde unmöglich oder mit der grössten Gefahr verbunden ist, hinzukommen. Nach nasser Witterung findet man oft in einer Grashalde bald unterbrochene, bald ununterbrochene

Furchen von hoch oben bis weit unten gezogen. Dort an ihrem unteren Ende liegen einige Steinblöcke; sie sind es, die in sprungweisem Fall und rasch sich drehend den Boden auf ihrem Wege aufgerissen haben. Von den Schafen, die nach jeder Sömmerung von einer Heerde vermisst werden, sind die meisten von herunterfallenden Gesteinstrümmern erschlagen worden. Selbst vom Rindvieh, das man nur an die weniger »wilden« Weideplätze führt werden nicht selten einzelne durch Steine erschlagen. Die Weidethiere selbst befördern freilich das Steinefallen, indem sie durch ihren Tritt lose Steine ins Rollen bringen; der vorsichtige Gebirgswanderer macht lieber einen weiten Umweg, als dass er unter Ziegen oder Schafen durchginge, die auf steiniger, steiler Alpe grasen. Die Schneelauinen bringen in Masse Erde und lose Steine zur Tiefe. Sind sie, im Thale liegend, halb geschmolzen, so dass sich auf ihrer Oberfläche aller der Schutt gesammelt hat, der in dem oben weggeschmolzenen Schnee eingeschlossen war, 50 sehen sie meistens so schmutzig aus, dass man sie für blossen Gesteinsschutt halten könnte, und erst unter einer dichten Schuttschichte liegt noch der Schneerest. Tritt ein heftig Regenwetter ein, dann werden in wenig Minuten alle die kleinen Rinnen, die unbedeutendsten Furchen wasserreich, und dick braungelb oder schwärzlich wie ein Schlammstrom wälzt es sich überall zur Tiefe. Weit über den Wasserfall hinaus fliegen die Steine, die der Bach mitgerissen hat, und im eilenden Wasser hört man das dumpfe Zusammenschlagen der mitgeschleiften Blöcke deutlich aus dem Gebrause heraus. Da beginnen die Wildbäche ihr Spiel, sie graben die Sohle ihrer Schluchten tiefer ein, unterwühlen die Gehänge, so dass diese nachgleiten müssen, und die Schluchten weiter aufwärts sich verzweigend das Gebirge immer mehr anschneiden. Noch mehr Verheerung aber richten sie in dem Gebiete an, wo sie, weil das Gefälle und damit ihre Geschwindigkeit abgenommen hat, einen grossen Theil des mitgerissenen Materials wieder ablagern müssen. Sie verstopfen sich dadurch den Weg und treten über die bebauten Gefilde im unteren Theile ihres Gebietes aus. In den weiten Hauptthälern häufen sie ihren Schutt in Form von Schuttkegeln an. Diese paar Worte nur um anzudeuten, welche Rolle im Verwitterungsprocess ganzer Gebirge das zu Bächen und Flüssen gesammelte Wasser spielt. Die Erscheinungen der Wildbäche und Flüsse können wir nicht mehr in den Rahmen unseres Bildes, das der Verwitterung durch die Ätmosphärilien und nicht der Erosion durch fliessende Gewässer gewidmet sein soll, ziehen.

Die Trümmer der Gesteinsmasse von den hohen Gräten und Gehängen, dabei sind wir stehen geblieben, gelangen zur Tiefe - sei es durch freien Fall oder mit Hülfe von Lauinen und Wassern. Da, am Fusse der steilen Abstürze häufen sie sich zu »Schuttkegeln« und »Schutthalden« an. Findet der herunterstürzende Schutt durch eine enge Rinne den Ausweg in ein weites Thal, so häuft er sich dort zu einem der Bergmasse angelehnten kegelförmigen Gebilde an, dessen Spitze an der Mündung der Schlucht, durch die die Trümmer herunterstürzen, liegt. Für jede Formbeschaffenheit der Trümmer gibt es eine Maximalböschung, und diese nimmt der Schuttkegel an. Beim Wachsen der Schuttmasse bleibt sich diese Böschung gleich, die neuen Trümmer verbreiten sich über der ganzen Oberfläche, der Schuttkegel gewinnt an Basis und seine Spitze wächst immer höher in die Rinne hinauf, aus der die Trümmer kommen. Weil eine grosse Masse in Bewegung weniger leicht zum Stillstehen zu bringen ist als eine kleinere, so haben wir am Fuss des Kegels mehr die grossen Gesteinstrümmer, gegen die Spitze die kleineren. Fallen die Trümmer an vielen Punkten auf den weniger steilen Boden hinunter (überall oder durch zahlreiche Rinnen), so bildet sich eine Schutthalde. Schutthalden sind gewissermassen durch Verwachsen vieler Schuttkegel entstanden (siehe Fig. 13). Es gibt Schutthalden und Schuttkegel, deren Materialien so lose liegen, dass ein Fusstritt am untersten Theil die Trümmer bis zu oberst ins Nachrutschen bringen kann. Schutthalden sind daher oft sehr mühsam und nicht immer gefahrlos zu ersteigen. Je gröber und eckiger die Trümmer, desto steiler kann die Halde sein. Die echten Schutthalden, die ohne wesentliche Mitwirkung eines Baches sich bilden, haben Gefälle von 15° bis höchstens 40°, welche letztere Böschung schon sehr selten ist. 30° ist das Gewöhnlichste. Immer aber ist die Maximalböschung einer Schutthalde geringer als diejenige des Gesteines, aus dessen Zertrümmerung sie entstanden ist. Die nicht trockenen Schuttkegel der Wildbäche und Flüsse haben eine Neigung zwischen 30 und 30°, das Gewöhnlichste sind 5° bis 10°, sie sind also weniger steil als die trockenen Schutthalden und Schuttkegel, und ihre Materialien sind durch Feuchtigkeit und Schlamm so verbunden, dass sie niemals durch einen Tritt in's Gleiten kommen.

