

Ueber die  
Verwitterung im Gebirge.



Von

**Albert Heim,**

Professor am eidgenössischen Polytechnikum und der  
Universität in Zürich.



Mit 17 Abbildungen.



**BASEL.**

Schweighauserische Verlagsbuchhandlung.  
(Hugo Richter.)

1879.



Wenn ein Bewohner der Ebene oder hügeliger 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; er versuchte dort an einem scharf vorspringenden Felszahn zum Spass zu rütteln, ging dann weg, und dachte: „der ist für die Ewigkeit hingestellt“, und kehrte später nicht wieder an die gleiche Stelle zurück. Von seiner Heimath aus sieht er so lange er lebt in den gleichen Formen die fernen blauen Felsenberge am Horizont stehen, soviel sich auch unterdessen im Gemäuer seiner Stadt geändert haben mag.

Dem Gebirgsbewohner hingegen ist nicht der Fels, sondern vielmehr — moralisch und physisch — die von Menschenhand gebaute Mauer das Sinnbild des Festen und Unwandelbaren. Beispielsweise hört man im Kanton Uri oft Redensarten wie: „Das hat er geglaubt, so fest wie eine Mauer“, „auf diesen Fels darfst du schon treten, der hält wie eine Mauer“, dagegen: „das ist faul wie Felsen“. 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 nächsten Thauwetter im Frühling poltert der gelöste Fels mit vielen andern Gesteinstrümmern zur Tiefe. An den einzelnen Stellen der Schluchten, Abhänge, Gräte und Gipfel, die der Aelpler jahrelang

in der Nähe sieht, beobachtet er ein ewiges Sichverändern, bald langsam, bald erschreckend heftig und ruckweise — vielleicht sieht er Bergstürze, welche Weiden, Vieh und Menschen verschütten.

So ist es gekommen, dass die Festigkeit der Felsen so verschieden beurtheilt wird. Hätten uns die ersten Menschen, welche 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 dritten 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 Einzelperscheinung nicht ewige Gültigkeit zuzuschreiben.

Die hohen Berge alle sind einstmals nicht da gewesen. An Stelle der Alpen und vieler anderer hoher Gebirge fluthete tiefes Meer. Viele hohe Alpengipfel (Glärnisch, Tödi, Scheerhorn, Titlis, Wetterhorn etc. etc.) bestehen aus Gesteinen, die am tiefen Meeresgrunde sich gebildet haben und Schalen von ausgestorbenen Meerthieren einschliessen. Manche (Glärnisch, Bifertenstock etc.) sind dicht erfüllt von solchen Schalenresten. Die Vertheilung von Land und Wasser hat sich im Lauf der Zeiten gänzlich geändert. Mit Ausnahme der neueren und alten Vulkane war es stets eine Bewegung der scheinbar festen Erdrinde, durch welche die schon vorher gebildeten Gesteine später zum Gebirge aufgethürmt worden sind. In der Geschichte dieser Ge-

birge haben wir also zwei Vorgänge zu unterscheiden: 1) die Entstehung der Gesteine und 2) die Aufstauung derselben zum Gebirge. Es gibt Berge, welche bloß dadurch entstanden sind, dass eine zur Hochebene gehobene Gesteinsmasse von der Verwitterung und Erosion (Ausspülung durch Wasser) durchfurcht und dadurch in lauter einzelne Stücke (Berge und Gräbe) zerschnitten worden ist, die immer mehr zusammenschwinden, während die Thäler mit dem Alter weiter, länger und verzweigter werden. Solche Gebirge kann man Erosionsgebirge oder nach ihrer ursprünglichen Hebungsform Plateaugebirge nennen (sächsische Schweiz, ein grosser Theil des skandinavischen Gebirges und des Schwarzwaldes etc.). Andere Gebirge haben sich durch einen Horizontalschub in der Erde gebildet. Es wurde dadurch die Erdrinde in manchen Zonen zu einer langsamen Faltung gezwungen. Die Alpen sowie noch andere Kettengebirge sind ausserordentlich complicirte Falten-systeme. Die nach oben sich auskrümmenden Falten-theile bildeten von vorne herein Bergrücken, dazwischen entstanden die Längsthäler. Verwitterung und Erosion haben nicht nur diese Längsthäler oft ganz ihrer ursprünglichen Gestalt entfremdet, sondern sogar die Längskämme eingekerbt, zerstückelt und oft tiefe Querthäler durch dieselben geschnitten.

Wir wollen hier nicht näher untersuchen, wie die Berge entstanden sind, sondern nur wie, seit sie einmal sich emporgethürmt haben, Luft, Wasser und organisches Leben an ihren Formen beständig meisseln, — wie sie verwittern.

In der Ebene oder im sanftwelligen Hügellande bleiben die Producte der Verwitterung an der Stelle liegen, an der sie allmählig aus dem ursprünglichen frischen Stein

hervorgegangen sind. 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 Zusammenhalt 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 steil genug sind, kommen nicht selten Lawinen oder es kommt das Wasser zu Hülfe. Wasser kann Gesteinsschutt noch bei sehr geringem Gefälle, bei dem Gefälle der Thalsohlen mit Leichtigkeit fortschleppen; Bäche und Flüsse schaffen das meiste Verwitterungsmaterial allmählig ganz aus dem Gebirge heraus in die Vorlande und ihre Seen, in die Stromgebiete der Ebenen und endlich ins Meer in immer feiner zerkleinertem Zustande. So kommt es, dass im Gebirge immer wieder auf's Neue der frische Fels abgedeckt und dadurch die Berge neuer Verwitterung preisgegeben werden, so dass stets tiefer in das Innere des Gebirges und der einzelnen Berge hinein die Strukturverhältnisse blossgelegt werden und die Berge immer mehr zusammenschwinden.

Bei den allmählichen Formveränderungen der Bergmassen arbeiten sich zwei Vorgänge in die Hände: 1) Die Verwitterung im engeren Sinne, d. h. die Auflockerung und Zertrümmerung der Gesteine, und 2) die Erosion, d. h. die Ausspülung der abgetrennten Trümmer. Das erstere wird vorwiegend durch chemische Einwirkungen des Wassers und der Luft, durch Temperaturwechsel und durch Pflanzen, alles unter Mithülfe der Schwere betrieben, die letztere durch das in Bäche und Ströme gesammelte Wasser. Die Erosion exportirt die durch die Verwitterung am Gebirgskörper losgetrennten Splitter und fährt mit denselben gleichzeitig ihre Geleise immer tiefer aus. So entstehen

die tausend Rinnsale, die durch das seitliche Nachgleiten der verwitternden und untergrabenen Böschungen stets weiter werden und allmählig zu grossen Schluchten und zu Thälern sich ausbilden. Wir wollen diesmal hier nicht diesen Vorgängen auf den Exportationswegen, nicht der Erosion und Thalbildung, sondern der Verwitterung, also den Vorgängen der Gesteinszerstörung oben an den Abhängen und Kämmen nachgehen.

Die Verwitterungserscheinungen sind insofern ganz allgemeine, als wir sie in wenig modificirter Form in jedem Gebirge und zum Theil auch im Tiefland oder der Ebene wiederfinden. Unsere Beispiele wollen wir vorwiegend aus den Alpen nehmen. Wir betrachten zuerst die Verwitterung der Gesteine, dann die dadurch an den Bergmassen bedingten Formveränderungen.

