

**Zeitschrift:** Schweizerische pädagogische Zeitschrift  
**Band:** 7 (1897)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Aus der Geschichte der Erde : 1. Teil  
**Autor:** Äpli, Aug.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-789016>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.11.2024

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Aus der Geschichte der Erde. <sup>1)</sup>

Von Dr. Aug. Äppli, Zürich.

Einleitung. Blickt man von der Höhe des Ütlibergs gegen die Stadt Zürich hinunter, so fallen dem aufmerksamen Auge in dem Landschaftsbilde sofort ein paar scharfe Gegensätze auf. Auf dem rechten Ufer des Sees erhebt sich der breite, flache Rücken des Zürichberges mit sanften, gerundeten Formen. Der Ütliberg selbst aber, wie auch seine Fortsetzung nach Süden, der Albis, bildet einen schmalen, scharfen Grat, der auf beiden Seiten von steilen Felswänden begrenzt ist, die trotz der Bewaldung an vielen Stellen deutlich sichtbar sind. — Von Zürich talabwärts erblicken wir das breite Limmattal mit stellenweise sumpfigem Boden; dagegen zieht sich dem Albisabhang nach das schmale Sihltal und trennt von der Albiskette die Zimmerbergkette ab. Man könnte nun meinen, solche scharfe Differenzen müssten ihren Grund in verschiedenen Gesteinsarten haben. Dem ist aber nicht so. Albis, Zimmerberg und Zürichberg bestehen aus den gleichen, fast wagrechten Schichten der oberen Süsswassermolasse: es sind vorherrschend weiche, tonige Sandsteine und Mergel, untergeordnet auch etwas Nagelfluh. Die steilen Talwände des Sihltals bestehen also aus dem gleichen Material wie die sanften des breiten Limmattales. Die Differenz der Formen muss demnach ihren Grund anderswo haben, er liegt in der Geschichte dieser Täler, bzw. Berge. Er liegt darin, dass das Sihltal und damit die heutige Form des Albis relativ jung, die Form des Zürichbergs und des Limmattales hingegen alt und ausgeglichen sind. Dieses kleine Beispiel zeigt also, dass zum Verständnis der Formen der heutigen Erdoberfläche die Kenntnis ihrer Geschichte gehört. Aber

<sup>1)</sup> Die nachfolgenden Vorträge wurden auf Wunsch der zürcherischen Schulkapitel und auf Veranlassung des hohen Erziehungsrates in fünf Schulkapiteln, im Zusammenhang mit mindestens zwei geologischen Exkursionen gehalten und erscheinen hier in etwas erweiterter Form.

auch das Umgekehrte ist der Fall: Um die Veränderungen zu verstehen, welche einst auf der Erde sich vollzogen haben, muss man diejenigen kennen, welche sich heute noch, unter unsern Augen, vollziehen.

So besteht zum Beispiel der Rigi weitaus zum grössten Teil aus Nagelfluh, d. h. aus Schichten von gerundeten, ei- bis faust- bis kopfgrossen Steinen, welche sehr fest miteinander verkittet sind. Zwischen den Nagelfluhschichten finden sich Mergel- und, spärlich, auch Sandsteinschichten. Über die Entstehung eines solchen Schichtenkomplexes können uns die heutigen Flüsse belehren; da sehen wir, wie ein solcher Fluss an einem bestimmten Punkte A z. B. bei Hochwasser groben Kies ablagert, dessen Lücken mit Sand gefüllt sind. Wenn die Wassermenge abnimmt, so lässt er das grobe Geschiebe weiter oben im Tal liegen und bringt nach A nur noch feinen Sand, beim niedrigsten Stande nur Kalk- und Tonschlamm. Wenn diese Ablagerungen im Laufe der Zeit sich verkitten, so entsteht aus dem Kies Nagelfluh, aus dem Sande Sandstein und aus dem Kalk-Tonschlamm Mergel. Entsprechend der doppelten Aufgabe: Erklärung der heutigen Formen der Erdoberfläche und Erklärung der Veränderungen in frühern Perioden der Erdgeschichte zerfällt daher die Geologie in zwei grosse Gebiete:

A. Die Lehre von den noch heute an der Erdoberfläche sich vollziehenden Veränderungen und von den dabei wirkenden Kräften, d. i. die dynamische oder allgemeine Geologie.

B. Die Lehre von den Veränderungen, welche die Erde sukzessive im Laufe ihrer ganzen Entwicklung erfahren hat, d. i. die historische Geologie.

Es ist noch nicht 50 Jahre her, seit man diesen Zusammenhang richtig auffasst; erst durch den engl. Geologen Charles Lyell ist diese Zweiteilung der Geologie zur Klarheit und zur allgemeinen Anerkennung gekommen. Vorher hielt man noch an der alten Katastrophentheorie von Cuvier mehr oder weniger fest, wornach immer nach einer gewissen Zeit, nach einem geologischen Zeitalter, eine gewaltige Katastrophe mit Sündflut, vulkanischen Ausbrüchen, Untergang von ganzen Erdteilen etc. erfolgte, so dass dadurch alles organische Leben zerstört wurde. Auf eine solche allgemeine Vernichtung liess man dann jedesmal eine totale Neuschöpfung der Pflanzen- und Tierwelt folgen. Die grosse Schwierigkeit dabei war bloss, dass man gezwungen war, im einen Lande 6, in einem andern 10 oder 20 solcher Katastrophen anzunehmen, sowie dass dieselben nicht zur gleichen Zeit erfolgt sein konnten. — Heute ist diese Auffassung vollständig verlassen, weil sie mit den Tatsachen in Widerspruch steht; es ist auch in der Tat nicht einzu-

sehen, warum früher total andere Naturkräfte auf der Erde sollten regirt haben. Je mehr man sich in das Studium der Veränderungen der Erde in Gegenwart und Vergangenheit vertieft, desto mehr Beweise findet man für das Gesetz:

Zu allen Zeiten haben auf der Erde die gleichen Naturkräfte nach den gleichen Gesetzen gewirkt. Die Umgestaltung der Erdoberfläche ist immer in gleicher oder ähnlicher Weise erfolgt, wie heutzutage. Durch Summation der kleinen Veränderungen während langer Zeiträume sind selbst die grössten Umwälzungen zu stande gekommen.

Die sämtlichen Kräfte, welche auf die Erdoberfläche einwirken, lassen sich in zwei Klassen teilen:

- A. Kräfte, die von aussen,
- B. Kräfte, die von innen wirken.