Wenn grössere Gesteinsmassen auf einmal im Gebirge sich lostrennen und zur Tiefe gleiten oder rollen, so nennt man das einen Bergsturz. Es vergeht wohl kein Jahrzehnt in den Alpen, ohne dass nicht irgendwo durch

einen Bergsturz eine Alpe mit Vieh oder ein Dörfchen verschüttet wird, gewöhnlich fallen deren mehrere auf diesen Zeitraum. In jedem Alpenthale fast erzählt man sich, dass unter dieser oder jener Trümmermasse, seien es Häuser, sei es eine Viehheerde begraben liege, und können die Leute auch nicht mehr angeben, in welchem Jahre das geschah – haben sie es auch nur von ihren Grosseltern erzählen gehört, so enthält die Angabe doch meistens nachweisbar die Wahrheit oder doch wenigstens viel Wahrscheinlichkeit. Wirken doch alle erschreckenden Dinge lebhaft auf die Einbildungskraft, so knüpfen sich oft weitgesponnene Sagen an solche alte Bergstürze, und wo die Sagen verschwunden sind, da ist oft noch ein sonderbarer Name zurückgeblieben. »Teufelsfriedhof« heisst beispielsweise das Trümmerfeld eines alten Bergsturzes nördlich der Teufelshörner (Glaridengrat) ob dem Urnerboden. Als wären lauter Grabsteine hier regelmässig gesetzt worden, ragen die zahllosen grösseren Blöcke aus der übrigen grün bewachsenen Schuttmasse heraus.

Grosse Bergstürze waren unter vielen andern: Am Fusse des Berges Grammont am Genfersee wurde 563 eine römische Stadt von einem Bergsturze zerstört. Am Ausgang des Brennothales im Tessin stürzte den 30. Sept. 1512 eine grosse Bergmasse. Der reiche Flecken Plurs im Bergell wurde am 4. Sept. 1618 verschüttet. 1714 und 1749 stürzten mächtige Massen von den Diablerets und verschütteten im ersteren der beiden Jahre 120 Alphütten, 130 Stück Vieh, 18 Menschen und viel Wald und Weide. 1762 und 1763 fielen Bergstürze nahe Ober-Urnen im Kanton Glarus. 1794 fiel eine Bergmasse zwischen Ferrera und Canicul. Im Frühling 1805 zerstörte ein »Bergschlipf« Busserein im Prättigau. Am 2. Sept. 1806 fiel der grosse Bergschlipf von Goldau und zerstörte 5 Dörfer u. s. w., u. s. w.

Ist das Gestein leicht zertrümmerbar, sind es weiche thonige Schiefer oder überhaupt Thonmassen, die lange durchnässt worden sind, so erhält der Bergsturz mehr die Gestalt eines Schlammstromes, eines dicken Schlammbreies, in dem Felstrümmer liegen. Durch einen solchen Schlammstrom wurde 1673 Casaccia zum Theil zerstört; im Juli 1795 floss langsam während 14 Tagen eine Schlammmasse über das Dorf Wäggis am Vierwaldstättersee und zerstörte es gänzlich; 1797 richtete bei Brienz ein Schlammstrom grosse Verheerungen an, 1835 einer in den Wäldern von Lavey, welcher von der Dent du Midi herkam; 1867 litt Bilten im Kanton Glarus von Bergsturz und Schlammstrom stark u.s.w.

Die so furchtbaren Einzelerscheinungen grosser Bergstürze sind aber doch für die ganze Gebirgsverwitterung von viel geringerer Bedeutung als die immer und ununterbrochen in kleinerem Massstabe vor sich gehende Zertrümmerung.

Auch im Innern der festen Erdkruste können Bergstürze entstehen, Trümmerhaufen sich bilden. Gesteine wie Steinsalz, Gyps, Kalkstein, Dolomit, sind von Sickerwasser löslich. Das Wasser, das auf Spalten eingedrungen ist, kann in gelöstem Zustand allmälig so viel dieser Gesteine durch die Quellen fortführen, dass grosse Höhlungen entstehen, die endlich einstürzen. Geschieht dies in beträchtlicher Tiefe, so wird an der Oberfläche blos eine Art Erdbeben fühlbar. (Erdbeben von Visp 1855, viele Erdbeben von Eglisau am Rheine, unter welchen Orten Gyps oder Steinsalz liegt). Geschieht es nahe der Oberfläche, so senkt sich diese trichterförmig ein, es entsteht ein »Erdfall«. In den Umgebungen des Haar, des Teutoburgerwaldes, des Harzes, sind das häufige Erscheinungen. Für die Gipfelformen der Hochgebirge haben sie nicht sehr viel Bedeutung, wir treten nicht näher auf dieselben ein.