So kräftig Blitz und Donner im Gebirge hallen, sind ihre Einwirkungen auf die Gesteine doch sehr unbedeutend. An den vorspringendsten Gesteinsecken mancher freistehender hoher Culminationspunkte findet man das Gestein an der Oberfläche oft auf handgrosse Flächen etwas angeschmolzen; das dunkle Glas, das dadurch entstanden, hatte sich vor dem Erstarren in mehrere kleine Tröpfchen zusammengezogen. An leichter schmelzbaren Gesteinen (wie Hornblendegesteine etc.) findet man oft solche Oberflächenschmelzungen, die zweifelsohne durch den Blitz hervorgebracht sind, viel häufiger, als in schwer schmelzbaren (wie quarzreiche Gneisse, Kalksteine etc.). Saussure fand sie in Hornblendeschiefern am Mont Blanc, Ramont auf dem Montperdu in Glimmerschiefer und dem Puy de Dome in Trachytporphyr, Humboldt und Boupland fanden auf dem Gipfel des Toluca eine verglaste Oberfläche von etwa  $\frac{1}{4}$  Quadratmeter, in welche mehrere inwendig verglaste Löcher

sich einsenkten. Escher von der Linth beobachtete auf dem Gipfel des Düssistockes (Maderanerthal), dass die kleinen Gesteinstrümmerchen zu kleinen Blitzröhren zusammengesmolzen waren. Heer fand Glastropfen auf dem Gipfel des Kärpfstock auf Sernftconglomerat und Thonschiefer. Seither sind sie noch an vielen Orten beobachtet worden. Auf dem Gipfel des Pizzo Centrale (Gotthardgruppe) habe ich einst sorgfältig jede Spur von solchen Blitzschmelzungen, die im dortigen Hornblendeschiefer sehr häufig waren, weggenommen; als ich aber wenige Jahre später den Gipfel wieder bestieg, waren bereits ziemlich viele neue entstanden. Es ist gänzlich unerklärt, warum man auf ganz ähnlich situirten Gipfeln oft keine Spur dieser Erscheinung finden kann (auf dem Düssistockgipfel ist sie häufig, auf dem Bristenstockgipfel fehlt sie). Abich nennt ein Gestein, welches er auf einem Berggipfel Kleinasiens ganz von Blitzschlägen durchlöchert, umgeschmolzen und umgewandelt fand, Fulguritandesit. Die Behauptung, welche man häufig im Gebirge hört, dass die Eisenkiesknollen, die nicht selten im Kalkstein und Thonschiefer liegen, das Geschoss des Blitzes seien, ist vollständig irrthümlich.

Die Vorgänge der Gesteinszerstörung sind bald chemische, d. h. solche, welche die Substanz selbst des Gesteines verändern, bald mechanische, d. h. solche, welche das Gestein in Trümmer auflösen ohne seine Substanz umzuwandeln. Gewöhnlich laufen chemische und mechanische Prozesse gleichzeitig neben einander, indem sie sich gegenseitig unterstützen. Als chemische Verwitterungsgentien sind Bestandtheile der Luft, und zwar Sauerstoff und Kohlensäure, ferner das Wasser und zum Theil auch Pflanzen zu nennen. Mechanisch wirken ebenfalls Pflanzenwurzeln, besonders aber der Temperaturwechsel. Weitaus der wich-

tigste Träger chemischer wie mechanischer Gesteinszerstörung ist das Wasser. Keine Gesteine sind vollkommen frei von Klüften, Fugen und Spalten. Wenn wir dieselben auch nicht offen finden, sind sie doch im Gestein vorgezeichnet: es sind Richtungen da, nach denen das feste Gestein sich leichter trennt, und in welchen Wasser leichter eindringt, als in anderen. Es findet auf diesen Wegen eine beständige Durchfeuchtung der Gesteine bis tief in die Gebirgsmassen hinein statt. Die Gebirgsfeuchtigkeit zieht sich an einzelnen Stellen wieder zu lebhafteren Wasseradern zusammen, während auf tausend Wegen eine beständige Erneuerung derselben eintritt.

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 und dabei nicht selten noch andere Bestandtheile absorbiert und gelöst in sich. Der Kohlensäuregehalt macht die eindringenden Wasser 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 unbegrenzt 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 unlöslich. Als Geologen aber werden wir sagen, das Experiment im Laboratorium beweise nichts, denn auf so schwache Lösung wirken die Reagentien nicht mehr sichtbar, oder der Verdunstungsrückstand war zu gering, um dem Auge wahr-

nehmbar zu sein; lassen wir erst das Wasser in grosser immer sich erneuernder 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 fast unlöslich ist, ist für den Geologen sehr wohl, vielleicht sogar leicht löslich zu nennen. Ein Beispiel bietet uns der Quarz. Gewiss können wir ihn für Untersuchungen im chemischen Laboratorium als in reinem Wasser so gut wie unlöslich bezeichnen; dennoch finden wir in Grotten Quarztropfsteine, schöne Quarzkrystalle in Klüften von Gesteinen, welche selbst Absatz aus Wasser sind, Quarzkrystalle kommen in den Hohlräumen versteinerner Muschelschalen vor oder der Quarz dient selbst als Versteinerungsmittel. Baryt, Feldspath, die im Laboratorium als unlöslich gelten, kommen in der Natur ebenfalls unter Umständen vor, welche ihre Löslichkeit in Wasser beweisen. Entweder werden die Gesteine vom eindringenden Wasser ganz aufgelöst. Solche sind z. B. Steinsalz, Gyps (in 10000 Gewichtstheilen Wasser sind 460 Theile Gyps löslich), Kalkstein (10 bis 12 Theile in 10000 Theilen Wasser), Dolomit, Siderit, Quarz etc. Oefter ist nur ein Theil des Gesteines löslich und es bleibt ein Rest oder Rückstand. (Porzellanerde oder Töpferthon bleibt als Rückstand bei der Verwitterung von Gesteinen, welche viel Feldspäthe, Glimmer, Leuzit oder andere Thonerde haltige Mineralien enthalten, Serpentin, Talkstein etc. sind oft die Rückstände der Verwitterung von Hornblende, Olivin, Granat und anderen magnesiareichen kieselhaltigen Mineralien.) Die zahlreichen Pseudomorphosen, d. h. Mineralsubstanzen, die äusserlich die Krystallform eines andern Minerals besitzen, aus welchem sie durch Substanz-

umwandlung entstanden sind, oder an dessen Stelle sie abgesetzt worden sind, haben Aufschluss über manche dieser langsamen Veränderungen im Mineralreich gegeben, die fast alle unter Mithilfe des eingesickerten Wassers vor sich gehen. Das kohlenensäurehaltige Sickerwasser vermag die scheinbar so widerstandsfähigen Silicate (Mineralien; die Kieselstoff enthalten) wie Feldspäthe, Glimmer, Epidot, Turmalin, Augit, Hornblende, Olivin, Hypersthen, Granat etc. zu zersetzen und ihnen in Gestalt von Carbonaten (kohlen-sauren Salzen) ihren Gehalt an Substanzen wie Kalium, Natrium, Calcium, Eisen, Mangan etc. zu entziehen. Die Sickerwasser beladen sich mit diesen letzteren und noch zahlreichen anderen Substanzen und führen sie gelegentlich als Quelle zu Tage. Das Eisen steckt oft in Gestalt von farblosen oder grau, grün, schwarz, braun etc. gefärbten Verbindungen in den Gesteinen; der Sauerstoff des Sickerwassers und die feuchte Luft zerstören diese Verbindungen und erzeugen Rost. In den Alpen allein sind diejenigen Berggipfel kaum zu zählen, welche einem solchen Vorgange Namen wie Rothhorn, Rothstock, Rothgrat, Pizzo Rosso, Aiguilles rouges etc. verdanken. Alle wesentlich gesteinsbildenden Mineralien sind verwitterbar. Sie nehmen zuerst Wasser auf und halten dasselbe fest. Da die Gesteine durchschnittlich bei beginnender Verwitterung viel mehr als  $\frac{1}{24000}$  ihres Gewichtes an Wasser aufsaugen, das Wasser der Erdoberfläche im Meer, in Seen und Flüssen aber nur etwa  $\frac{1}{24000}$  der Erdmasse beträgt, so ist es denkbar, dass vielleicht nach undenklich langen Zeiten stets fortschreitender Verwitterung ein Zustand unseres Planeten folgt, da die feste Erde fast alles Wasser eingesogen haben wird. Meistens verändert sich bei den verwitternden Mineralien