Zu den ersteren gehören das Wasser in flüssiger Form, das Wasser in fester Form als Eis, der Wind, die Pflanzen, die Tiere. Zur zweiten Klasse gehören alle Erscheinungen, welche von dem Wärmeverrat im Innern der Erde, sowie von dessen Abnahme abhängig sind. Das sind die Vulkane, die Entstehung der Gebirge u. s. w.

Es ist hier des Raumes halber nicht möglich, von allen Vorgängen der einen oder andern Art zu sprechen; notgedrungen muss ich mich je auf einen besonders wichtigen Vorgang beschränken. Mit Rücksicht auf die Schweiz wähle ich aus: 1. Die Wirkungen des Wassers, 2. die Wirkungen des Eises, 3. die Übersicht der geologischen Formationsreihe und 4. ein oder zwei Beispiele von Gebirgsbildung.

## Über die Wirkungen des fliessenden Wassers.

### I.

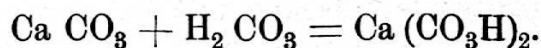
Wie jedes andere bewegte und bewegende Agens, wirkt das Wasser in dreifacher Weise: 1. durch Wegnahme von Material, 2. durch Transport, 3. durch Ablagerung des weggenommenen Materials.

Die erste Tätigkeit bezeichnet man als Erosion im weitesten Sinne. Dieses Wegnehmen kann auf zwei Arten geschehen: *a*) auf chemischem Weg, durch Lösung, d. i. chemische Erosion; *b*) auf mechanischem Wege, d. i. Erosion im engern Sinne.

Auch die Ablagerung der weggeführten Stoffe an einem andern Orte kann auf chemischem Wege geschehen (Chemische Alluvion, chemische Sedimente). — Geschieht die Ablagerung auf mechanischem

Wege, so erhalten wir mechanische Sedimente oder Alluvionen im gewöhnlichem Sinne.

Von chemischer Erosion und Alluvion will ich ein Beispiel etwas näher ausführen. Dem in die Erde, ja in den härtesten Fels eindringenden Wasser fallen nicht bloss leichtlösliche Stoffe, wie Steinsalz und Gips zum Opfer. Für die Geologie sind auch die Stoffe, welche der Chemiker als unlöslich bezeichnet, löslich, weil hier ein Faktor mitwirkt, über den der Chemiker nicht verfügt, die Zeit! — So ist der Quarz oder Bergkrystall im Sinne der Chemie in Wasser als unlöslich zu bezeichnen; die schönen Bergkristalle in den Alpen aber finden sich unter Bedingungen, die mit absoluter Sicherheit beweisen, dass sie aus wässriger Lösung entstanden sind. Ähnlich, wie mit dem Quarz verhält es sich mit dem kohlensauren Kalk, der unter verschiedenen Namen und verschiedenem Aussehen: Marmor, Kalkstein, Alpenkalk etc. einen Hauptteil des Alpengebirges und vielleicht 80 % des Jura ausmacht. Kohlensaurer Kalk ist in reinem Wasser fast unlöslich; sowie aber das Wasser selber noch freie Kohlensäure enthält, so entsteht doppelkohlensaurer Kalk, nach der Gleichung:



Der letztere ist aber löslich. Da alle Sickerwasser in den obersten Erdschichten infolge der Verwesung von Pflanzen- und Tierstoffen  $\text{CO}_2$  in Hülle und Fülle antreffen, so sind sie im stande, überall  $\text{Ca CO}_3$  aufzulösen, wo sie solchen antreffen. — Daher führen alle unsere Quellen mehr oder minder hartes, d. h. kalkhaltiges Wasser. Wo der Boden vorwiegend aus Kalkstein besteht, ist diese auslaugende Tätigkeit des Wassers von grosser und oft von verhängnisvoller Wirkung. Kalkgebirge sind von Natur schon zerklüftet und lassen auf den Klüften Wasser durchdringen. Durch die Tätigkeit des Wassers werden die Klüfte, Risse und Spalten fortwährend erweitert, so dass die unterirdische Zirkulation des Wassers immer leichter und rascher wird. Da entstehen ganze unterirdische Bäche und Flüsse, es bilden sich in solchen Gebieten zahllose Höhlen.

Durch die Erweiterung dieser Wasserläufe kommen sie auch in Verbindung mit der Erdoberfläche; Bäche, welche eine Zeit lang oberirdisch geflossen sind, verschwinden plötzlich in einem Entonnoir, wie man solche Löcher im schweizerischen Jura nennt. Wohl das bekannteste Beispiel davon liefert der Lac de Joux, dessen Abfluss ein solcher Trichter ist. Erst 2—3 km weiter unten, bei Vallorbe, tritt der Fluss aus dem Erdinnern heraus. Bekannt ist, dass ein Teil der

Donauquellen unterirdisch in die Aach und damit in Bodensee und Rhein fließt. Färbeversuche mit Fluorescein haben den Beweis geleistet, dass ein Teil des Donauwassers in 60 Stunden den Bodensee erreicht. Dem entsprechend treffen wir in Kalkgebirgen sehr starke Quellen, die sofort im Stande sind, Mühlen zu treiben etc. Aber diese Quellen haben einen sehr schwankenden Ertrag; bei jedem Gewitter schwellen sie an, laufen sogar trüb, stehen aber in trockenen Zeiten oft ganz ab. Die unterirdische Zirkulation des Wassers ist eine zu leichte, zu rasche, so dass keine Ausgleichung und keine Filtration des Wassers stattfindet.

Indem das Wasser von der Oberfläche eines Kalkgebietes rasch in die Tiefe sinkt, wird der Boden trocken, oft vollständig unfruchtbar. Im Sommer verdorrt alles, und das Wasser für Mensch und Tier muss manchmal stundenweit geholt werden. Durch die unterirdische Ausspülung werden aber die Hohlräume immer grösser. An einzelnen Stellen wird die Decke der Höhle zu schwach, um den Druck von oben auszuhalten, sie stürzt ein und bildet an der Oberfläche einen Trichter. Solche Erdfälle und Trichter entstehen oft in langen Reihen, dem unterirdischen Wasserlaufe entsprechend; sie können sich miteinander verbinden und so ein blindes Tal ohne Ausgang und ohne sichtbaren Fluss bilden. Das sind Erscheinungen, die z. B. im Karst etwas ganz Gewöhnliches sind. Aber selbst auf unsern Alpen oder im Jura sind das häufige Erscheinungen: auf vielen Alpenweiden im Sentisgebiet und anderwärts sieht man Trichter von 10—40 m Durchmesser und 1—10 m Tiefe; der Rasen hat sich da hineingesenkt, und spät im Sommer findet man in solchen Löchern noch Schnee. Wasser ist selten darin zu sehen, weil der Kalkstein alles durch seine Klüfte passieren lässt. Es kann aber auch gelegentlich vorkommen, dass der Abfluss durch Schlamm im Laufe der Zeit verstopft wird, dann entsteht ein kleiner See. Eine ziemliche Zahl der kleinen Alpenseen sind solche Auslaugungs- oder Trichterseen.