Stadien der Verwitterung. Nun aber wann und wie wird aller Verwitterung und Erosion ein Ende sein? Die Verwitterung strebt die Erde einem Zustande mechanischen und chemischen Gleichgewichtes zuzuführen, einem Zustand, da alle Unregelmässigkeiten, Höhen und Tiefen sich ausgeglichen haben werden, und alle Gesteine in Reste zerfallen sein werden, die chemisch nicht mehr von den Atmosphärilien verändert werden können. Je näher diese es schon solchem Gleichgewichtszustande gebracht haben, desto weniger stark sind durch Gegensätze die verwitternden ausgleichenden Kräfte gespannt, desto weniger energisch werden sie wirken. Es wird sich daher die Erde ihrem Verwitterungsziel immer langsamer und langsamer nähern. Freilich Kräfte, die ihren Sitz nicht in der wässerigen und nicht in der atmosphärischen Hülle, sondern wohl eher tief unter der uns bekannten äussersten Rinde der Erde haben, bewirkten bis heute immer neue Unebenheiten - manche Landstriche versenken sie, andere heben sie zum Gebirge empor. Sie lassen die Verwitterung nur local und vorübergehend ihr Ziel erreichen, aber nicht allgemein und dauernd auf der ganzen Erde, es sei denn, dass diese Kräfte aus dem Erdinneren nach und nach ermüdeten. Aber abgesehen von denselben, wird die Verwitterung nach der Entfernung von ihrem Ziele verschiedene Grade von Energie unterscheiden lassen, und wir werden

diese alle in der ganzen Reihe von Formen und Umständen finden die eine Gebirgsmasse durchläuft, bis sie vom Hochgebirge zur Ebene geworden ist. Schon die fortdauernde Verwitterung macht es einleuchtend, dass die höchsten Gebirge eher die jüngsten als die ältesten sind. Alpen, Himalaja, die Cordilleren Südamerika's gehören in der That zu den jüngsten Gebirgen, sie sind viel jünger als die meisten Gebirge Deutschlands, als Skandinavien, die Alheganies. Die Verwitterungsstadien in den obersten Theilen der Berge werden von der Umspülung des Fusses durch Wasser stark beeinflusst. Noch muss Eingangs erwähnt werden, dass das, was wir als Maximalböschung bezeichneten, für eine Felsart nichts constantes ist, sondern nur für ein gewisses Verwitterungsstadium derselben. Im frischesten Zustande des Gesteines ist sie am grössten, mit einbrechender Gefügelockerung durch chemische Zersetzung der Bestandtheile nimmt sie ab. Bei Aufzählung der folgenden Stadien der Verwitterung wollen wir immer eine kurze scharfe Charakteristik etwa nöthigen weiteren Ausführungen vorangehen lassen. Wir beginnen bei der lebhaftesten Verwitterung und Erosion und sehen dann zu, wie diese sich verlangsamt, je näher sie dem Ziele rückt:

I. Die Gehänge werden untergraben, stellen sich in die Maximalböschungen des ziemlich frischen Gesteins, die Zuschärfung der Kämme schreitet nur von unten nach oben vor. Die Formen werden kühner. Das ist das Stadium lebhaftester Zertrümmerung, das Stadium der **gesteigerten Maximalböschungen**. (Vergleiche Fig. 14).

Diesen Fall haben wir vor uns, wenn die Erosion die Thalfurchen tiefer einschneidet, oder aus andern Gründen die stärkste Zerstörung am Fuss der Gehänge nagt, wo vielleicht eine sehr leicht zerstörbare Gesteinsmasse liegt. So schnell wie die Untergrabung müssen die Profile der Berge zurückweichen. Die fortwährend wieder am Grunde sich bildenden localen Uebersteilheiten müssen sich rasch aufwärts bewegen. Geht die Untergrabung so schnell vor sich, dass die Profile der Abhänge schneller als die Rindenauflockerung bergeinwärts wandern müssen, so werden die tieferen noch frischeren Gesteinsmassen angebrochen. Diese sind resistenter, haben eine höhere Maximalböschung, die Steilheit der Formen steigert sich auf's höchste. In diesem ersten Zustande allerlebhaftester Erosion und Zertrümmerung können am ehesten senkrechte Wände entstehen und dauern, so lange das Stadium I sie erhält. Das Thal

verbreitert sich auf bestimmtem Niveau, manchmal vertieft es sich noch dazu, die Berge schwinden. Am Grunde der Gehänge kann sich keine Schutthalde von Bedeutung anhäufen, so lange Stadium 1 dauert. Es ist möglich und kommt vor, wenn auch selten, dass dies Stadium anhält, bis die Berge zwischen den Thalrinnen gänzlich geschleift sind.

Im Stadium I befinden sich jetzt beispielsweise: Die Gehänge bis hoch hinauf zu beiden Seiten der Reuss vom Urnerloch bis Geschenen; die meisten schneidigen Kämme die hoch über die Schneelinie ragen, wenigstens wo sie kein Schnee und Eismantel schützt (vergleiche pag. 14 unten); viele Abhänge der Wildbachschluchten (Falätsche am Uetliberg).

II. Wenn die Untergrabung gegen die Verwitterung im Rückstand bleibt, d. h. ein Ende hat, sinken die Böschungen immer mehr unter die Maximalböschung des frischeren Gesteines, die Formveränderung der Bergkanten geschieht nicht nur von unten nach oben, sondern zugleich von oben nach unten. Die Kühnheit der Formen nimmt ab. Am Fuss der Gehänge häufen sich Schutthalden an. Das ist ein Stadium viel langsamerer Zertrümmerung, das Stadium der verminderten Maximalböschungen. (Vergleiche Fig. 15).

Die Verwitterung eines Abhanges tritt aus dem ersten in dieses zweite Stadium, sobald keine Unterhöhlung der Gehänge mehr stattfindet, oder doch keine solche, die schneller wäre als die Verwitterung an irgend einer beliebigen Stelle des Gehänges. Sobald das Rückwärtsdrängen des Stadiums I etwas nachlässt, so hat der Fels in allen Höhen mehr Zeit, sein Gefüge zu lockern als vorher. (Im Gebirge überwiegt die Frostzerstörung noch in diesem Stadium sehr bedeutend die chemische, die gelösten Trümmer bestehen aus chemisch oft noch ziemlich frischem Gestein). Die Böschungen nehmen ab, anfangs ziemlich rasch, nachher langsamer. Durch Formveränderungen, die von oben nach unten sich bewegen, sinkt die Böschung selbst unter die diesem Verwitterungszustand des Gesteines entsprechende Maximalböschung. Während in den Maximalböschungen kein Abhang lange stabil bleiben konnte, gewinnen nun die Abhänge mehr Stabilität, die Formveränderungen, die nun noch vor sich gehen, sind wie ein Stillstand gegenüber denjenigen im Stadium I. Die scharfen Ecken, Kanten und Gräte des Gebirges werden stumpfer und runder. Während Stadium I die Formen immer kühner gestaltete und der Vegetation sehr feindlich in den Weg trat, hat es Stadium II vielmehr auf ihre Milderung