und Gesteinen zuerst die Farbe der äussersten Kruste und der Grenztheile längs den Fugen und Klüften; die Farbenveränderung dringt immer tiefer hinein. Ursprünglich glashelle Krystalle werden allmählig trübe und undurchsichtig, und deren Spaltungsflächen verlieren den Glanz, der Bruch wird erdig, das Gefüge der einzelnen Mineralkörner und des ganzen Gesteines lockert sich und endlich fällt alles in Brocken und Grus auseinander.

Die Pflanzen wirken chemisch und mechanisch zerstörend zugleich — chemisch durch die organischen Säuren, welche oft ihre Wurzeln ausscheiden, und durch die Kohlensäure, die sie beim Absterben und Verwesen liefern, mechanisch durch das oft fast unwiderstehliche Wachsthum ihrer Wurzeln in den feinen Gesteinsspalten, in welche sie eingedrungen sind. Es ist schon oft 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. Auf der Bauschanze in Zürich hob der wachsende Wurzelstock einer Esche einen grossen Quaderstein und presste dadurch eine Ecke desselben so scharf gegen seinen Nachbarstein, dass ein grosses Stück des festen Sandsteines abbrechen musste. Die gleichen Wirkungen in kleinerem Maassstabe bringen die Wurzeln von ungezählten Pflanzenarten hervor. In den Alpen findet man oft bis in Höhen von 3600 M. rings von Schnee und Eis umgeben an sonnigen Stellen in den Felsritzen noch vereinzelt gedrunge gebaute Pflänzchen in prächtigen Blütenfarben spielend. Ihre starken, langen, zähen Wurzeln greifen tief in den Fels hinein und sind oft durch den Widerstand der Fugenwandungen gegen ihr Wachsthum platt gedrückt. Sind die Felsen schiefrig, so blättern

ihre Wurzeln das Gestein auf. Ist dies nicht der Fall, so findet man, dass grosse und kleine Gesteinstrümmer schon allseitig losgetrennt von Wurzelgeflecht ganz umgeben sind. Aus den nächsten kalkigen Alpenketten heben wir als für die Gesteinszertrümmerung wichtige Pflanzen unter zahlreichen andern hervor: Mehrere Arten der Gattung *Saxifraga* (Steinbrech), *Dryas octopetala*, *Silena acaulis*, Alpenrose, Bergföhre etc. Wenn die Pflanzendecke eine mehr zusammenhängende ist und nicht im Fels selbst, sondern mehr in einer schon vorhandenen Kruste von Erde wurzelt, dann schützt sie den Felsgrund eher vor Verwitterung, als dass sie diese befördert, sie schützt ihn besonders vor Temperaturwechsel. Ein lückenhafter Pflanzenteppich befördert, ein dichter verzögert die Verwitterung.

Die äusserste Gesteinskruste ist dem Temperaturwechsel von Tag und Nacht und von den Jahreszeiten unterworfen. Der erstere dringt meistens nur 1 bis höchstens 3 Meter, der letztere bei uns 20 bis 30 Meter tief in den Boden ein. Der Temperaturwechsel dehnt die Kruste aus und zieht sie wieder zusammen, während die nähere Unterlage ihre Grösse viel langsamer und weniger, die tiefere Unterlage dieselbe gar nicht verändert. Dadurch entstehen Spannungen, welche das Gestein lockern und seine Fugen öffnen. In der Wüste, wo von einem hellen Tage zur hellen Nacht der Temperaturwechsel an der Oberfläche des Gesteines nicht selten bis über  $60^{\circ}$  beträgt, zerfallen die grossen alten Gerölle oft durch diese Ursache allein in eckige Brocken. Am allerkräftigsten wirkt der Temperaturwechsel bei Gegenwart von Feuchtigkeit, wenn er sich um den Frostpunkt bewegt. Ein Raumtheil Wasser von  $0^{\circ}$  dehnt sich mit ungeheurer Gewalt beim Gefrieren zu 1,09 Raumtheilen Eis aus. Thaut das Eis wieder, so fallen die losge-

trennten Gesteinsbrocken auseinander. Vermag ein einmaliger Frost es nicht, einen gewissen grossen Felsblock ganz abzutrennen, so kann dies einem vielfach wiederholten Froste gelingen. Wenig poröse Gesteine trennen durch Frost in Blöcken so viel möglich nach vorgezeichneten Gesteinsfugen sich los, poröse, welche durch und durch mit Wasser getränkt gefrieren, können hernach in Sand auseinanderfallen. Im Hochgebirge, wo es an Nässe und an Frost nicht fehlt, ist der letztere wohl das weitaus kräftigste Zertrümmerungswerkzeug. Da finden wir denn auch nicht selten, dass die Felswände sich in mächtige Schutthalden auflösen, obschon die innere Substanz des Gesteines noch chemisch frisch oder doch nur wenig angegriffen ist.

Die äussere Felskruste der Berge ist immer schon in Verwitterung begriffen. Nur ein Tunnel durchsticht die äussere angewitterte Kruste ganz und dringt bis tief in das vollkommen unversehrte frische Gestein ein. Es gibt sehr viele 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. Mit Recht tragen viele solche Gipfel Namen wie „Faulen“, „Faulberg“, „Faulhorn“ etc.

Gehen wir zur Untersuchung der auffallendsten Formen an den Bergen über, welche durch Verwitterungsvorgänge modellirt werden.

*Karren* oder *Schratten*. Es gibt wohl in der Natur kein Gestein, das durch und durch vollkommen gleichmässig in seiner Masse ist, selbst nicht in einem Block von nur Kubikfuss-Grösse. 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 oder

Thon 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 und selbst verkalkt sind, in dem kohlenensäurehaltigen Regen- und Schneewasser schwerer löslich, 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 dem frischen Bruch kaum etwas bemerken kann.