Eine andere sehr interessante Wirkung der chemischen Auflösung von Kalkstein durch Wasser ist die Karrenbildung. Karren oder Schratzen bilden sich auf ziemlich reinen und homogenen Kalksteinen. Ein möglichst reiner Kalkstein zeigt immer noch feinste Differenzen: wenn Regen- oder Schneewasser darüberfließt, so ist der Stein an einer Stelle eine Spur löslicher als daneben; da bildet sich nach und nach eine Rinne. Sofort sammelt sich in dieser Rinne das Wasser von beiden Seiten; dadurch wird die Rinne immer mehr und mehr vertieft. So entstehen im Kalkstein Furchen von 1—15 m Tiefe, oft nur wenige cm breit; oft so breit, dass man mit einer Leiter hinuntersteigen kann. Zwischen den Rinnen und Furchen bleiben immer schärfer werdende

Rippen stehen, die oft messerscharf sind, so dass man sich die Hände daran blutig schneiden kann. Charakteristisch ist die feinere Oberflächenform der Rippen: an jeder Rippe laufen wieder kleine Furchen seitlich der Hauptfurchen zu, so dass die Rippen wie gekämmt aussehen. Überhaupt ist die Oberfläche der Karren sehr rau; Schuhe, Kleider und Hände zerreißen bei der geringsten Unvorsichtigkeit. Es gibt Karrenfelder, die man nicht anders als mit der Leiter, mit Lederhosen und Lederhandschuhen passiren kann. Für die Bildung der Karren ist eine lange Befeuchtung der Oberfläche von Bedeutung; sie entstehen daher am schönsten in der Nähe der Schneegrenze, wo der Schnee fast das ganze Jahr liegen bleibt. Bedeutende Karrenfelder sind am Sentis, am Aufstieg von der Meglisalp und am Weg nach Wildhaus hinunter; ferner am Mattstock, am Schilt, an der Schrattenfluh (die daher ihren Namen hat); die gewaltigsten aber liegen zwischen Linthtal und Muottatal auf der Silberalp, Karrenalp und Rädertenalp, wo sie zusammen etwa 50  $km^2$  Fläche einnehmen.

Wenn das Wasser an einem Ort Kalk wegführt, so muss es ihn an einem andern wieder absetzen. Dies geschieht, sobald die freie Kohlensäure entweicht; dann entsteht wieder kohlensaurer Kalk, und der scheidet sich als unlöslich aus. Dies tritt ein z. B. bei langem Stehen des harten Wassers, also in unsern Seen. Da lagert sich fortwährend ein ganz feiner Niederschlag von Kalk auf den Boden der Seebecken und deckt denselben mit einer weissen Schlamm, der sogenannten Seekreide. Wenn dieser Schlamm später einmal verfestigt wird, so entsteht daraus ein Süßwasserkalk, ganz wie wir ihn da und dort zwischen den Schichten der Molasseformation finden, z. B. bei Horgen, Tuntellen-Meilen, Hörnli, Bettswil-Bäretswil etc. Aber nicht aller  $CaCO_3$  schlägt sich in den Seen nieder; ein guter Teil geht mit den Flüssen in das allgemeine Reservoir, ins Meer, und wird da durch die Tätigkeit der Organismen und zwar der Tiere: Foraminiferen, Korallen, Muscheln, Schnecken etc. abgelagert. So entsteht im Meer ausserhalb der Strandzone, in einer Tiefe von 100 bis 2000  $m$  ein Kalkschlamm, der durch Erhärten später marine Kalksteine liefert, wie diejenigen sind, die heute den Gipfel des Tödi oder Glärnisch bilden.

Aber nicht nur beim ruhigen Stehen, sondern auch bei Berührung mit lebenden Pflanzen, die ja  $CO_2$  bedürfen, scheidet sich der gelöste Kalkstein aus, ebenso beim Herunterrieseln über Felswände etc. Wo aus dem Kalkgebirge eine Quelle mit hartem Wasser austritt, wird sie Moose, Blätter, Grashalme, über die sie wegfließt, inkrustiren und derart Tuffstein bilden. — Wenn das Wasser von der Decke einer

Höhle heruntertropft, so entstehen die schlanken, hängenden Zapfen oder Stalaktiten, denen von unten die breiteren Stalagmiten entgegenwachsen, bis sie sich zu einer Säule vereinigen. Es ist bekannt, wie mannigfaltig und grotesk die Gestalten sind, welche auf solche Weise sich bilden. Es sei hier nur an die Höhlen in der Hölle bei Baar erinnert. Diese Höhlen sind in den letzten Jahren so bekannt geworden, dass es sich wohl lohnt, darüber noch einige Worte zu sagen:

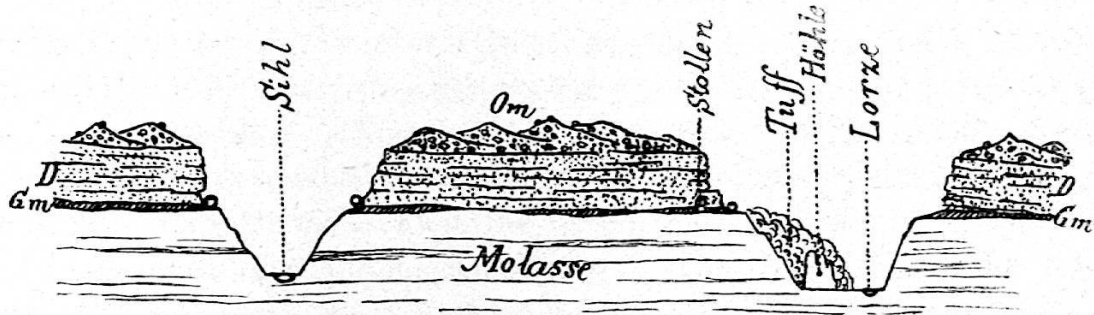


Fig. 1. Om = Obermoräne. D = Deckenschotter.  
Gm = Grundmoräne. o = Quellen.