abgesehen, und hat es eine Zeit lang gewirkt, so breitet sich der Pflanzenteppich weiter über die von ihm bearbeiteten Flächen aus. Nun hat auch die trägere chemische Verwitterung Zeit, etwas in's Werk zu setzen; nur auf Gehängen, die aus der Labilität (Unsicherheit), die auf der Oberfläche von Maximalböschungen ist, herausgekommen sind, können sich Karren, Blockgipfel und Aehnliches bilden. Am Fuss der Gehänge häufen sich Schuttkegel und Schutthalden an, und wenn diese kein Gewässer bespült, das den Schutt wie in Stadium I immer noch weiter wegreisst, so können sie sich unbegrenzt erweitern. Die Schuttkegel rings um einen Bergstock verschmelzen allmälig zu einem zusammenhängenden Ring von Schutthalden. Der Gipfel des Berges sinkt durch fortschreitende Verwitterung, die Spitzen der Schuttkegel aber steigen, und das kann so fortgehen bis endlich beide sich berühren. Was von der früheren Bergoberfläche vom wachsenden Schuttmantel umhüllt ist, das ist auch dadurch vor Verwitterung, oder doch vor dem Lostrennen und Weggehen der Verwitterungskrusten geschützt – jetzt ist der verwitternde Berg gänzlich unter seinen eigenem Schutt getaucht (vergleiche Fig. 15, C).

In diesem Fall geht die Masse aus Stadium II sogleich in Stadium IV über. Meistens aber kann der Schutt nicht so ungestört am Fusse des Berges sich anhäufen, meistens reicht auch seine Masse nicht aus den ganzen Berg zu vergraben, es bleibt am Ende von II eine abgerundete Bergmasse stehen, die aus schuttbedecktem Fuss hervorschaut, und deren Gehänge noch eine Spur steiler sind als diejenigen der Schutthalden - dann sind wir am Uebergang zu Stadium III (Fig. 15, D).

Beispiele: Im Uebergang von I auf II, oder doch mehr im Anfang des Stadiums II befinden sich im grossen Ganzen die Gehänge des Reussthales von Geschenen bis Amstäg. Weiter im Stadium II vorgerückt sind die Gehänge des Reussthales von Amstäg bis zum Vierwaldstättersee (local freilich finden wir in diesem Gebiete auch Stadium I und öfter schon Stadium III).
Das Urserenthal und die Gotthardgruppe, einzelne hohe Kämme abgerechnet, befinden sich im Stadium II und auch 111. Hier ist die Thalbildung und Verwitterung im Vergleich zur Schöllenen zur Ruhe gekommen*), alles hat das Gepräge des Uralten, und wenig mehr sich Verändernden angenommen.

*) Vergleiche z. B. L. Rütimeyer, Thal- und Seebildungen 1869, pag. 40 bis 45.

Viele ältere Gebirge, wie das Riesengebirge, befinden sich zu vielleicht 90% ihrer Oberfläche oder noch mehr in den Stadien II und III.

III. Das Gestein löst sich gänzlich in Trümmer auf, die Böschungen sinken auf die Maximalböschungen der Schutthalden und darunter, die Schutthaldenbildung hört auf, die Formveränderungen ohne Mithülfe des fliessenden Wassers geschehen niemals mehr von unten nach oben fortschreitend, und erreichen ihr Ende. Das ist das Stadium **der Schutthaldenböschungen**. (Vergleiche Fig. 16).

Während des vorhergegangenen Zustandes haben sich die Böschungen mehr und mehr vermindert, das Gestein hatte Zeit, sein Gefüge stark zu lockern. So lange es nicht in lauter ganz lose getrennte Stücke fiel, so konnte es noch bei steilerer Böschung halten als derjenigen der trockenen Schutthalden, und so lange rollten die ganz gelösten Stücke über den Abhang hinunter und vergrösserten die Schutthalden. Endlich aber ist das Gestein gänzlich schuttartig geworden, die Böschung hat sich auf diejenige der Schutthalden als Maximum gesenkt; im Bestreben stabiler zu werden, sinkt sie langsam noch etwas, und nun tritt mehr und mehr eine Ruhe ein, welcher das Verwitterungsleben in der Mitte des Stadiums II gerade so gegenübersteht, wie dieses demjenigen von Stadium I. Kein Schutt poltert mehr zur Tiefe, die Schutthalden wachsen nicht mehr, sie suchen ein Gefälle anzunehmen, das etwas geringer und stabiler ist als ihr bisheriges, die Gesteinstrümmer verwittern zu Erde, zu sandigem oder thonigem Boden, die äussere Gestalt der Massen ändert sich wenig mehr, die Vegetation dringt über die Schutthalden vor. Chemische Verwitterung kann die Gesteinsmasse langsam umwandeln, die unlöslichen Umwandlungsproducte bleiben aber liegen wo sie entstanden sind, es bilden sich Thonlager, Porzellanerdelager (Kaolin) etc. daraus, es bilden sich Felsenmeere, oder mit den Resten der Pflanzen gemischt, Ackererde. Das Gebirgsland ist ein Hügelland geworden. Immer tiefer hinein dringt die Verwitterung, immer kleiner wird der Kern frischen Felsens, der im Innern des Hügels noch verborgen liegt. (Vergleiche Fig. 16, B).

