

und die Bergformen sind modelliert als Reste zwischen den Ausbruchsnischen. Auf der Ostseite des Hohenkastenklotzes folgt symmetrisch zu Rohr die Ausbruchsnische oberhalb Lienz.

10. Deyenstock (Klöntal). Es gibt Schlipfstürze, bei welchen nicht nur Schichtfugen die Gleitfläche lieferten, sondern sich zugleich noch eine tektonische Gleitfläche zur Verfügung gestellt hat. Wir haben solches gefunden im Abrissboden des Kanderstegerbergsturzes, des Flimser und des Engelberger. Das trifft auch zu beim Deyenstockbergsturz, dem jüngsten der grossen Glarner. Die Stirnumbiegung der Achsendecke, anstossend an der Säntisdecke und der Mürtschendecke und deren S abfallende Schubflächen mit Resten verkehrter Mittelschenkel bildeten die Basis der Bewegung im Abrissgebiete des Deyensturzes.

Manche Ausbruchsnischen von vorhistorischen Felsstürzen, deren Abrisszirkus stabil geworden ist, sind als gute Siedelungsplätze benutzt. So finden wir z. B. im Berner oberland die Dörfer Wengen und Beatenberg in Abrissgebiete gebaut, Wengen in Typ. XIV, Beatenberg in Typ. XV.

Typus XV. Fallsturz, Felssturz.

Unmittelbar stürzend; schon Ablösung und erste Bewegung unabhängig von der Schichtlage.

Über einige Abrissgebiete von Typus XV.

Allgemein ist hervorzuheben, dass die Fallstürze von besonderem Wassereinfluss frei sind. Im zerrissenen Fels hält sich Wasser nicht auf, wenn nicht undurchlässige Unterlage Stauung ergibt. Die Fallstürze vollziehen sich meistens mit ganz trockenem Gestein. Trockenes Abrissgebiet, trockene Talfahrt, trockene Ablagerung — kein Schlamm, aber Staub, Steinmehl in ungeheurer Menge!

Die Abrissnischen der Schlipfstürze sind sehr oft länglich in der Fallrichtung der Schichten und der Abgleitung. Die Abrissnischen der Fallstürze dagegen sind häufiger breiter als hoch. Auch bei den Fallstürzen kommen oft Abrissnischen vor von idealer Halbtrichterform mit steilster Böschung am obersten Rande. Manchmal greift oben der Trichter in die Wasserscheide hinauf und bricht darin eine Bresche aus. Benachbarte, nebeneinanderliegende oder entgegengesetzt gerichtete Ausbruchsnischen können sich gegenseitig anschneiden. Die Formen und die Art der Abtrennungen sind bei den Abrissgebieten der Fallstürze von grosser Mannigfaltigkeit. Man muss

jeden Fall für sich untersuchen. Die Abtrennung des Felsens findet immer statt nach den durch die Textur und Lagerung gegebenen Möglichkeiten. Es ist nicht möglich, darüber eine systematische Einteilung aufzustellen. Einige Hinweise sollen genügen.

Geschichtete Gesteine sind sehr oft ungefähr senkrecht zur Schichtebene durchklüftet, bald nur in einer, häufiger in zwei, manchmal in mehreren Richtungen. Die Abtrennungen finden dann meistens auf den Querklüften statt. Es gilt da zu unterscheiden:

1. Schichtung im Abrissgebiet annähernd horizontal gestellt. Abbrüche ringsum am Berge nach Querspalten möglich, oft treppenförmig durch Zusammensetzung von Ablösungsklüften und Schichtflächen.

2. Schichtung im Abrissgebiet bergwärts fallend, Abtrennung des Felsens in Schichtköpfen, Absturz in der dem Schichtfallen entgegengesetzten Richtung, im Querprofil gegen das Antiklinaltal.

3. Abbruch nach Querklüften, Aussenfläche und Sturzbahn in der Streichrichtung hinab in ein Quertal gerichtet oder parallel der Abtrennung in die Längstäler.

4. Senkrecht gestellte Schichten können auf Schichtflächen sich ablösen und sofort aus der Schichtung herausfallen, oder sie können durch Querklüfte abgelöst in der Streichrichtung abstürzen. Bei sehr steil bis senkrecht stehenden Schichten im Abrissgebiet spielt natürlich die Schichtfläche meistens nicht die Rolle einer Gleitfläche, sondern nur diejenige einer Ablösungsfuge. (Viele Beispiele für Nr. 4, wenn auch meistens in kleinem Ausmass im Säntisgebirge.)