Die ganze Hochfläche, welche sich zwischen der Sihl und der Lorze vom Hohe Rhonen und Gubel her bis gegen die Baarburg und Sihlbrugg erstreckt, hat zur Grundlage Molassesandstein und Mergel, also Schichten, die das Wasser nicht durchlassen. Da und dort findet sich darauf noch ein wenig Grundmoräne der I. Eiszeit. Darüber befindet sich eine Schicht von Kies von 30—50 m Mächtigkeit, die sich unter der ganzen Fläche durchzieht. Wir bezeichnen solche geschichtete Kiese als Schotter, und rechnen speziell diesen Schotter zum Deckenschotter, welcher der I. Eiszeit angehört. Dieser Deckenschotter wird seinerseits überlagert von zahlreichen und mächtigen Obermoränen, welche, gleich dem Schotter, für Wasser leicht durchlässig sind. — Der ganze Komplex von 100—200 m Mächtigkeit bildet einen ausgezeichneten Filtrirapparat für alles eindringende Wasser. Alles sammelt sich auf der undurchlässigen Molasse oder auf der Grundmoräne an und tritt in zahllosen Quellen im Sihl- und Lorzetal zu Tage. — Im Sihlgebiet gehören hiezu die Quellen im Kellenholz, Bodenrisi und Sihlsprung (alles oberhalb Sihlbrugg), die gegenwärtig für die Stadt Zürich gefasst werden. Die stärksten Quellen aber sind diejenigen von Höll an der Lorze. Dieselben sind 1888 gefasst worden und treiben jetzt die Turbinen der „Spinnerei a. d. Lorze“ in Baar. Seitdem der Stollen für die Fassung auf 300 m Länge im Berg getrieben worden ist, liefern diese Quellen 9—12,000 Minutenliter Wasser. Die Temperatur des Wassers beträgt das ganze Jahr 10,3°, die Mitteltemperatur des Ortes dagegen



ist 8°. Das Maximum der Wasserführung fällt in den Winter, während das Maximum der Niederschläge bei uns bekanntlich im Sommer ist. Die Zeit der Filtration beträgt also ein halbes Jahr.

Früher rieselten diese Quellen in zahllosen Rinnsalen über den Abhang in die Lorze. Dabei schied sich Tuffstein aus, und dadurch entstanden die mächtigen Tufflager, die z. B. das Material für die Auswölbung des 3 km langen Albistunnels geliefert haben. Bei der Tuffbildung wurden einzelne Lücken nicht ausgefüllt, und so entstanden die Tropfsteinhöhlen, welche nicht, wie an andern Orten, eine Auswölbung im anstehenden ältern Gestein darstellen, sondern Lücken in der Tuffbildung sind. — Die Höhlen zeichnen sich daher nicht aus durch Grösse, sondern durch Zierlichkeit und Mannigfaltigkeit der Stalaktiten. Namentlich zeigt sich deutlich ein alter, höherer Wasserstand in der Höhle. Unter einer horizontalen Linie nämlich sind alle Stalaktiten halbkugelig, traubig und fein kristallinisch, darüber sieht man die gewöhnlichen, schlanken Zapfen. Während die letztern sich in gewöhnlicher Weise bildeten, entstanden die traubigen Formen in dem stehenden Wasser des Höhlensees, schieden sich also aus einer konzentrirten Lösung aus. Als dann später die Lorze sich tiefer einschnitt, senkte sich der Wasserspiegel in der Höhle.

## II.

Gehen wir über zu dem für uns viel wichtigeren Kapitel der mechanischen Erosion und Alluvion. — In unserem Klima wird das Gestein weit mehr durch mechanische Agentien angegriffen, zertrümmert und transportirt, als durch chemische Kräfte. Unter den trümmerbildenden Kräften steht bei uns weitaus obenan der Frost im Bunde mit dem Wasser. Ich erinnere an die Tatsache einerseits, dass das Wasser beim Gefrieren sich um  $\frac{1}{11}$  ausdehnt, und andererseits an die allgemeine Durchfeuchtung der festesten Felsen in der Natur. So oft die Temperatur unter 0° sinkt, dehnt sich das gefrierende Wasser mit unwiderstehlicher Gewalt aus und öffnet ganz feine Spalten und Ritzen. Bei jedem neuen Gefrieren erweitert sich die Spalte etwas, und schliesslich löst sich ein Stein oder Felsblock von der Wand und fällt herunter. Es ist bekannt, wie schon bei uns, im Mittelland, der Frühling die Jahreszeit ist, da sich eine Menge Schutt von Felswänden und Abhängen löst und ins Tal stürzt. In ungleich grösserem Masstabe gilt dies vom Hochgebirge. Dort beschränkt sich das tägliche Gefrieren und Auftauen nicht auf Frühling und Herbst, sondern dauert den ganzen Sommer durch an. Die Wirkung dieses Spaltenfrostes zeigt sich dem

aufmerksamen Beobachter im Gebirge auf Schritt und Tritt. Die schönsten Alpenweiden sind oft übersät mit kleinen und grossen Trümmern und werden es von Jahr zu Jahr mehr. Manche Alp, mancher Talgrund ist in historischer Zeit so durch Steinschlag verwüstet worden, dass da, wo früher 50 oder 100 Kühe weideten, jetzt kaum ein paar Schafe oder Ziegen kümmerlich ihr Futter finden.

Wenn sich im höhern Felsgehänge eines Berges eine Nische oder Rinne findet, so dient diese den stürzenden Trümmern als Weg, es bildet sich die Steinschlagrinne, und an deren Fuss häuft sich der Schutt zu einem steilen, lockern Kegel an (siehe Fig. 6, rechts). Wenn viele solcher Kegel nahe beieinander sich finden, so verschmelzen sie zu einer Schutthalde. Fast alle Hochgipfel sind mehr oder weniger von solchen Schutthalden, wie von einem Mantel umgeben. Die Grösse der Trümmer, die einen Schuttkegel oder Schutthalde zusammensetzen, wechselt von kubikmetergrossen Blöcken bis zu ganz kleinen Stücken. Von der durchschnittlichen Grösse der Trümmer hängt die Steilheit des Schuttkegels ab, die von  $20^{\circ}$  bis  $36^{\circ}$  bei ganz grobblockigen Halden steigt. Selbstverständlich ist dieses Trümmaterial durchaus aus eckigen Stücken gebildet.