Hiermit hätten, so lange auch die chemischen Verwitterungen noch andauern möchten, die Formveränderungen ein Ende, wenn nicht das fliessende Wasser Schutt noch bei einem Gefälle zu transportiren vermöchte, das weit weit unter den Schutthaldenböschungen liegt.

IV Für fliessendes Wasser sind die verminderten Schutthaldenböschungen von Stadium III noch übermaximal, das Trümmerhügelland wird von einem Schluchtensystem angerissen, das sich mehr und mehr ausbildet, in seiner Bildung wiederholt, und endlich alle Böschungen den geringsten Böschungen nasser Flussschuttkegel nähert. Das ist das Stadium der secundären Verwitterung oder der **Flusskegelböschungen.**

Innerhalb der Erosion durch die fliessenden Gewässer könnten wir wieder 3 den 3 Stadien der trockenen Verwitterung ganz entsprechende Zustände unterscheiden, wenn dies in solcher Ausführlichkeit noch in unser Thema gehörte – wir fassen hier unter IV die gesammte Erosion durch fliessendes Wasser zusammen.

In diesem Stadium IV ist das höchst mögliche Gefälle gleich der höchsten trockenen Schutthaldenböschung, es sei denn, dass der alte Schutt unterdessen sich zum festen Gesteine verkittet habe. Da Wasser immer mitwirkt, so finden wir in jedem Gebirge, das im Ganzen in einem der früheren Stadien sich befindet, auch Stellen, die zur Zeit im Stadium IV sind, Stellen, die geringere Böschungen zeigen, als die verminderte Böschung trockener, stark verwitterter Schutthalden. Mit mancher flachen Terrasse der Alpweiden steht es so, die Sohle jedes grösseren Thales ist in diesem Zustande, während die Abhänge zu beiden Seiten in den früheren Stadien sich befinden.

In jedem Gebirge findet man an verschiedenen Stellen alle diese 4 Zustände mit ihren Uebergängen ausgesprochen. Keines der Stadien läuft vollkommen zu Ende bevor die folgenden eintreten. Aber in jedem Gebirge ist einer dieser Zustände der Vorherrschende und prägt ihm den Charakter auf — im jüngeren Gebirge herrschen die ersteren, im älteren die letzteren Stadien vor. Mit welchem Stadium bei einem Gebirge die Verwitterung beginnt, das hängt von der ursprünglichen Form der Berge ab. Beim Plateaugebirge (Erosionsgebirge pag. 4) müssen zuerst die Gewässer Einschnitte machen, bevor Stadium I beginnen kann, da beginnt und endigt die Verwitterung mit Stadium IV. Auf den ursprünglichen flachen Rücken zwischen den Thälern können sich Felsenmeere bilden, kann das Gestein in feinen Staub und Sand, der ruhig liegen bleibt, sich auflösen, während an den Gehängen der Thäler die frische innere Gesteinsmasse angerissen wird. Die Verwitterung beginnt gewöhnlich mit dem Stadium, dessen Böschungen

den ursprünglichen Böschungen der Berge gleich sind, wobei freilich noch zu bemerken bleibt, dass die Hebung eines Gebirges langsam geschieht, und Verwitterung schon lange gleichzeitig mit der Hebung wirkte, bevor letztere aufgehört hat. Die Verwitterung ist allgegenwärtig, sie fehlt an keiner Stelle der festen Erdoberfläche, an allen Formen, die wir sehen, hat sie modellirt. Aber desswegen sind doch die Bergformen nur selten reine Verwitterungsformen, sie hängen auch ab von der Gestalt und der Art, in der die Gebirge von den inneren Kräften gehoben worden sind; denn diese Gestalt hat der Verwitterung die Art, wie sie anzugreifen hat, vorgeschrieben. Und nicht nur das: in der Bergform selbst ist oft und viel noch eine Spur der ursprünglichen Form unverändert geblieben. Wir haben ein flaches Dach, dem ausser einigem Abtrag und etwa einer Karren- oder Felsenmeerbildung nichts geschehen ist - es ist ein flaches Dach geblieben; oder wenn wir den grösseren Verlauf überblicken, da sehen wir z. B. bei den Alpen eine Anordnung in Ketten, die trotz aller Durchbrüche, aller Zerstückelung und Durchfurchung doch noch eine scharf ausgesprochene Anordnung in Ketten geblieben ist. Diejenigen einzelnen Berge sind freilich zahllos, an denen wir nur durch Gesteinslagerung beeinflusste Verwitterungsform wahrnehmen können - aus der Gestaltung ganzer Gruppen aber erkennen wir meistens auch noch bei sehr alten verwetterten Gebirgen den Charakter der ursprünglichen Formen (ob Einzelberge, breitrückige oder schmalkantige Kettenberge, Plateauberge). In manchen Gebirgen ist es leicht, in andern fast unmöglich, diejenigen Stellen der Oberflächen zu bezeichnen, deren Gestaltung eine ursprüngliche ist, gegenüber den blossen Verwitterungsformen. Manche Gebirge oder Gebirgstheile (die meisten inneren Alpenkämme) haben gar keine solchen mehr.

Im Verlauf der Uebergänge von Stadium I bis zu Stadium IV wird die Verwitterung immer ruhiger, immer langsamer, die Veränderlichkeit nimmt ab, die Stabilität zu und damit nimmt im Allgemeinen auch die Bewachsung zu. Es nimmt die Formveränderung der Gehänge, die unten beginnt und sich aufwärts verlängert, ab, diejenige die von oben wirkt, nimmt zu. In den höchsten Regionen eines jungen Hochkettengebirges (Alpen) herrschen die ersteren, in den tieferen Theilen die letzteren Stadien vor. In den ersten Stadien ist die Verwitterung eine wesentlich trockene*), wenn auch an der

*) Dieser Ausdruck soll nur bezeichnen, dass Bäche und Flüsse nicht dabei sind, schliesst aber nicht den Gedanken an Nässe aus.