Geschieferte Gesteine brechen leicht nach ihrer Schieferung auseinander. Aber auch bei Schieferung erfolgen die Abrisse meistens nach Richtungen, welche die Schieferung durchqueren. Dabei ergibt sich, wie bei Schichtung, sehr oft eine aus Schieferflächen und Querbrüchen zusammengesetzt getrepte Bruchfläche. Der Absturz kann in die Fallrichtung oder derselben entgegengesetzt, oder auch in der Streichrichtung eintreten.

Ganz massige Gesteine sind oft paralleleklüftig. Bei vielen treten Kluftsysteme ungefähr parallel der Aussenfläche auf (Zerfall in Schalen, Rindenschuppen etc.). Bei mächtigen Granit-, Syenit-, Diorit-Stöcken treten die mächtigsten unberechenbarsten Abtrennungen auf. Oft kommen vor: grosse Plattung, prismatische, säulige oder auch parallelepipedische Zerklüftungen u.a.m. Das alles macht sich in den Abrissgebieten geltend und sichtbar.

Einige Beispiele von Fallstürzen mögen genannt werden — historische wie vorhistorische.

1. Abbrüche von horizontal geschichteten Gebirgskanten:
 - Glärnisch-Guppen, interglazial, sehr gross;
 - Glärnisch-Gleiter, interglazial, sehr gross;
 - Diablerets a. 1714 und 1749;
 - Kleinere gibt es unzählige.
2. Abbruch von bergwärts fallenden Schichten oder Schiefen:
 - Klingenstock gegen Riemenstalden (Uri)
 - Vitznauerstock gegen Vitznau, Dezember 1879;
 - Ausbruchsnische in Bova gronda, Absturz nach Disentis, 1683.
 - Elm, 11. September 1881.

Eine grosse Anzahl schwerer Felsstürze haben sich vollzogen entlang dem Nordrand der Alpen, an der Stirn der vordersten Decken. Freilich ist die Schichtlage dann oft fast horizontal. So Nordrand Pilatus, Säntis, Allgäuer-Kalkalpen etc.

3. Flankenabbruch, in der Streichrichtung stürzend.
Pilatus, Absturz von Windegg gegen Hergiswil;
Zwischen Vorder- und Hinter-Lützelau am Vierwaldstättersee Trümmerstrom bis an das Seeufer aus der Flanke der Rigi;
Weisstantal linksseitig talauswärts vom Dorfe Weisstannen;
Evital bei Silenen, Uri, 1874;
Augstkammabbruch ins Krauchtal (Kt. Glarus);
4. Senkrecht gestellte Schichten brechen stürzend ab:
Steil N fallende kristalline Schiefer brechen nach steil S fallenden Klüften parallel der Aussenfläche des Berges ab. So z. B. ob Airolo am Sasso rosso (500000 m³, 10 Häuser, 3 Menschen, 15 ha Wald, 20 ha Wiesen verschüttet, 28. Dezember 1898 (Fig. 22).
Kleine Bergstürze vom Hundstein gegen Meglisalp, ferner von den Türmen nach N ins Weissbachtal fallend, Säntisgebiet. Zahlreiche kleine Bergstürze in den alpinen autochthonen Zentralmassiven.
5. Bergstürze aus massigen, ungeschichteten, ungeschieferten Gesteinen. Abtrennungen nach Erstarrungsspalten sind in den Alpen nicht sehr häufig. Hierher zählen viele kleinere Bergstürze im Granitgebiet des Bergell, sodann am Grate Stagias de Gliems (S Tödi) in Graniten und Syeniten.

Die stürzende Talfahrt der Felsstürze (XIV und XV).

Das Phänomen der Trümmerströme.

(„Sturzstrom“, „Schußstrom“, „Fallstrom“.)