Gelegentlich lösen sich, sei es durch Frost, sei es durch andere Ursachen, auf einmal grössere Massen vom Berggehänge und donnern in die Tiefe; es entstehen die Bergstürze, die wegen ihres plötzlichen Auftretens und wegen der Verheerungen viel mehr Aufsehen erregen als das Ablösen einzelner Trümmer. Betreffend diese Katastrophen verweise ich Sie auf das sehr interessante Neujahrsblatt der zürch. naturforschenden Gesellschaft vom Jahr 1882: Heim, über Bergstürze, und auf das neueste von 1896: Heim, die Gletscherlawine an der Altels. — Trotz des gewaltigen Aufsehens, trotzdem die Masse eines Bergsturzes mehrere Millionen Kubikmeter (Elm 10,000,000  $m^3$ , Rossberg 15,000,000  $m^3$ ) betragen kann, so ist für die Abtragung im Gebirge doch die Loslösung der einzelnen Trümmer viel die wirksamere Erscheinung, weil sie fortwährend und überall erfolgt. Wenn man zusammenschätzt, was nur in den Schweizeralpen durch die unzähligen Steinschlagrinnen Tag für Tag niedergeht, so lässt die bescheidenste Schätzung erkennen, dass dies für jeden Tag des Jahres einen hübschen kleinen Bergsturz ausmacht.

Aber all der Schutt, der sich so an niedern, hohen und höchsten Gipfeln löst, kommt auf den Schuttkegeln nur vorübergehend zur Ruhe, das sind nur Umladeplätze. Früher oder später gelangen die Trümmer in den Wirkungsbereich des fliessenden Wassers, und damit ist der Anfang für eine neue Entwicklung gegeben.

Die Kraft des fliessenden Wassers, die den Geschiebetransport bewirkt, heisst die Stosskraft. Dieselbe ist nur um die Reibung kleiner als die lebendige Kraft des Wassers, also ungefähr gleich  $\frac{m.v^2}{2}$ . Sie wächst also proportional der Wassermasse und pro-

portional dem Quadrat der Geschwindigkeit. Mit zunehmender Wassermasse kann also ein Fluss mehr Geschiebe transportieren. Dagegen hängt es von der Geschwindigkeit ab, wie gross die Geschiebe seien, die er noch fortzubewegen vermag. — Ein Fluss wie der Mississippi transportiert z. B. jährlich 200,000,000  $m^3$  Schlamm ins Meer, darunter aber nicht einen faustgrossen Stein. Ein kleiner Gebirgsbach dagegen, dessen Wassermenge auch beim höchsten Stand vielleicht  $\frac{1}{10000}$  von derjenigen des Mississippi ausmacht, führt Blöcke von 2—4  $m^3$  Inhalt!

Sehen wir uns den Transport der Geschiebe an. Nehmen wir einen geschiebebeladenen Fluss an, der im Abnehmen begriffen ist. Er wird an irgend einem Punkt einen oder mehrere Blöcke fallen lassen, die er vorher gerade noch bewegt hat.

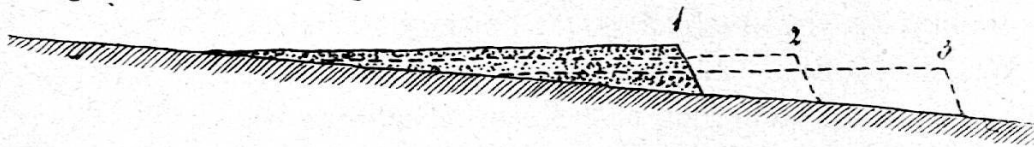


Fig. 2. Kiesbank.

Sofort werden im Stossschatten derselben sich andere, kleinere Steine anhäufen, und die Kiesbank wächst rasch flussabwärts. Die Oberfläche derselben ist ganz flach, fast horizontal; am untern Ende hat sie eine steile Böschung. Bei niedrigem Wasserstand ragt sie als Kiesinsel aus dem Wasser. — Wenn das nächste Hochwasser kommt, so nimmt die Geschwindigkeit des Wassers zu; schliesslich wird die Geschiebebank an ihrem obern Ende angegriffen, die Steine werden über die flache Seite der Bank gerollt und fallen auf der Leeseite, vor dem bewegten Wasser geschützt, zu Boden. So wird die ganze Bank auf der Oberseite abgetragen und wandert flussabwärts. Die Geschwindigkeit dieser Wanderung ist ausserordentlich verschieden: sie kann in wenigen Tagen 1 *km* betragen, aber auch bloss wenige Meter. Im gleichen Fluss wandern die Kiesbänke das eine Mal schnell, das andere Mal langsam, ja sogar die einen gleichzeitig schneller als die andern. Dabei bewegt sich das feinere Material schneller als das grobe. Die Lage der Geschiebe in einer solchen Kiesbank ist keine regellose. Vielmehr lagern sich alle mehr oder weniger plattenförmigen Steine dachziegelartig übereinander, und zwar wie in Fig. 3.

Sie werden eben vom Flusse so lange gedreht, bis sie obige Lage haben; dann bieten sie der Strömung des Wassers am wenigsten Angriffspunkte. — Das lässt

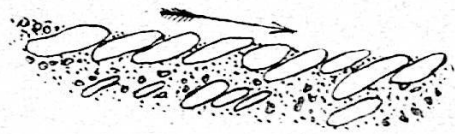


Fig. 3.

sich ganz hübsch sehen auf einer Geschiebebank in einem grössern Fluss. Blickt man flussaufwärts, so sieht man nur die schmalen Stirnseiten der flacheren Steine; blickt man aber flussabwärts, so sieht man von allen die breiten, flachen Seiten. Durch diesen Transport ändert sich auch die Form der Geschiebe: sie werden beständig zusammengeschlagen; dadurch werden Kanten und Ecken abgestossen und die Steine gerundet. Wenn man darauf achtet, kann man bei Hochwasser leicht das Zusammenschlagen der Steine im Wasser hören.