Untergrabung ein Fluss Schuld sein kann. Es gibt in den höchsten Regionen der Alpen wilde Kamine und Schluchten, die nur der trockenen Verwitterung dienen, nur durch sie gegraben sind und selbst nach starkem Gewitterregen kaum ein unbedeutend Bächlein führen. In den späteren Stadien tritt mehr und mehr die trockene Verwitterung zurück, die Wirkung der Bäche und Flüsse nimmt zu. Wie an steilem Gehänge die übersteilen Stellen, so wandern auch im grossen Ganzen im Laufe der Jahrhunderttausende die verschiedenen Verwitterungsstadien von aussen immer weiter gegen den Kern des Gebirges hinein, die ersteren Stadien schneller, die letzteren folgen nach. An den Gehängen der letzten, höchsten, fernsten Schluchtverzweigungen herrscht Stadium I vor, wenig unterhalb folgt II - an der Mündung des gesammelten Stromes, in dessen Ebene und in dessen flachem Delta ist nur das Ende vom letzten Stadium zu finden.

Das Schicksal führt viele Gebirgsmassen nicht ein für allemal durch alle diese Stadien; eine neue Hebung des Landes, eine Veränderung im Flusssystem kann, nachdem eines der vorgerückteren Stadien erreicht war, das erste wieder eintreten machen, und ein ähnlich Schicksal geht wiederholt über die gleiche Gebirgsgruppe. Hat einmal die Reuss beim Urnerloch sich tiefer in den Felsendamm gesägt, so vertieft sie auch im ganzen Urserenthal ihre Gerinne, und durch Gefällsvermehrung gleichzeitig diejenigen ihrer Zuflüsse. Untergrabung der Gehänge beginnt dann allmälig wieder, und die jetzt dort so wenig mehr regsame Verwitterung wird einst neu erwachen.

Viele Gebirge werden offenbar erst gänzlich flach geschleift, wenn mehrere Male ein neues Furchensystem von den fliessenden Gewässern gehöhlt worden ist, und dadurch die ersteren Stadien wiederholt auf's neue zurückgekehrt sind.

* * *

Wer in der freien Hochgebirgswelt draussen selbst die Umbildung der Bergformen durch die Verwitterung studiren will, der muss sich vorerst zur objectiven Auffassung der grossartigen Gebirgsformen durchringen, und das ist nur durch vieles Herumsteigen in der Gebirgswelt (und zwar nicht nur in den Fussstapfen eines Führers) und durch vieles Zeichnen im Gebirge allmälig zu erlangen. Was uns ganz fremd und neu ist in der Welt, davon trägt

unser Auge vom ersten Bekanntwerden fast niemals einen richtigen Eindruck mit. Es gilt dies vom geistigen Sehen wie vom leiblichen. Unsere bisherigen Ansichten und Umgebungen spiegeln sich zu stark in unserem Urtheil über das Neue ab. Der Contrast macht, dass in irgend welcher Richtung man übertrieben sieht, und wir haben in uns mit günstigen oder ungünstigen Vorurtheilen zu kämpfen - glücklich wenn unser Geist stark und seiner Gesetze bewusst genug ist, diese Klippe nicht zu übersehen und nicht mit dem ersten Eindruck sein Urtheil abzuschliessen. Es ist dies ein Beharrungsvermögen, eine Trägheit im Gebiet der geistigen Erkenntniss, in ihrem Wesen und ihren Erscheinungen sehr ähnlich der Trägheit der Massen, von der uns die Physik spricht. Erst müssen wir uns nicht gegen das Neue verschlossen haben, erst muss es einige Zeit auf uns einwirken, damit wir vom engeren individuellen Richterstuhl auf den allgemeineren steigen können, und je mehr verschiedene Dinge wir in der Welt kennen gelernt haben, je reiner und höher die Allgemeinheit des geistigen Blickes, zu der wir uns erheben können, desto vollkommener der Mensch. Wir müssen nach der Erkenntniss des Allgemeinen dringen und vom Philisterthum, d.h. dem Wesen, das im werthlosen Einzelnen sich herumtreibt, ohne nach dem Allgemeinen zu suchen, frei werden.

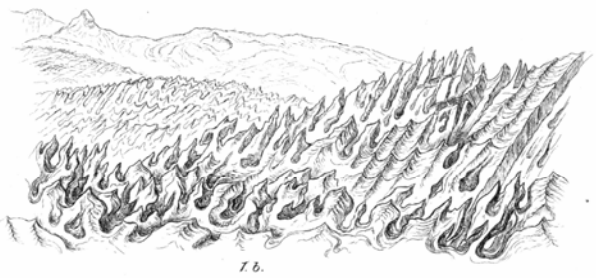
Das der überwältigenden Formverhältnisse der Hochgebirge ungewöhnte Auge sieht bei der ersten Gebirgswanderung, die von den guten Wegen etwas abseits geht, alles wie im Fieber. Es ist der Menschheit im Ganzen so ergangen, es ergeht jedem Einzelnen so. Im 18. Jahrhundert noch wurde eine Ersteigung des Uetliberges von jungen aristokratischen Stadtherrchen Zürichs mit Führern und Seilen als »gottversucht« gerichtet. Voll Entsetzen und Schrecken über die Gebirge und die traurige Existenz der Menschen in solchen Thälern flohen Flachländer ungefähr zur gleichen Zeit aus dem Bündtneroberland. 1764 schrieb ein damals berühmter deutscher Schriftsteller aus Altorf, das in weitem fruchtbarem Wiesengrunde liegt: »Altorf ist von entsetzlichen Bergen umgeben, und hat eine recht fürchterliche Lage«. Noch 1783 wurde von den Gebirgsleuten selbst auf dem Hospiz Gotthard, gegenüber Saussure, der Monte Prosa und alle diese Gipfel für unersteiglich erklärt *)

*) Näheres hierüber in Osenbrüggen, Wanderstudien aus der Schweiz II. Band.