Die Felsstürze, welche der Masse nach den gewöhnlichen Steinerschlag übertreffen und doch noch kaum kurzweg als Bergstürze bezeichnet werden können, nennt man: **Steinlawinen**. Sie sind wirklich Lawinen zu vergleichen. Die Steine rollen und drehen sich wie die Schneekugeln und sie bleiben in der Hauptsache beisammen, wie die Schneekugeln der Grundlawine oder, wie ich einmal eine Steinlawine aus der Ferne sah: Sie halten zusammen wie die Schafe einer erschreckten Herde. Wenn der Kubikinhalte des Stürzenden zwischen 10,000 und 100,000 m³ beträgt, wird man überrascht durch die sonderbare Tatsache, dass die durch einen Lawinenzug hinunter polternden Steine in der Hauptsache nicht auseinander springen, sondern gut zusammenhalten. Ist das vielleicht deshalb, weil der Widerstand für die Bewegung geringer ist, wenn ein möglichst grosser Teil der Blöcke nicht über den festen Boden sich rollen müssen, sondern wenn sie unter sich schon eine gleichgesinnte rollende Blockschicht empfinden? Abrollen, aufliegend auf einer Unterlage von rollenden Blöcken, geht leichter und schneller, als abrollen

auf starrem Grunde. Kann man einer Steinlawine etwas nahe zuschauen, so sieht man bei günstiger Beleuchtung sehr deutlich, dass die Blöcke auf der Rückenlinie in der Mitte der Steinlawine rascher abfahren, als diejenigen gegen den Rand. Dies ist schon die Erscheinung des **Fliessens!** Auf flacher Terrasse oder flachem Talboden angelangt, fährt eine etwas grössere Steinlawine nicht, Steine werfend, auseinander. Sie bleibt beisammen bis fast plötzlich alles stillsteht. Von einer Spritzzone ist fast nichts zu sehen. Der Rand ist geschlossen an der Front und an den Seiten wie bei einer Grundlawine. Wird die Fahrbahn der Steinlawine steiler oder finden sich gar in derselben steile Felsstufen, dann spritzen kleinere Steine nach den Seiten und besonders nach oben hinaus. Die meisten fallen wieder in die Steinlawine zurück. Der Vorgang erinnert an den Sturzbach, der auch reichlich spritzt. Aber die Hauptmasse verspritzt sich nicht, sie bleibt beisammen. Nach einer Erfahrung im Wallis (vergl. S. 181/82) liegt die natürliche Grenze zwischen Steinlawine und Felssturz zwischen einem Abbruchvolumen von 10000 und 20,000 m³. Es gibt Felsstürze, die in ihren Erscheinungen den Steinschlag oder die Steinlawine einerseits mit dem Felssturz andererseits verbinden, oder zwischen beiden schwanken. Ein solcher fiel vom **Vorderglärnisch** 1594 gegen N ab. Man findet darüber folgende Notizen:

Schichtung meist wenig S fallend. Jurassische Kalksteine in gewaltigen Wänden quergebrosen gegen N abfallend. Drei aus der Wand etwas vortretende Felszähne, die „3 Schwestern“ in ca. 2000 m Meerhöhe, dort eine Bruchzone beginnend, nach unten fortsetzend („der obere Bruch“). Fels stark mit vertikalen Spalten durchsetzt. Am 11. XI. 1593 stürzt die mittlere der 3 Schwestern ab; die Steinlawine wirft sich auf die grosse Sackbergquelle ca. 720 m ü. M. Die Blöcke zerstreuen sich ziemlich weit. 2. VII. 1594 anhaltendes Knallen, Niederstürzen einzelner Blöcke. Man sieht von unten, wie im oberen Bruch sich die Spalten weiteröffnen. Menschen mit ihrem Vieh verlassen die unterliegenden Ställe und Weiden. 3. VII. 1594 morgens 4 Uhr grosser Felsabsturz aus dem „oberen Bruch“; die unterste der 3 Schwestern stürzt mit ab. Grosser Staubrauch. Die Quelle des Oberdorfbaehes von Glarus wird zugeschüttet, bricht 9 Tage später wieder aus unter starken Verheerungen. Gewaltige Blöcke werden bis mehr als 1 km entfernt vom Fuss der Sturzwand geworfen. (Lit.: Dr. NIKOLAUS TSCHUDI, Jahrb. histor. Vereinigung Glarus 1869; BALTZER: Der Glärnisch, Jahrbuch des S.A.C.; OBERHOLZER: Bergstürze um Glarus, Beiträge z. G. d. Schw., Lfg. IX. n. F. 1900; E. Buss: Die letzte der drei Schwestern, S.A.C. 1891).