Jede Kalksteinfläche, welche der Nässe ausgesetzt ist, erhält allmählig eine unebene Oberfläche durch vielleicht ganz unbedeutende Ungleichheiten in der Löslichkeit. Sobald Vertiefungen da sind, werden dieselben zur Regenzeit zu Wasserrinnen, während von den zwischenliegenden Erhöhungen das Wasser schnell abläuft. Die Rinnen vertiefen sich durch Auflösung des Gesteines mehr und mehr und erweitern sich am Grunde, die zwischen den Vertiefungen stehenden Riffe werden immer schmäler, schärfer und schneidender. Die begonnenen Unebenheiten steigern sich. So entstehen die kahlen, wilden, zerhackten Kalkflächen, die man in den Alpen „Karren“, „Schratten“, „Lapiaz“ nennt. Das Blatt Nr. 400 des eidgenössischen Atlas (revidirte Ausgabe im Originalmaassstab der Aufnahmen) enthält im Maassstab 1:50000 ein treffliches Bild der ausgedehntesten Karrenfelder der Alpen, nämlich der Silbernalp und Karrenalp. Im grossen Ganzen bilden die Karren meist einförmig wellige, wenig gegliederte Fels-Flächen, im Einzelnen aber sind sie unendlich reich gegliedert. Bäche, welche etwa gegen Karren fliessen, verlieren sich rasch in den zahllosen ausgewaschenen Löchern, sie versiegen und treten dann

meistens erst viel tiefer am Abhange, wo keine Karren mehr sind, als Quellen zu Tage. In den Karren sind die Felsen oft 1 bis 2 M., nicht selten sogar 4 bis 10 M. tief durchbrochen von bald weiten, bald engen, bald rundlichen, bald spaltenförmigen, bald nach einer Seite offenen, bald ringsum geschlossenen unregelmässigen Rinnen und Löchern. Man kann häufig in ein Loch hinunterkriechen und durch ein anderes wieder heraufklettern. Die Rücken, Rippen und Kämme zwischen den Furchen sind oft messerscharf und rauh, so dass man sich leicht daran verletzt. Wenn sie dick und breit sind, so sind sie meistens wiederum von kleineren oft geschlängelten oder vom höchsten Punkte nach allen Richtungen radial auslaufenden Rinnen durchfurcht. Die ausgezackte und durchbrochene Gesteinsmasse behält aber ihren soliden Zusammenhang, so dass lose Trümmer nur selten sind. Die dünn gewordenen Rippen klingen beim Anschlagen hell. Wenn der Sturm über die scharfen Schneiden streicht, entsteht ein hohles Geheul. Es gibt Karren, welche viel schwieriger und gefährlicher zu durchwandern sind, als manches gefürchtete Gletscherlabyrinth. (Vergl. Fig. 1.)

Wir unterscheiden zwei Haupttypen von Karren je nachdem die Oberfläche des Kalkfelsens stärker geneigt oder mehr horizontal ist. Im ersteren Falle herrschen zahlreiche, parallele lange Furchen in der Richtung der grössten Neigung, im letzteren ganz unregelmässige tiefe Löcher und kürzere Furchen vor.

Schon aus der Unregelmässigkeit und Rauheit der Karrenformen geht hervor, dass keine mechanischen Vorgänge wie Ausschleifen durch Geschiebe etc. sie gebildet haben können, sondern eine chemische Auflösung die Ursache dieser Erscheinung ist. Karren entstehen hauptsäch-

lich 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 einigen Quadratmetern, 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 Gipfflächen der Kalkalpen, wenn sie etwa 1900 bis 2600 M. hoch liegen, sind mit frischen Karren bedeckt. Fast überall in den Kalkalpen gibt es Stellen, wo man entwickelte Karren sehen kann. Die Karren entstehen nur in verhältnissmässig reinen Kalksteinen, die als solche in Wasser allmählig ganz, wenn auch nicht ganz gleichförmig löslich sind. In unreinen Kalksteinen entstehen allerdings rauhe Oberflächen — die kieseligen und thonigen Partien ragen allmählig über die mehr kalkigen vor, aber die charakteristische Karrengliederung tritt trotz aller Rauheit der Formen nicht ein. Der Frost gewinnt dann in den porös zurückbleibenden unlöslicheren Theilen Anhaltspunkte und bricht sie in Schuttblöcke auseinander. Die bezeichnenden Formen der mechanischen Verwitterung finden wir mit geringen Modificationen bei reineren wie bei unreinen Kalksteinen und bei den meisten anderen Gesteinen; die bezeichnenden Formen der chemischen Auflösung aber sind an die chemische Beschaffenheit des Gesteines gebunden. Karren finden wir nur da, wo das Gestein als solches löslich ist und wo die chemische Auflösung des Gesteines vor jeder mechanischen Verwitterung weit im Vorsprunge steht. Je ausschliesslicher die chemische Auflösung des Gesteins wirkt, je reiner der Kalkstein ist, um so reiner tritt die Karrenbildung ein.

Auch bei Gyps kommt die gleiche Erscheinung vor, doch wirkt die zu leichte Löslichkeit desselben der Erhaltung der Karren zu sehr entgegen.

In den Jahren 1840 bis 1850 haben die Geologen die einzelnen Erosionskessel (Strudellöcher), welche hie und da auf alten Gletscherböden beobachtet wurden, mit den Karren verwechselt. Bis auf den heutigen Tag werden noch in einzelnen geologischen Lehrbüchern die Karrenfelder als eine Wirkung der Gletscher aufgeführt. Im Allgemeinen stehen Karren und Gletscher feindlich zu einander: Der vorschreitende Gletscher schleift die scharfen Karrenkämme ab und alte Gletscherschliffflächen auf Kalkstein werden leicht von Karrenrinnen zur Unkenntlichkeit durchfurcht.

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 allzu tiefen Karrenlöchern an. Wie in natürlichen Blumentöpfen sind sie hier geborgen und ist ihnen Schutz vor dem Winde 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 Aestgeflecht 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 Blüten 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 allmählig ragen nur noch die höchsten Karrenkämme steinig rau aus der immer dichter, dicker und zusammenhängender schwellenden Pflanzendecke hervor, bis endlich bei andauernder Wirkung günstiger Verhältnisse auch diese letzten Rippen überwachsen werden. In den tieferen Regionen, wo jetzt Karrenfelder nicht mehr frisch entstehen können, findet man stellenweise beim Abgraben der Humuserde alte solche (Park von Hôtel Axenstein). Die Formen freilich sind nun etwas verändert, sie haben ihre schneidende Schärfe und Rauheit verloren. Die ächte Karrenbildung hört unter der Bedeckung mit Erde und Schutt auf. Der Umstand, dass wir öfters unter dem Vegetationsboden noch Reste alter Karren finden, zeigt uns, dass die Schneelinie und die obere Grenze der Vegetation einst viel tiefer stand als jetzt, und ist wohl als Folge der gleichen Ursachen anzusehen, welche in der Quartärperiode den Gletschern eine so grosse Verbreitung gegeben haben.

Einigen Anhaltspunkt über die Zeit, welche zur Ausbildung der Karren erforderlich ist, geben die beginnenden Karrenbildungen an den von den Römern entblösten Kalkflächen der Steinbrüche bei Aix (Savoyen). In den höheren Regionen geht der Process in Folge der viel anhaltenderen Durchnässung jedenfalls bedeutend schneller vor sich. Man findet erratische Karrenbruchstücke im Innern von Moränen, bei welchen die Karrung der Oberfläche älter als der Transport ist; es gibt aber auch oft Moränen aus dem Ende der Eiszeit in den Alpen, wo die oben aufliegenden Blöcke entsprechend ihrer jetzigen Lage mit von oben nach unten laufenden Karrenfurchen durchzogen sind. Die Karrenbildung geht stets weiter. Die Umbildung der jetzigen

Karrenflächen nimmt so lange kein Ende, als die klimatischen Bedingungen nicht ganz andere werden.