Auch die Oberfläche der Geschiebe wird dadurch in besonderer Weise bearbeitet. Sie wird glatt, aber im trockenen Zustande niemals glänzend, sondern matt. Dies rührt von unzähligen, feinen Stosspunkten her, welche die Oberfläche bedecken. Bei ganz zähen, homogenen Gesteinen treten statt dessen die Schlagfiguren auf, Kreise oder Halbkreise von 2—5 mm Durchmesser.

Wenn der Stein nämlich an einem Punkt *a* aufstösst, entstehen kegelförmig nach innen verlaufende Risse. Wird er dann nachher bis zur punktierten Linie abgeschliffen, so sieht man auf der Fläche einen kleinen Kreis, resp. Halbkreis. Das abgeschlagene Material liefert Sand und Schlamm, die viel rascher transportirt werden, als die grössern Geschiebe. Dadurch erzeugt der Fluss eine Sonderung der Geschiebe nach der Grösse. So z. B. findet man im Rhein bei Waldshut Porphyrgerölle aus der Umgebung von 0,6—1 m Durchmesser; bei Basel sind sie noch kopfgross, bei Heidelberg apfelgross, in Holland ist alles Sand und Schlamm.

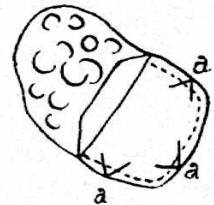


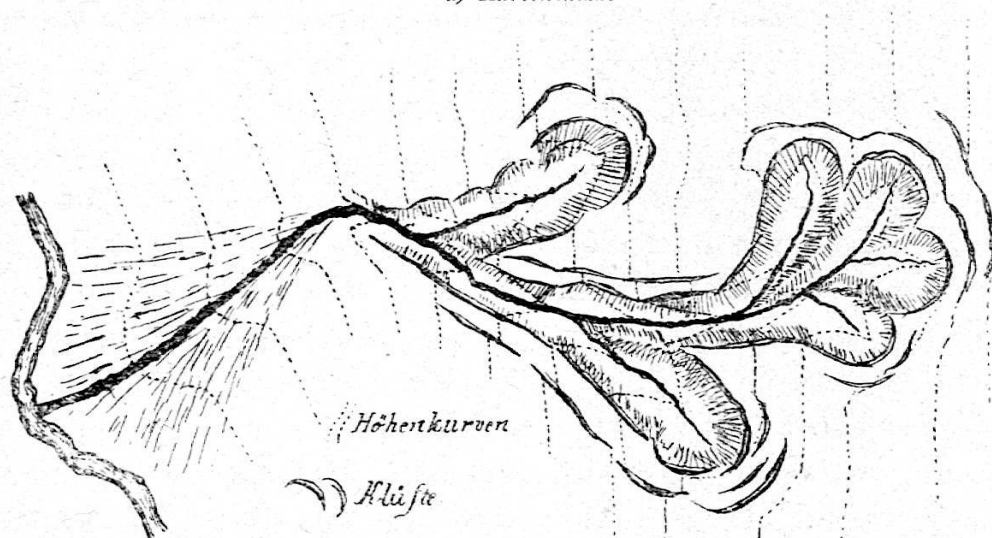
Fig. 4.

Es entsteht nun die Frage, was für ein Bett sich ein Fluss selbst schaffe, damit er schliesslich ins Gleichgewicht komme. Wenn das Gestein in seinem Bette überall das gleiche ist, wird dies der Fall sein, wenn die Stosskraft für alle Punkte die gleiche ist; dann wird weder ein Losreissen, noch ein Ablagern stattfinden. — Nun nimmt aber die Wassermasse im Fluss von oben nach unten zu, also muss die Geschwindigkeit abnehmen. Dies ist der Fall, wenn das Gefäll von oben nach unten abnimmt. Durch genaue Vermessung verschiedener Flüsse, z. B. des Rheins von Chur bis zum Bodensee, hat sich gezeigt, dass dem wirklich so ist, und dass die Kurve abnehmenden Gefälls mit fast mathematischer Genauigkeit eine Zyklode (Radlinie) ist. Aber in

Wirklichkeit tritt das Gleichgewicht doch nicht ein. Gesetzt, die Zyklode würde heute ganz genau für einen Fluss passen, so passt sie morgen schon nicht mehr, indem dann die Wassermenge des Flusses eine andere ist. Der Fluss muss sich also eine neue Zyklode konstruieren. Ehe er aber damit fertig sein wird, hat sich die Wassermasse schon wieder geändert. Bei diesem ewigen Korrigieren wird immer Material abwärts transportiert, nie aufwärts. Die Korrekturen bestehen oben immer im Wegnehmen, und das Tal greift immer weiter rückwärts ins

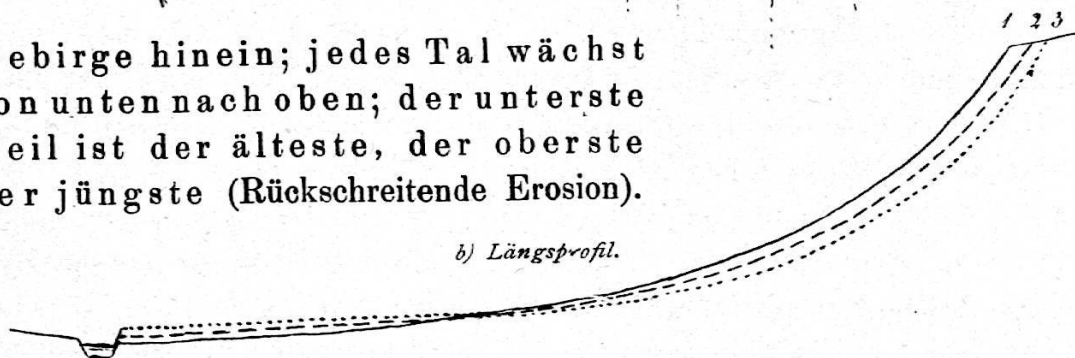
Fig. 5. Wildbach.

a) Kartenskizze.



Gebirge hinein; jedes Tal wächst von unten nach oben; der unterste Teil ist der älteste, der oberste der jüngste (Rückschreitende Erosion).

b) Längsprofil.