Aus den übrigen Mitteilungen über diesen Felssturz ergibt sich, dass wohl über 100000 m³ abgestürzt sind. Trotzdem unten Stauung, kein geschlossener kleiner Trümmerstrom, wie man ihn hätte erwarten können! Dafür ist in diesem Falle zweifelsohne Schuld die relativ sehr bedeutende Sturzhöhe von ca. 1300 m und die sehr steilen Sturzwände. Je bedeutender diese

beiden Faktoren sind, desto weniger leicht tritt die Sammlung zum geschlossenen Trümmerstrom ein, und desto eher gewinnt die Zerteilung in Steinschlag die Oberhand. Andererseits selbstverständlich: je grösser die gleichzeitig sich abtrennende Sturzmasse ist, desto sicherer wird unter sonst gleichen Bedingungen das geschlossene Strömen sich einstellen.

Ein Felssturz, der in den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts vom Gipfel des **Tödi** nach SW in Ober-Rusein stürzte, nahm bei 1400 m Sturzhöhe, aber nach unten weniger steiler Fahrbahn und ungefähr 150 000 m³ Inhalt Stromform, aber zugleich noch mit etwas umgebender Spritzzone an.

Die Natur ist nie verlegen, jede scharfe Abtrennung von Typen wieder mit Zwischenformen und Übergängen auszugleichen!

Trümmerstrom (auch genannt: **Schußstrom**, **Wurfstrom**, **Fallstrom**, **Sturzstrom**). Je grösser die gleichzeitig herunterbrechende Gesteinsmasse ist, desto überwältigender gestaltet sich die Stromform, desto deutlicher zeigen sich in ihrer Bewegung alle Erscheinungen des **Fließens**. Je grösser die Sturzmasse ist, desto kleiner wird im Verhältnis dazu der einzelne Stein, der im Trümmerstrom nun eine ähnliche Rolle spielt, wie das Wassermolekül im Fluss. Ein **Hemmnis** für den Strom aus Felstrümmern ist hingegen die viel grössere Reibung der Teile aneinander, und der Widerstand gegen Verschiebung innerhalb der einzelnen Trümmer — mit andern Worten die starren mechanischen Einheiten der Bewegung, die Steine, sind noch viel zu gross im Vergleich mit den Molekülen einer wirklichen Flüssigkeit. Ein teilweiser Ersatz bietet das höhere spezifische Gewicht und die viel stärkere Aufspeicherung der lebendigen Kraft aus dem Sturze.

Dass die Bergstürze Trümmerströme liefern, ist hie und da einmal geahnt, oder in schildernder Sprache vergleichend angedeutet worden. **EBEL** ist wohl der erste, der beim Anblick des Diableretschuttes das Wort **Steinstrom** schuf, und „Vater“ **MEYER** von Aarau schreibt 1807 über den: „alle Begriffe übersteigenden **Steinstrom** von Goldau“.

Aber dass es sich wirklich um eine Strömung handelt, das hat uns eigentlich doch erst deutlich und klar der Bergsturz von Elm, 11. IX. 1881, gelehrt (Fig. 17, 20 und T Fig. 19).

Die erste Publikation darüber ist enthalten in: **Der Bergsturz von Elm**, Denkschrift von **ERNST BUSS**, Pfarrer in Glarus und **ALB. HEIM**, Prof. in Zürich, mit Karten, Plänen und Ansichten, J. Wurster & Co., Geogr. Verlag, Zürich 1881, vergriffen. Eine physikalisch eingehendere beweisführende Darlegung der Vorgänge, gefordert durch eine widersprechende Publikation von **Aug. ROTHPLETZ** in Zeitschrift der Deutschen geolog. Gesellschaft 1881, folgt unter dem Titel: **ALBERT HEIM**, **Der Bergsturz von Elm** 1882 in dieser letztgenann-

ten Zeitschrift, erschienen in Berlin. Ein gutes Bild des Bergsturzes von Elm gibt das Relief des Bergsturzes von Elm in 1:4000 von ALB. HEIM (nach eigenen Vermessungen), aufgestellt in der Geolog. Sammlung der Eidg. Techn. Hochschule in Zürich (Sonnegstr. 5) und im „Gletschergarten“ in Luzern (Fig. 20).