*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 Zertheilung 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 allmählig 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 zu steilen Gipfeln kommt solche Blockbildung nicht in dem Maasse vor, weil da der abgetrennte Block sogleich zur Tiefe stürzt. Beispiele von Blockgipfeln aus den Alpen sind Fibbia, Pizzo Rotondo und Pizzo Lucendo aus der Gotthardgruppe, Schwarzhorn im Wallis etc. (Siehe Fig. 7.) 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, aus dem Granitgebiete des Sinai 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 und einem bestimmten Verwitterungszustande 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 allmähliges Nachbrechen der zu wenig gestützten oberhalb liegenden Massen, das aufwärts schreitet, bis es an der Kaute 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 Erniedri-

gung 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 (Fig. 11). 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 Hinter-ruck und Kaiserruck ist eben am Kammscheitel angelangt, hat aber bis heute noch keine Lücke in denselben geschnitten. Durch das nach oben weitergreifende Nachbrechen entstehen oft ohne Mithülfe von fliessendem Wasser Furchen an den Gehängen, die sich bis zu oberst an die Gipfel verlängern und deren Form wesentlich beeinflussen. Sie werden nach und nach die gewöhnlichen Wege für den Steinschutt und den Lavinenschnee. Nicht selten verzweigen sie sich rückwärts nach oben.

Vollkommen senkrechte Wände finden sich in den wildesten Gebirgen immer nur von geringer Höhe und sehr selten, so oft man auch von ungeheuren senkrechten Wänden spricht und liest. Wo einigermassen erhebliche senkrechte Wände bestehen, da stehen sie geologisch gesprochen

noch nicht lange und werden nicht lange bleiben. 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. 15 links.) 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. 15 rechts.) In der inneren Schweiz werden solche unterhöhlte Wände „Balmen“ genannt. Es gibt Balmen, die jeden Frühling sich vergrössern, indem beim Thauen losgefrorene Schiefen von der Decke herunterbrechen. Ist die Balm aber zu gross geworden, so bricht der ganze Dachvorsprung ein (in Fig. 15 deutet die punctirte Linie 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.

Wer von einem hohen Punkte das Gipfelmeer 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 Gipfformen genau zu studiren (mit Fernrohr wenn sie zu ferne stehen), so sehen wir anstatt der Aehnlichkeit der verschiedenen Wellen eine unbegrenzte Mannigfaltigkeit der Gipfformen, und unter tausenden finden wir nicht zwei, die zum Verwechseln ähnlich wären, selbst wenn wir nur die obersten Gipfel in's Auge fassen. Um sich davon zu überzeugen ist das Zeichnen das beste Mittel; 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 Bildungs-factor. Der zweite Factor, der diese Formen bedingt 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 denn auch im Stande, in diese unendliche Zahl von Formen einige Gruppierung zu bringen, d. h. diejenigen zusammenzustellen, die bei manchen individuellen Verschiedenheiten doch einem Typus folgen, der charakterisirt ist nicht durch den gemeinsamen Factor, 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 Eintheilungsspitzzfindigkeiten ohne allen practischen Werth. Wir wollen hier nur drei auffallend verschiedene Typen aufstellen und gleich sagen, dass Zwischenformen sie verbinden können :

I. 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 Gipfformen, 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 Verwitterung 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.

II. Die Sedimentgesteine, d. h. Gesteine, welche von aussen (durch Wasser oder organische Thätigkeit) auf die Erdrinde abgelagert worden sind, zeigen Schichtung. Die Schichtung ist einst durch einen Unterbruch oder eine Veränderung in der Ablagerung hervorgebracht worden. Die verschiedenen Schichten sind Producte verschiedener Zeiträume und verschiedener Bedingungen, und sind deshalb auch von verschiedener Beschaffenheit und verschiedener Verwitterbarkeit. Je resistenzfähiger gegen die Verwitterung eine Felsmasse ist, desto steiler ist die höchst mögliche Böschung, die sogenannte Maximalböschung, die dieses Gestein annehmen kann; je verwitterbarer, desto geringer ist diese Maximalböschung. Wenn ein Fluss ein Gehänge unterspült oder sich an seinem Fusse einschneidet, so muss das Gehänge allmählig nachbrechen. Besteht nun die Gebirgsmasse, der es angehört, aus Sedimentgesteinen,

so kann es nicht eine gleichförmige, sondern nur eine der verschiedenen Verwitterbarkeit der verschiedenen Schichten entsprechende mehr oder weniger treppenförmig gebrochene Böschung annehmen. Das terrassenförmige Profil wird bei fortdauernder Verwitterung parallel mit sich selbst in der Richtung der Schichten bergwärts getrieben. Diese Verwitterungsterrassen dürfen mit den Erosionsterrassen nicht verwechselt werden. Ihre flachsten Stufen sind niemals ganz horizontal und ihr Vorkommen stets an die Gesteinsart gebunden, während die Erosions- oder Flussterrassen im Gegentheil durch ihre Unabhängigkeit von dem Gestein und seiner Lagerung charakterisirt sind.

Ein Wechsel von festen Kalksteinen oder Dolomiten mit thonreichen Kalksteinen oder weichen Sandsteinen, ein Wechsel fester Sandsteinbänke mit Mergellagern, ein Wechsel compacter Kalksteine mit bröckligen etc. bringt den Treppenbau besonders scharf zum Ausspruch.

Die flacheren Verwitterungs-Terrassen der Gehänge werden um so leichter mit Vegetation überzogen, als in ihrem verwitterbaren Material die Pflanzen auch leichter Fuss fassen. Diese glänzend grünen „Rasen-Bänder“ ziehen sich oft zwischen steilen, kahlen, grauen „Felsbändern“ entlang. 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. Viele Alpweiden und Alpstaffeln liegen auf den Verwitterungsstufen der hohen Abhänge. Wenn Schnee die Terrassenflächen bedeckt, während er an den Terrassenabstürzen nicht haften kann, so wird der schichtige Treppenbau des Berges noch auffälliger. Wir können von den meisten Alpengipfeln, die wir von Zürich oder vom Uetliberg aus sehen, bei guter Be-

leuchtung und besonders im Winter schon aus dieser Entfernung erkennen, welche aus Sedimentgesteinen und welche nicht aus solchen bestehen. Die inneren Alpenketten bestehen meistens aus krystallinischen Schieferen, 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 II an. Als Beispiele mögen gelten: Rigi, Sentis, Pilatus, Leistkamm, Rautispitz, Calanda, Glärnisch, Urirothstock; den krystallinischen Massen näher folgen: Tödi, Windgällen, Titlis etc. etc. (Siehe die Figuren 9, 10, 11 und 13.)

Die Faletsche am Uetliberg ist ein Beispiel von einem Gehänge, das jetzt durch Unterspülung so rasch zurückwittert, dass auch die sanfter geneigten Bänder kahl bleiben. Dies ist indessen nicht der allgemeine Fall. Meistens geht das Zurücktreten der Gehänge viel langsamer vor sich. Heute fällt hier ein Stein, morgen löst sich dort ein anderer; bevor 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 nur vorübergehend zerrissen wird.

Die Sedimentschichten liegen in Gebirgen wie Alpen und Jura nur selten horizontal. Meistens sind sie mehr oder weniger steil aufgerichtet, oft 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. 13.) 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. 2.) Die einzelnen resistenzfähigeren Schichten ragen dann wie Mauern oder gewaltige Sägezähne zwischen tiefen Verwitterungskerbenn in die Lüfte. Die mehr horizontalen Schichten hingegen bilden öfter breitere Formen, sogenannte „Stöcke“, „Köpfe“, „Kuppen“, „Tafeln“. Die Kühnheit der Gestalten nimmt mit der Resistenzfähigkeit einzelner Schichten zu. Die verschiedenen Formen der Berggipfel spiegeln sich vielfach in ihren Namen.