Erst zu Anfang dieses Jahrhunderts (abgerechnet einige Naturforscher schon früherer Jahrzehnte) hatte der Schreck der Ebenenbewohner sich so weit gelegt, dass man zum ersten Mal einzelne Stellen als malerisch und schön zu bezeichnen anfing, was 50 Jahre früher selbst noch kein Maler, überwältigt vom Gefühl des Grauenhaften, im Stande war. Des Naturgenusses wegen reist man erst seit einem halben Jahrhundert in die Hochgebirge. Das hat rasch zugenommen bis heute, wo auf Gipfel, deren Ersteigung vor wenigen Jahrzehnten als Ausfluss von Wahnsinn galt, an schönen Sonntagen die Menschen in grosser Zahl hinsteigen, und der Gelehrte allein in den wilden Gräten und Schluchten der Schneeregion seinen Forschungen ruhig nachgeht, da, wo man früher hinzukommen höchstens dem Teufel zugetraut hätte.

Der der Gebirge noch wenig gewohnte täuscht sich immer in den Steilheiten der Böschungen. Alle, selbst die sonst besten Zeichner und Maler, die zum ersten Mal auf Hochgebirge ihre Kunst anwenden, übertreiben in ihren Darstellungen die Formen, machen sie alle zu hoch und zu steil, während der umgekehrte Fehler nie vorkommt - nie sieht's ihnen auf dem Papier wild und schaurig genug aus. Der Reliefmodelleur macht leider meistens absichtlich den gleichen Fehler, er übertreibt die Höhen, »weil es sonst nicht den richtigen Eindruck mache«, durch welchen Compromiss er freilich seine Unfähigkeit, die Menschen die richtige Auffassung zu lehren, kennzeichnet. Selbst Naturforscher, die sonst rascher als andere Menschen objectiv zu sehen die Uebung haben, zeichnen übertrieben. Wohl 95% der Abbildungen von Gebirgsgestalten, Vulkanen etc. in den sonst vortrefflichsten geologischen Lehrbüchern sind absolut unbrauchbar - nicht nur falsch - manchmal unmöglich, und man sei auf der Hut, aus solchen Abbildungen sich Vorstellungen zu schaffen. Wer nicht mit dem Hochgebirge durch vielen engen Umgang vertraut ist, dem macht manche Felswand, über die er hinunterschaut, den Eindruck als wäre sie fast vollkommen senkrecht, wenn sie eine Böschung von 45 bis 50° hat, und an Gehängen von 30° Steigung, die er auf 60° schätzt, geht er nur mit Bangigkeit und unsicheren ängstlichen Schrittes. Mit dem Begriff eines Abgrundes ist der Begriff des Herunterstürzens in seinem Gehirne so enge verknüpft, dass, so fest und eben auch der Grund unter seinen Füssen sein mag, er den Schauder, nahe an den Rand zu treten, nicht überwinden kann. Die Höhen in Zahlen oder die Entfernungen hingegen schätzt jeder Anfänger viel zu klein. Allmälig nur stärkt sich der

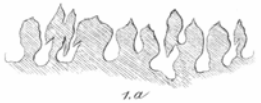
Geist, allmälig nur überwindet er das Gefühl des Grauens, des Schwindels, und sieht nach und nach die Gefahr nur noch da, wo sie wirklich ist, und erst von der Zeit an wird das Bild, das wir uns vom Hochgebirge machen, ein objectives, ein wissenschaftliches werden können.



1.b.

Fig. 1. Karren

a = Durchschnitt
b = Ansicht von Karrenfeldern



1.a



Fig. 2. Blockgipfel (Schwarzhorn 3207 m im Turtmannthal, Wallis)

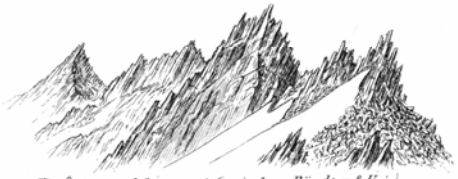


Fig. 3. c. am Aclettagrat (zwischen Bündten & Uri.)



Fig. 7 a. Druhsberg 2281 gesehen von Zürich (Sedimentgesteine fast horizontal)



Fig. 7 b. Glärnisch (Vrenelisgärtle 2906) vom Schwarzwald gesehen (Sedimentgesteine fast horizontal)



Fig. 7 d. Kamm des Erigelzerhornes (Sedimentgesteine steil aufgerichtet)

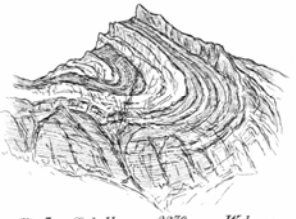


Fig. 7 c. Scheltkamm 2270 vom Walensee gesehen (Sedimentschichten gebogen.)



Fig. 6. Kuppenformen bei massiger Gebirgsart.



Fig. 5.
Allgemeines Querprofil
ab = Schneelinie.

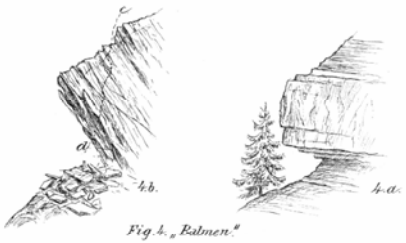


Fig. 4. „Balmen."