Die allgemeinen Erscheinungen der Sturzströme in Bewegung und Stillstand.

Trümmerbewegung und Staubbildung.

Wir wollen zunächst versuchen, uns eine allgemeine Vorstellung über die Bewegung innerhalb eines stürzenden Blockstromes zu machen.

Immer werden zuerst, gleich nach der Ablösung, die Felsblöcke am grössten sein. Sehr rasch zerschlagen sie sich, und wir haben es mit einer Masse von kleineren Blöcken zu tun. Natürlich kommen bis ins Ablagerungsgebiet noch alle Grössen vor. [Es gibt Gesteine, die rasch kleinbrechen, andere, die stärker und länger aushalten.

Die einzelnen Blöcke drehen sich in Folge der zurückhaltenden Reibung am Untergrund und der vorwärtsdrängenden, im Schwerpunkt anfassenden Sturzbewegung. Sie sind nicht glatte Kugeln, sondern unregelmässig eckige und kantige Stücke. Da schlägt ein Block an den Felsgrund oder an einen Nachbarblock an. Unter entsprechendem Winkel elastisch abzuspringen, geht nicht, denn seine ihn umgebenden Genossen halten ihn gefangen. Der Schlag wird vom einen Block auf die benachbarten übertragen und von diesen aufgenommen und wegen gleicher Gefangenschaft wieder weitergegeben. Kein Block kann aus der vorgezeichneten allgemeinen Sturzrichtung hinaus, er bleibt eingeschlossen in der Hauptfabrlinie. Er pufft und wird gepufft. Nur die Stösse in der Hauptlinie werden in dem Trümmerwerk geduldet, abweichende bald aufgezehrt. Kommt ein kleinerer Block einmal an die Oberfläche des Trümmerstromes, so kann er etwas abspringen, fällt aber meistens gleich wieder in den Trümmerstrom zurück. Kurz, in der stürzenden ungeheuren Trümmermasse verliert jeder Block seine Selbstständigkeit. Alles fügt sich sklavisch der Gesamtheit. Es entsteht eine einheitliche Summenbewegung, ein gemeinsames Fliessen der ganzen Masse. Alle Stücke sind an die Masse gebunden, die Bewegung wird zu einem gemeinsamen, einheitlichen, brausenden, knirschenden und zermalmen-den Strömen. Der Strom bleibt scharf begrenzt, er gestattet kein Ausstreuen in einer Spritzzone!

Man sollte denken, dass in dieser Steinmühle alle Trümmer zu glatten Kugeln abgeschliffen würden. Das ist aber bei den natürlichen Bergstürzen nicht der Fall. Der Stein ist nicht so leicht zu bearbeiten

wie das Eis. Ein Bergsturstrümmerstrom vollzieht sich in 1 bis 2 Minuten. Wollte man runde Kugeln ermahlen, so müsste der Vorgang mehrere tausendmal länger an der Arbeit bleiben. Dass der Bergsturstrümmerstrom eine gewaltige Mühle ist, zeigt sich aber in der ungeheuren Mehl- oder Staubbildung. Der dahinfahrende Strom bläst dichte wirbelnde Staubwolken aus seinen Lücken aus, auch beim grössten Regenwetter, denn immer wieder werden neue trockene Bruchflächen und Reibungsflächen geschaffen. An den Blöcken findet man tief eingegrabene Schrammen und pulvrige Schlagnarben. Bei jedem grossen Bergsturze sind die Staubwolken ein unwillkommenes Hemmnis für die Beobachtung. In weitem Umfang wird die Umgebung in dunkle Staubwolken gehüllt und mit Staubfall von 1 bis 10 cm Dicke bedeckt. Menschen, die in die Staubwolken der Trümmerströme gerieten, erstickten oft beinahe und bekamen Hals- und Augenentzündungen, die sie viele Tage lang quälten (Berichte von Goldau und Elm). In der näheren Umgebung grosser Trümmerströme fällt grober Staub wie Hagel oder Riesel, etwas weiter weg sehen die vom Winde getriebenen Staubwolken wie ein dunkler Rauch aus. Nach dem Bergsturz von Goldau dehnte sich der allgemeine Staubregen über das ganze Zugerseegebiet aus, Cham wurde vom Staubregen dick bedeckt. Nach Plurs wurde Chiavenna in Staubwolken gehüllt. Die Nachrichten sind immer zu vereinzelt. Hie und da wird berichtet (Chiavenna), dass der Staub „widerlich stank“. Manche sehen darin gleich Schwefel, es ist aber der Bitumengehalt der aneinander geriebenen Steine, der diesen Geruch erzeugt. Die Trümmerströme sind wirkliche Staubmühlen. Beim Absturz an der Diablerets wurde der helle Tag in dunkle Nacht gehüllt, und die umliegenden Alpweiden wurden so sehr mit Steinstaub überschüttet, dass man das Vieh wegtreiben musste.