III. Diejenigen Gesteine, welche eine durch alle Theile des Gesteines gehende ausgeprägte Schieferung zeigen, wobei aber nicht grössere schichtförmige Complexe von einander in ihrer Verwitterbarkeit wesentlich verschieden sind, liefern ganz andere Verwitterungsgestalten. Viele ältere Sedimentgesteine, besonders aber die „krystallinischen Schiefer“ (Gneisse, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Talk und Quarzitschiefer, manche Thonschiefer, Granatschiefer etc.) verhalten sich in dieser Weise. Diese Gesteine bilden im grossen Ganzen betrachtet Gehänge von viel gleichmässigerem Gefälle. Hier, wenn auch keine absolute Gleichförmigkeit der Platten und Schiefern da ist, haben wir keinen auffallenden Wechsel von sehr leicht und sehr schwer verwitternden Massen und somit auch keine Terrassenprofile. Die in den Alpen fast gewöhnliche steile, oft senkrechte Stellung der Schiefer und Platten begünstigt dies noch mehr. In den inneren Zonen der Alpen gibt es Berge, die vom Gipfel bis zur Thalsole eine nahezu constante Böschung haben. Der Bristenstock ist eine der reinsten Formen dieses Typus (siehe Fig. 12). Auf eine Verticaldistanz von 2550 M. ist die eine Kante der herrlichen Pyramide vom Gipfel bis an den Fuss nach Amstäg

fast ununterbrochen  $36^\circ$  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, Finsteraarborn, Schreckhörner (siehe ferner Fig. 5). Die Alpengipfel der krystallinischen Schiefer haben wohl niemals eine eigentliche Scheitelfläche, es sind alles scharfe Schneiden, über die man oft nur mit grosser Mühe, häufig 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 allmählig, 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 unerklärbare, langgestreckte, nicht zu umgehende Wand alles Vorwärtskommen unmöglich machen. Die besseren Alpweiden sind hier ausschliesslich an Erosionsterrassen, und zwar besonders häufig an die höheren Thalstufen im Grunde der Thäler gebunden.

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. 6). 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 II gehen überhaupt bei senkrechter Schichtstellung oft fast in diejenigen von Typus III über. Die grosse Windgälle z. B. besteht aus senkrecht aufgerichteten Kalksteinplatten, aber von Zürich aus ist es dem nicht sehr geübten Auge fast unmöglich, die sedimentäre Natur ihres Gesteines aus den Formen mit Sicherheit zu erkennen. Berge aus flachliegenden krystallinischen Schieferen wie z. B. der Monte Leone nähern sich einigermaßen den Formen der Kalkgebirge.

So bedingt die Gesteinsbeschaffenheit den Charakter der Gehänge und Gipfel, während die grosse Form des ganzen Berges nicht durch die Verwitterung, sondern vorwiegend durch die Erosion bedingt ist. Die Berge sind bloß die Reste einer grösseren Gebirgsmasse, welche bis heute zwischen den Thälern und Schluchten noch ungeschleift geblieben sind.

*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 fragt, ergibt sich eine Erniedrigung, eine Verwitterungsablation, ein Abtrag. Aus den Geschiebmassen, welche die Reuss in den Vierwaldstättersee führt, ist der durchschnittliche Abtrag ihres aufwärts von der Mündung gelegenen Gebietes auf 1 M. in 4100 Jahren berechnet worden. Der durchschnittliche Ab-

trag des gesammten Pogebietes ist zu 1 M. in 3600 Jahren, derjenige des Mississippigebietes zu 1 M. in 18000 Jahren, der des Gangesgebietes zu 1 M. in 7900 Jahren, der des Rheingebietes bis Bonn zu 1 M. in 30000 Jahren, aus den Schlamm- und Geschiebmassen 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 blos 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 M. hohe zerrissene Stöcke und Pfeiler als widerstandsfähigere Reste einer Granitmasse stehen geblieben, die früher die ganze Rückenfläche in solcher Höhe gehalten hatte (siehe Fig. 4). 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, sie bildet dann sogenannte „Gänge“. Die Gänge wittern viel schwerer ab als der sie umgebende poröse lockere Tuff. Der letztere tritt zurück, wo er der Ver-

witterung ausgesetzt ist, und wie hohe Mauern bleiben dann die zahlreichen Gänge frei aufrecht stehen. Manche der schönen kegelförmigen Berge aus alten Laven (Siebengebirge am Rhein und die Höhgauer Kuppen mögen statt hunderten als Beispiele gelten, siehe Fig. 8) waren ursprünglich ganz in Tuffmassen vergraben, bevor der Verwitterungsabtrag sie bis heute ganz oder erst theilweise herausmodellirt hat. Als wollte die Verwitterung den Geologen einen Gefallen thun, hat sie 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. Die Alpen sind reich an Beispielen, wo die Ungleichheit im Verwitterungsabtrag Berge geschaffen hat. Aus einer Umgebung von rundlich sanft geformten Berg Rücken ragen die beiden Mythen, ragen die Schienstöcke etc. sehr scharfzahnig, kühn und frei hervor (siehe Fig. 3). Sie selbst bestehen aus festen Kalkfelsen, die sanften Wellenformen an ihrem Fusse aber aus sehr leicht verwitterbaren Schiefen (eocenem Flysch). Dass die Verwitterung diese scharfen Gestalten allmählig aus einem früher viel höher umhüllenden Mantel von Flyschschiefern blosgelegt hat, ist zweifellos, indem ihre festen Kalksteinmassen nicht als Decke auf dem Flysch liegen, sondern unter demselben ihre Wurzel haben, und zur Ablagerungszeit des Flysch noch kein Festland waren. Auch die „Erdpfeiler“ und zahlreiche andere Gestalten sind Folge ungleichförmigen Abtrages. Die obigen Beispiele mögen genügen.

*Schutthalden.* Wenn wir auf einem „wilden“ Grate oder einer Spitze schweigend weilen, so vergeht wohl selbst bei ganz ruhiger schöner Witterung keine Minute, ohne dass unser Ohr das Rollen und Poltern von fallenden Stei-

nen wahrnimmt. Es gibt Stellen, wo fast beständig 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 den Grashalden unterbrochene 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 vermisst werden, sind die meisten von herunterfallenden Gesteinstrümmern erschlagen worden. Selbst Rindvieh, das man nur an die weniger „wilden“ Weideplätze führt, wird nicht selten 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 schon weggeschmolzenen Theile eingeschlossen war, so sehen sie meistens so schmutzig aus, dass man sie für blossen Gesteinsschutt halten könnte; unter einer dichten Schuttschichte liegt noch ein Schneerest. Tritt ein heftiges Regenwetter ein, dann werden in wenig Minuten all' die kleinen Rinnen, die unbedeutendsten Furchen wasserreich, und dick braun-gelb 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 Gebräuse 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. Dies nur um anzudeuten, welche Rolle im Verwitterungsprocess ganzer Gebirge das zu Bächen und Flüssen gesammelte Wasser spielt.

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 Lawinen und Wassern. Da, am Fusse der steilen Abstürze häufen sie sich zu „Schuttkegeln“ und „Schutthalden“ an. Findet der herunterstürzende Schutt durch eine enge Rinne, einen sogenannten Steinschlag oder einen Lawinenzug, den Ausweg in ein weites Thal oder auf eine Terrasse, 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. (Fig. 14.) 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 we-

niger leicht zum Stillstehen zu bringen ist als eine kleinere, so haben wir am Fuss des Kegels mehr die grossen Gesteinstrümmen, 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. 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. Sie 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  $15^{\circ}$  bis höchstens  $40^{\circ}$ , welche letztere Böschung schon sehr selten ist.  $30^{\circ}$  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 einigen Minuten und  $30^{\circ}$ , das Gewöhnlichste sind  $3^{\circ}$  bis  $10^{\circ}$ , 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 dies 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 erzählt man sich, dass unter dieser

oder jener Trümmermasse seien es Häuser, sei es eine Viehherde begraben liege, und können die Leute auch nicht mehr angeben, in welchem Jahre es 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. Auf die mannigfaltigen Erscheinungen der Bergstürze einzutreten reicht hier der Raum nicht.