Wir finden in den Alpen zahlreiche Beispiele, die uns alle Erscheinungen der Erosion durch fließendes Wasser auf engstem Raum beisammen zeigen; das sind die Wildbäche. — Ein Wildbach zeigt, im Gegensatz zum Quellbach, bekanntlich eine ausserordentlich schwankende Wassermenge. Beim geringsten Regengusse stürzt er brausend und tosend aus seiner Schlucht heraus. Seine trüben, schlammigen Wasser wälzen grosse Massen von Geschieben, darunter oft Blöcke von mehreren Kubikmetern zu Tal. Nach wenigen Stunden, jedenfalls nach wenigen Tagen aber ist der reissende Bergstrom zum unschuldig klaren Wasserlein geworden oder sogar total vertrocknet. Wenn wir das Gebiet irgend

eines Wildbaches in der Natur oder auf der Spezialkarte studiren, so zeigen sich immer folgende drei Abschnitte: 1. Sammelgebiet, 2. Sammelkanal, 3. Ablagerungsgebiet.

Zu oberst haben wir das Sammelgebiet mit birnförmigen Umriss, d. h. oben breit, unten schmal. — Nach oben finden wir ein System von sich verzweigenden Schluchten, mit steilen, meist kahlen Wänden, mit scharfen Gräten zwischen denselben. Ein Querprofil durch das Sammelgebiet sieht daher so aus:



In ruhigen Zeiten fällt der von den Wänden sich lösende Verwitterungsschutt einfach in die Schlucht und bleibt liegen. Bei Regen wird er dann weiter geführt, ausgefegt, aber dadurch zugleich die Schlucht vertieft. Der Bach schneidet sich also vertikal ein. Sobald dies der Fall ist, so beginnt, langsam oder schneller, das Gehänge nachzustürzen und bewegt sich gegen den Bach hin. Es hat ja seinen Halt verloren, die Böschung ist steiler, als es sich mit der Festigkeit des Gesteins verträgt; daher bricht es nach. Auf diese Weise schärfen sich die Gräte zwischen den Einzelschluchten zu. — Aber auch am oberen Ende jeder Schlucht findet dasselbe statt: Einschneiden des Baches und Nachgleiten des Gehänges. Dadurch verlängert sich die Schlucht nach oben; es findet also rückschreitende Erosion statt.

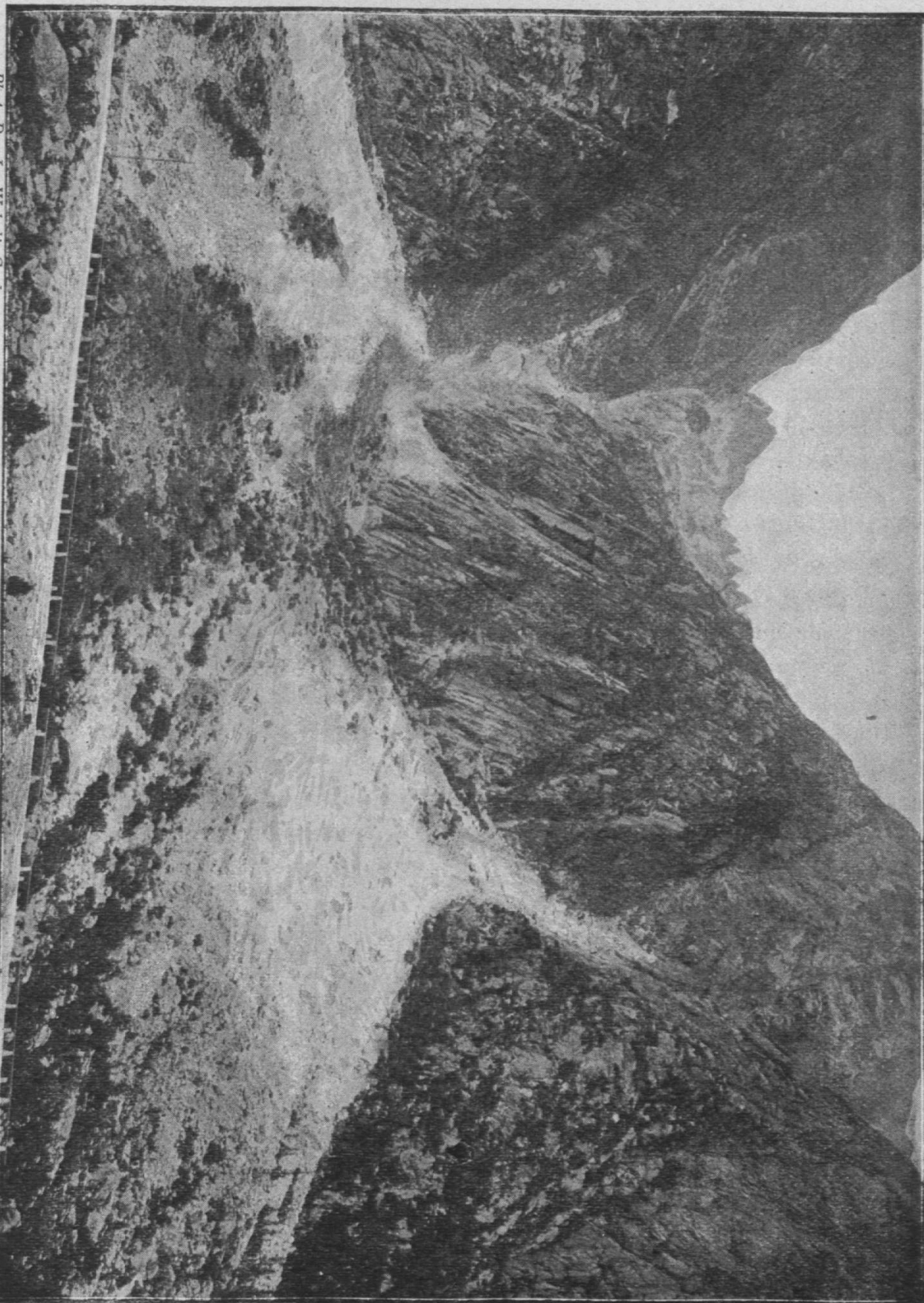
Bei diesem Nachgleiten der Gehänge können indes höchst verderbliche Erscheinungen eintreten: Wenn nämlich auf einmal eine grössere Masse im Bachbett rutscht, dann wird der Bach gestaut, es bildet sich ein See. Unterdessen wird die Schuttmasse mehr und mehr durchweicht, schliesslich kommt alles miteinander in Bewegung, und immer schneller und schneller fliesst der fürchterliche Brei von Wasser, Steinen, Erde, Holz u. s. w. talauswärts. Das sind die gefürchteten Murgänge, bei denen gewöhnlich die ganze Masse dann auf dem Schuttkegel liegen bleibt.