Fig. 8. b, Bietschhorn vom Weissenstein



Fig. 8. b, Fleckenstock 3418 vom Pizzo Centrale

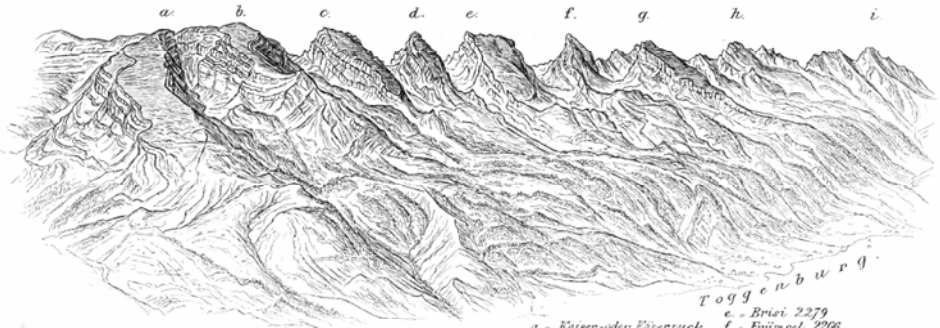


Fig. 3. Kuhfirsten (Charfirsten) gesehen von Sertig.

a = Kaiser- oder Eiserruck
b = Hinterruck 2984 m
c = Scheibenstoll 2903
d. = Tinstöll 2835
e. = Brisi 2279
f. = Frümsel 2206
g. = Selun 2207
h. = Scheerenberg 2194
i. = Leistkamm 2100



Fig. 8. a bis c = Formen der krystallinischen Schiefer.

Fig. 8. a. Bristenstock 3075 m. den 2. Febr. 1872 von der Alpe Oberkäsern gezeichnet.

Fig 2, 7a, 7b & 8, b, sind Copie nach S. Müller-Wegmann.

Druck v. C. Knüsli, Zürich.

gezeichnet u. gestochen von Albert Heim.

In Fig. 14, 15 & 16
= Anfangsprofil
= Zwischenprofile
= Endprofil des anstehenden Gesteines
Schuttmassen und in Schutt aufgelöstes Gestein.



Fig. 12. Mythen 1903 m gesehen vom Glärnisch
a = Kreidekalk b = Flyschschiefer.



Fig. 9 Granitthürme auf dem Riesengebirge.

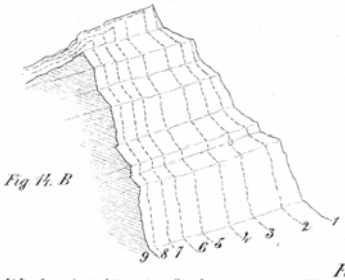


Fig. 14. B

B = Wiedereintritt von Stad. I nach Stad. II (1)

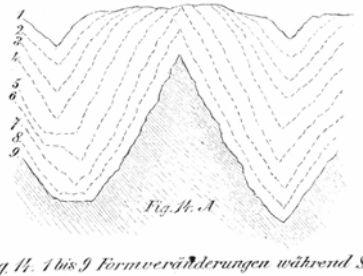


Fig. 14. A

Fig. 14. 1 bis 9 Formveränderungen während Stadium I.
A. bei Plateau beginnend.



Fig. 11. A. Altvulkanische Kegel a = alte Lava b = Tuff

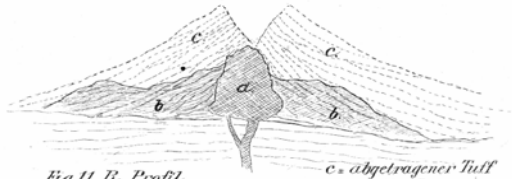


Fig. 11. B. Profil

c = abgetragener Tuff (alter Krater)

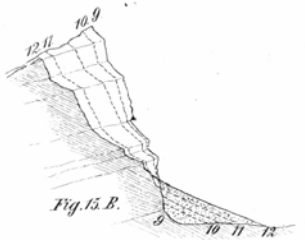


Fig. 13. B.

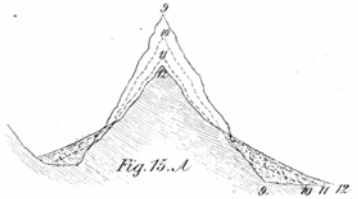


Fig. 15. A

Fig. 15. A & B. 9 bis 12 Formveränderungen während Stadium II.

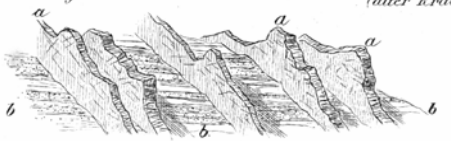


Fig. 10. Frei gewitterte Lavagänge im Val del Bove (Etna)
a = Lava, b = Tuff.

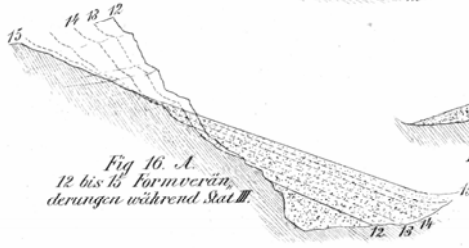


Fig. 16. A.
12 bis 15 Formveränderungen während Stad. III.



Fig. 15. C & D. Profile am Ende von Stad. II.

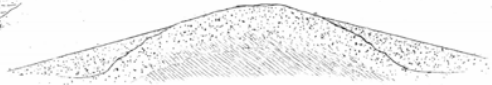


Fig. 16. B. Profil am Ende von Stad. III.



Fig. 13. Schuttkegel und Schutthalden.