Als Kuriosum sei erwähnt, dass der holländische Geologe C. G. S. SANDBERG (im Haag) darauf verfallen ist, in unseren Alpen junge vulkanische Ausbrüche zu suchen und sie in den Bergstürzen zu finden, indem er das Getöse im Berginneren, das die letzte Vorbereitung zur Loslösung ist, für vulkanisches Gebüll und den Bergsturstaub für die Vulkanaschen hält. Die Berichte von Luan-Corveyrier und Diablerets seien die Berichte über „unzweideutige Vulkanausbrüche“. In photographischem Bilde stellt er uns den Gipfel des Mt. Catogne vor, an dem er einen Gipfelkrater sieht; er geht aber nicht hinauf. Laven werde man schon noch finden! Seine Kritik zeugt von so völliger Unkenntnis des Gebirges, dass ich, der ich der Hauptangegriffene bin, jede Verteidigung oder Erwiderung für ganz überflüssig halte. Erstaunlicherweise hat die Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft Sandbergs Märchen veröffentlicht (Band 79, Jahrgang 1927, Abhandlungen Nr. 1 und 2).

Es löst sich indessen bei grosser Geschwindigkeit nicht alle Bewegung in Fliessen, d. h. innere Verschiebungen aus. Ganze Massen

können einherfahren wie ein einheitliches Geschoss. Die moderne Hydraulik kennt diese Erscheinung und bezeichnet sie als Schuss. Daraus ist der Name Schußstrom gebildet. Fluss und Schuss gehen in einander über und finden bei grossen Geschwindigkeiten in- und miteinander statt (Erscheinungen in Goldau u. a.).

Brandung.

Um die Brandung, zu verstehen müssen wir vom einfachsten Falle ausgehen: Eine Kugel wird über eine horizontale Fläche gegen eine im Wege stehende Prallwand geworfen.

1. Steht die Prallwand senkrecht zur Wurfrichtung, so wird die Kugel auf der gleichen Linie zurückgeworfen, auf der sie herangerollt kam. Sind aber Kugel oder Wand gar nicht elastisch, so bleibt die Kugel am Aufschlagspunkte (deformiert) liegen.

2. Ist die Prallfläche eine schiefe Ebene und die Fahrbahn der Kugel senkrecht zur Schnittlinie der beiden Ebenen gerichtet, so brandet die Kugel eine bestimmte Strecke auf der Prallfläche empor und fällt dann wieder auf dem gleichen Wege zurück.

3. Ist die Anlaufbahn der geworfenen Kugel schief zur Streichrichtung der Prallfläche gerichtet, und sind beide wenig elastisch, so fährt die Kugel auf der Prallfläche schief hinauf — zuerst in der senkrechten Ebene ihrer Wurfbahn. Die Schwere zieht sie aber in der Fallrichtung der Prallfläche aus dieser Schussrichtung heraus. Die Kugel beschreibt dann auf der schiefen Fläche eine Wurfparabel, deren Axe in der Fallrichtung der Brandungsfläche liegt, und deren absteigender Arm gleich steil ist, wie der aufsteigende es war.