Das neueste Beispiel haben der Lamm bach und Schwanden bach bei Kienholz (Brienz) geliefert, welche am 31. Mai 1896 zirka 500,000  $m^3$ , vom 20. bis 24. August ca. 1,000,000  $m^3$  auf den Schuttkegel ausleerten. Dadurch wurden 40 ha Land, davon  $\frac{1}{3}$  gutes Kulturland überschüttet, 148 Personen wurden obdachlos.

Auch das Rückwärtsgreifen der Erosionsschluchten macht sich sehr unangenehm bemerkbar. Eine noch ziemlich zahme Erosionsschlucht, die aber doch fast ganz unbewachsen bleibt, ist die *Faletsche* am Ütliberg. Oben am Abrissrande führt bekanntlich ein Weg vorbei. Dieser musste schon wiederholt rückwärts verlegt werden. In viel grösserem Masstabe finden wir diese Erscheinung im Hochgebirge. So hat die Poststrasse, die am Rande des Laaxer-Tobels (Graubünden) hinführt, schon viermal bergwärts verlegt werden müssen. — Am schlimmsten aber treibt es die *Nolla*, die ihr Sammelgebiet zwischen Piz Beverin und dem Heinzenberg hat. Das Gestein ist hier sogenannter Bündnerschiefer, vorherrschend weiche schwarze Schiefer, die vom Wasser leicht zerstört werden. — Infolge des senkrechten Einschneidens der *Nolla* ist eine Fläche von mehr als 3 *km* Durchmesser buchstäblich in langsamer Strömung gegen das *Nolla*-Bett begriffen. Die Abhänge sind von zahllosen Klüften ungefähr in der Richtung der Höhenkurven durchsetzt, und jede Scholle näher am Fluss ist tiefer abgesunken als die weitere. Hier liegt ausnahmsweise im Sammelgebiet noch ein ziemlich grosses Dorf, *Tschappina*. Ein Riss geht mitten durch die Kirche; die eine Hälfte wandert von der andern weg; in den Häusern kann man nach einem Hochwasser Türen und Fenster nicht mehr öffnen, resp. schliessen. Häuser und Scheunen, die zusammengehören, wandern auseinander; Gütergrenzen und Marksteine verschieben sich u. s. w. Seit Menschengedenken beträgt die Verschiebung 30—50 *m*. Hier ist eben auch die vertikale Vertiefung des *Nollabettes* eine ganz ausserordentliche. Bei dem grossen Hochwasser vom September 1868 vertiefte sich die *Nolla* in wenigen Tagen um 10 *m*. Immerhin schnitt sich auch die *Maggia* schon in einem Jahre um 30 *m* ein, und zwar in hartem Gestein, in Gneis.

Die Verlängerung der Schluchten vieler Wildbäche nach oben beträgt jährlich 10—20 *m*. Mit der Verlängerung der Schluchten geht gleichzeitig auch deren Verzweigung nach oben vor sich: erfolgt eine Abrutschung an einem Seitenhang, so entsteht eine kleine Rinne. Sofort wird diese vom abfliessenden Wasser benutzt, ausgespült und weiter ausgebildet.

Im zweiten Abschnitt des Wildbaches findet keine Erosion mehr statt; Stosskraft und Festigkeit des Bodens halten sich das Gleichgewicht. Dieser Sammelkanal fehlt manchmal, indem an das Sammelgebiet sofort das Ablagerungsgebiet stösst. Da zeigen sich im Prinzip die gleichen Erscheinungen wie bei den Schuttkegeln, die sich am Fuss einer Felsnische aus trockenem Felsschutt aufbauen (siehe Fig. 6, links). —



*Phot. Dr. L. Wehrli, Geolog.*

**Fig. 6.** Schuttkegel an der Grimselstrasse, oberhalb Guttannen.

*Phototypie Art Institut Orell Füssli, Zürich.*



Der Bach lässt infolge der geringern Böschung das Geschiebe liegen und füllt sein Bett damit aus. Wenn er sich selbst überlassen bleibt, so wird er also sein Bett verlegen, sagen wir z. B. nach links. Dann drängen ihn die eigenen Ablagerungen immer weiter nach links, bis er die Talwand erreicht. Von dort muss er sich dann wieder zurückwenden und führt so im Lauf der Jahrhunderte, wenn ihn der Mensch nicht hindert, pendelartige Schwingungen über seinen eigenen Schuttkegel aus. Natürlich wird der Schuttkegel dadurch immer höher, an seiner Basis wächst er ins Haupttal hinaus, mit der Spitze nach oben ins eigene Tal.

In den Alpentälern findet man die Dörfer sehr häufig auf den Schuttkegeln der Seitenbäche angelegt. Diese waren eben durch die Erhöhung vor der Überschwemmung durch den Hauptfluss geschützt; sie enthielten zudem lockern Boden und eigneten sich zum Ackerbau. Sobald aber die Kultur vom Schuttkegel Besitz nahm, suchte man sich vor dem Wildbach zu schützen; man dämmte ihn ein. Der Bach erhöht natürlich trotzdem sein Bett, worauf der Mensch die Dämme wieder erhöht u. s. f. Dadurch entsteht das unnatürliche, gespannte Verhältnis, dass der Bach auf dem höchsten Teil des Schuttkegels fließt. Wenn dann einmal die Dämme durchbrochen werden, dann tritt eine solche Katastrophe ein, wie vor ca. sechs Jahren an der Guppenrins bei Mitlödi. — Wir treffen dieses Verhältnis hundertfach in den Alpen. Wenn man sich im Haupttal auf einer Strasse einem Seitenbach nähert, fängt die Strasse plötzlich an zu steigen; hat man den Bach überschritten, so fällt sie ebenso rasch wieder. Die Böschung eines solchen Wildbachschuttkegels ist natürlich viel flacher als bei den trockenen Schuttkegeln der Berggipfel. Während die Böschung dort bis  $30^{\circ}$  beträgt, sinkt sie hier bei kleinen Wildbächen auf  $20-10^{\circ}$ ; bei ganz grossen auf  $3-1^{\circ}$ . Die Grösse der Trümmer hat einigen Einfluss, indem grober Schutt bei gleicher Wassermenge eine grössere Böschung bildet.

(Forts. f.)