Jeder Wanderer im Hochgebirge kennt die weite Verbreitung der Trümmerhaufen und Schutthalden. Oft erstrecken sie sich am Fusse steiler Wände stundenweit hin — bald bestehen sie aus hausgrossen eckigen Blöcken, bald aus kleinen Trümmern. Im letztern Fall gelingt es der Vegetation bisweilen, allmählig vorzudringen und an denjenigen Stellen die Schutthalden und Schuttkegel zu überziehen, wo nicht stets neuer Schutt sie zu bedecken droht. An andern Orten sieht man umgekehrt dass die Schuttkegel durch lebhaftere Gesteinszertrümmerung in ihren Sammelrinnen rasch wachsen. Die Steinschläge gehen stets weiter in den Thalboden hinaus, die Lauinen helfen mit. Im Laufe weniger Jahrzehnte sind viele Thalstufen im Hintergrund der Alpthäler auf diese Weise aus saftigen Weiden zu öden Trümmerfeldern geworden.

Die Schutthalden und Schuttkegel im Hochgebirge sind im Grossen betrachtet selbstverständlich keine bleibenden Ruhestätten; sie sind nur die Umladungsplätze der Gebirgsstrümmen; ein starker Bach greift endlich an und spült die letztern weiter zerkleinert in einer Reihe von, oft durch lange Zwischenräume unterbrochenen, Reisen als Geschiebe und Geschiebeschlamm aus dem Gebirge hinaus.

Das geübte Auge unterscheidet schon aus der Entfernung selbst bei Vegetationsbekleidung leicht die Gestalten, welche durch Abwitterung am Fels entstanden sind, von denjenigen, welche durch Aufhäufen von Schutt sich gebildet haben. Das erstere sind im Allgemeinen Nischen, Furchen, zwischen welchen noch Rippen stehen geblieben sind, das letztere hingegen sind angelehnte, nach aussen convexe kegelförmige Gestalten von gleichmässiger flacherer Böschung, die mit ihrer Höhe am Fusse der Nischen, aber nicht zwischen denselben ansetzen. Es ist zu bedauern, dass der grossen Mehrzahl der Topographen der richtige Blick und das Verständniss für diese Gestalten gänzlich abgeht, so dass selbst die meisten unserer besten Karten diese Terrainformen nicht richtig wiederzugeben im Stande sind.

\* \* \*

Die Verwitterung strebt darnach, die Erdoberfläche einem Zustande mechanischen und chemischen Gleichgewichtes zuzuführen, einem Zustande, da alle Unregelmässigkeiten, Höhen und Tiefen sich ausgeglichen haben werden, und alle Gesteine in Reste zerfallen sein werden, die chemisch nicht mehr von den Atmosphärien verändert werden können. Je näher die Erde diesem Gleichgewichtszustande kommt, desto weniger stark sind durch Gegensätze die verwitternden ausgleichenden Kräfte gespannt, desto

weniger energisch wirken sie. Wir können in den Formveränderungen der Berge durch die Verwitterung verschiedene Stadien unterscheiden, während deren Verlauf die Steilheit der Abhänge von der Maximalböschung des frischen Gesteines bis unter die Böschung der Schutthalden abnimmt, während die Stabilität der Formen und die Bewachsung der Abhänge gleichzeitig zunimmt. Der feste Kern des Berges schwindet, die Schuttmassen ringsherum häufen sich an. Es kann dies soweit gehen, bis der Berggipfel unter den wachsenden Mantel seines eigenen Schuttes getaucht ist. Indessen erst das fließende Wasser, die Ströme, können das durch Verwitterung zum Hügellande reducirte Hochgebirge gänzlich zur Ebene schleifen.

Die Verwitterung ist allgegenwärtig, sie fehlt an keiner Stelle der festen Erdoberfläche, an allen Formen, die wir sehen, hat sie modellirt. Aber deswegen 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 Weise, wie sie anzugreifen hat, vorgeschrieben. Nicht nur das: in der Bergform selbst ist oft 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 Verlauf der Gebirge überblicken, 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 wahr-

nehmen 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). Im Allgemeinen ist es unmöglich, Stellen der Oberflächen zu bezeichnen, deren Gestaltung eine ursprüngliche ist, im Gegensatz zu den blossen Verwitterungsformen. Manche Gebirge oder Gebirgstheile haben gar keine solchen mehr. Eine genaue Untersuchung der Alpen zeigt, dass wir dort kein Stück ursprünglicher Oberfläche mehr finden. Das jetzt vorliegende reich gestaltete Relief war einst tief im Innern der Gesteinsmasse verdeckt. Die heute noch erhaltene Gebirgsmasse der Alpen ist nur noch etwa die Hälfte von derjenigen, welche über das Meer-niveau gestaut worden ist, ein gleich grosses Volumen ist schon abgewittert und ausgespült.

Aus zusammenhängenderen, einförmigeren, massigeren Gebirgskörpern haben Verwitterung und Erosion die herrlichen mit reichen schwungvollen Linien gezeichneten, bald erdrückend gewaltigen, bald schlanken, schmalen, von schaurig tiefen Thälern umgebenen und vielgliederigen Gestalten herausgeschält, deren unvergleichliche Schönheit kein Künstler im Bilde wiederzugeben vermag. Wir möchten dem Meissel Halt gebieten — allein er arbeitet unbekümmert fort, Tag und Nacht, Jahr-aus, Jahr-ein — als ob ihm das bisher Erschaffene noch nicht gefallen würde. Er arbeitet so fleissig, dass die Ströme seine Spähne kaum rasch genug auszuspühlen vermögen, er corrigirt immer wieder, bis endlich unter seiner Hand das ganze Gebirge in Spähne aufgelöst ist. So lange aber die Erde nicht ganz erkaltet ist, wirft ihre Rinde an andern oder an der gleichen Stelle neue Falten — und neue Gebirge erscheinen auf der Ober-

fläche. — Wir wissen nicht, wie viele Perioden unser Planet noch durchzuleben hat, bis endlich doch die Verwitterung dauernd ihr Ziel erreicht. Die Erde verdankt die Gebirge den grossen Erscheinungen ihrer fortschreitenden Erkaltung, die Form der Berge aber der Verwitterung und Erosion.





Ansicht



Durchschnitt

Fig. 1. Karrenfelder.



Fig. 2. Kamm aus steil aufgerichteten Sedimentgesteinen.

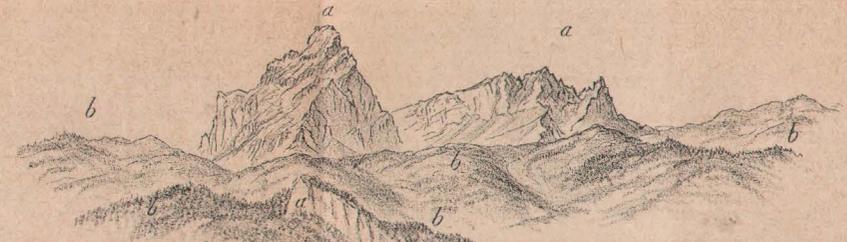


Fig. 3. Mythen gesehen vom Glärnisch a = Jura = u. Kreidekalk b = Flyschschiefer



Fig. 4. Granitthürme auf dem Riesengebirge



Fig. 5. Bietschhorn vom Lötschthalgrat.



Fig. 6. Kamm aus steilen Kristallinischen Schiefeln (Aelettgrat)



Fig. 7. Blockgipfel (Schwarzhorn 3207 m im Wallis)



Fig. 8. Altvulkanische Kegel a = alte Lava b = Tuff



Fig. 9. Druhsberg gesehen von Zürich (Sedimentgesteine fast horizontal)



Fig. 10. Glärnisch (Vernebigärth) vom Schwarzwald ges. (Sedimentgesteine fast horizontal)



Fig. 12. Bristenstock den 2. Feb 1872 von der Alpe Oberasern gezeichnet (Formen der Krystallinischen Schiefer)

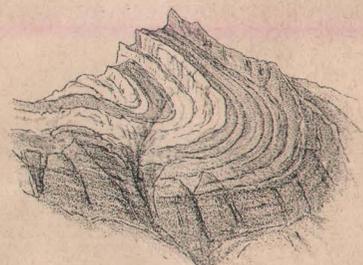


Fig. 13. Sichelkamm vom Walensee gesehen (Sedimentschichten gebogen)



Fig. 14. Schuttkegel und Schutthalden

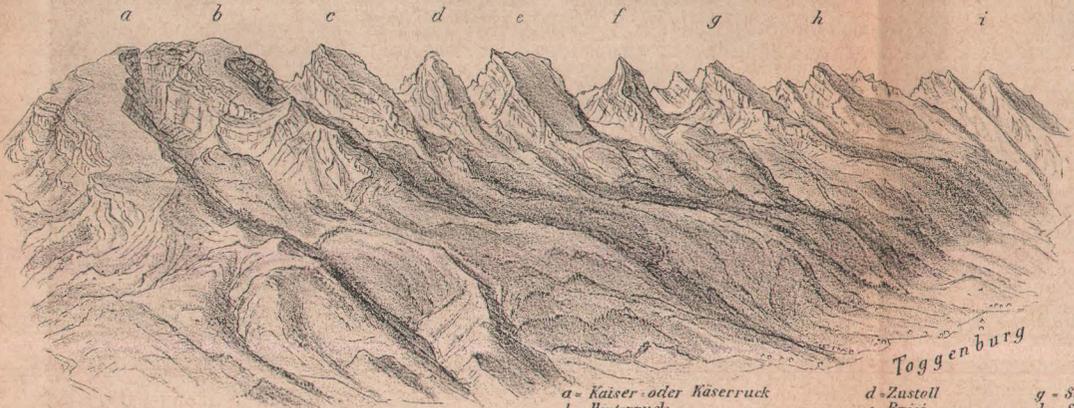


Fig. 11. Churfürsten gesehen vom Sents

- a = Kaiser- oder Käseruck
- b = Hinterruck
- c = Scheibenstoll
- d = Zustoll
- e = Brisi
- f = Frümssel
- g = Selun
- h = Scheerenberg
- i = Leistkamm

Toggenburg



Fig. 15. Ueberhängende Felswände (Balmen)

# ÖFFENTLICHE VORTRÄGE

gehalten in der Schweiz.

Je 12 Vorträge oder Hefte bilden einen Band.

Subscriptionspreis für den Band: Mark 8. Fr. 10.

Elegant gebunden: Mark 10. Fr. 12.

*Alle Hefte sind auch einzeln zu haben.*

## III. Band.

- Heft I. Dr. Adolf Hirsch, Die Sonne.  
Heft II. Prof. Carl Vogt, Ueber Vulkane.  
Heft III. Prof. Dr. Dan. Jacoby, Friedrich der Grosse und die deutsche Litteratur.  
Heft IV. Prof. Stephan Born, Heinrich Heine.  
Heft V. Dr. Victor Kaiser, Macbeth und Lady Macbeth.  
Heft VI. Prof. Albr. Müller, Der Gebirgsbau des St. Gotthard.  
Heft VII. Dr. Carl Meyer, Walther von der Vogelweide.  
Heft VIII. Dr. J. E. Alaux, Ueber die Wandlungen der Moral im Menschengeschlecht.  
Heft IX. Prof. Eduard Osenbrüggen, Die deutschen Rechtssprichwörter.  
Heft X. Gerold Meyer von Knonau, Die Ekkeharte von St. Gallen.  
Heft XI. Prof. Salomon Vögelin, Kunst und Volksleben.  
Heft XII. A. Billeter, Felix Mendelssohn-Bartholdy.

## IV. Band.

- Heft I. Prof. Dr. E. Desor, Der Mensch der Wüste.  
Heft II. Prof. A. de Chambrier, Die letzten Hohenstaufen u. das Papstthum.  
Heft III. Prof. Albrecht Müller, Die Meteorsteine.  
Heft IV. Prof. Stephan Born, Nicolaus Lenau.  
Heft V. Prof. Emil Arbenz, Die Schriftstellerei in Rom zur Zeit der Kaiser.  
Heft VI. Dr. Victor Kaiser, Cornelius und Kaulbach in ihren Lieblingswerken.  
Heft VII. Dr. M. Wilh. Meyer, Von den ersten und letzten Dingen im Universum.  
Heft VIII. Dr. Jacob Wackernagel, Ueber den Ursprung des Brahmanismus.  
Heft IX. Prof. Dr. Ludwig Wille, Göthe's Werther und seine Zeit.  
Heft X. Paul Choffat, Die Paläontologie, deren Methode, Nutzen und Ziel.  
Heft XI. Dr. Gottfried Kinkel jun., Kunst und Cultur im alten Italien vor der Herrschaft der Römer.  
Heft XII. Prof. L. Terrier, Galilei.

# ÖFFENTLICHE VORTRÄGE

gehalten in der Schweiz.

Je 12 Vorträge oder Hefte bilden einen Band.

Subscriptionspreis für den Band: Mark 8. Fr. 10.

Elegant gebunden: Mark 10. Fr. 12.

*Alle Hefte sind auch einzeln zu haben.*

## V. Band.

- Heft I. Prof. Stephan Born, André Chénier.  
Heft II. Robert Billwiler, Ueber Astrologie.  
Heft III. Dr. M. Wilhelm Meyer, Kraft und Stoff im Universum und die Ziele der astronomischen Wissenschaft.  
Heft IV. Prof. A. de Chambrier, Die Rolle der phönizischen Rasse in der alten Welt.  
Heft V. Prof. Albert Heim, Ueber die Verwitterung im Gebirge.  
Heft VI. Dr. G. Kinkel jun., Macaulay. Sein Leben und sein Geschichtswerk.

Das Inhaltsverzeichniss des I. bis IV. Bandes befindet sich auf den inneren Seiten des Umschlages.

*Von Albert Heim, Professor der Geologie am eidg. Polytechnikum und der Universität in Zürich, sind ferner erschienen:*

**Untersuchungen über den Mechanismus der Gebirgsbildung** im Anschlusse an die geologische Monographie der Tödi-Windgällen-Gruppe.  
2 Bände gr. 4<sup>o</sup>, mit einem Atlas von 17 Tafeln.

Preis 60 Mk. 75 Fr.

**Aus der Geschichte der Schöpfung. Vortrag.** Preis 80 Pf. 1 Fr.

**Der Ausbruch des Vesuv im April 1872.** Mit 4 Tafeln.

Preis 1 Mk. 50 Pf. 2 Fr.

**Ueber die Stauung und Faltung der Erdrinde.** Preis 80 Pf. 1 Fr.