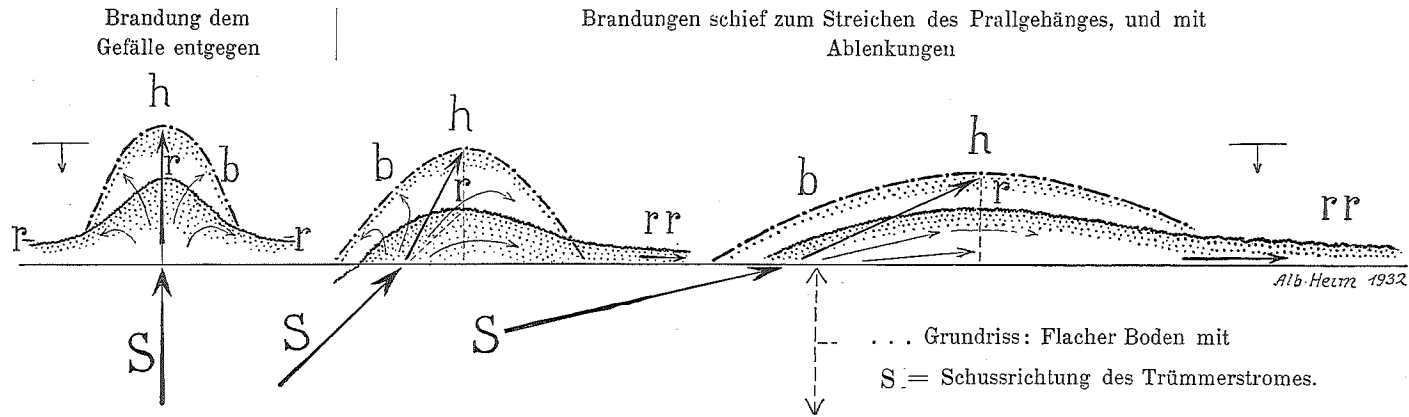
4. Wenn statt einer Kugel ein Trümmerstrom senkrecht zur Streichrichtung der Brandungsfläche anfährt, so brandet er an derselben empor und bleibt, wenn seine lebendige Kraft erschöpft ist, als erstarrte Brandungswelle liegen. Ist aber die Prall- oder Brandungsfläche zum Stillstand zu steil, so fällt die aufgebrandete Masse auf sich selbst zurück, und bildet, beiderseits abfliessend, Schuttkegel oder kurze Schuttströme, die in entgegengesetzter Richtung auseinanderfahren.

5. Fährt der Trümmerstrom schief zur Streichrichtung an das ihm im Wege stehende Gehänge, so brandet er auf wie die schief geworfene Kugel und beschreibt wie diese eine Wurfparabel bis zur Rückkehr auf die Horizontalfläche. Dann aber fährt er, angeschmiegt in der Streichrichtung dem Fuss der Brandungsfläche entlang, nach der Seite des stumpfen Anwurfwinkels.

In allen Fällen der Brandung zeigt sich deutlich, dass das nach geschehener Brandung noch notwendige Abfliessen der Trümmermassen an der Basis des Brandungsabhanges nicht eine Fortsetzung des absteigenden Parabelastes ist, sondern unter demselben, von der Brandungsparabel deutlich abgesetzt, herausschiesst. Die Art, wie dies geschieht, ist stark abhängig von der Masse des nachrückenden Trümmerstromes und der zeitlichen Verteilung derselben. Oft entwickelt nur der vorderste Teil eines Stromes normale Brandung. Der nachfolgende ist durch den vorangegangenen teilweise gehemmt.

6. Jede Brandung, dem Gegengefälle direkt entgegenfahrend, hat zur Folge ein Zurückwerfen eines Teiles der Masse — jedes schiefe Anprallen eine Ablenkung des Stromes. Die Ablenkung findet statt nach der Seite des stumpfen Prallwinkels, und ändert die Stromrichtung um den Betrag des Nebenwinkels zum

Aufriss der Prallwand mit Brandungen bei verschiedenen Richtungen von S.



b = Rand der Brandungswelle (Parabel). h = Brandungshöhe. r = Rücken der Stauung am Widerstand.

rr — r oder rr = Abflussrücken des abgelenkten Trümmerstromes.

Fig. 15. Die Brandung der Sturzströme an Gegenhängen.

stumpfen Prallwinkel. Die abgelenkten Ströme schmiegen sich dann, wie etwas beruhigt, dem Fusse der Prallwand an.

Damit sind wir schon in das Kapitel Teilung und Ablenkung getreten, und haben in die zunächst rein mechanische Betrachtung Bergsturzerscheinungen einbezogen.

Wenn der einzelne Block im Trümmerstrom nicht mehr elastisch von Aufschlagstellen abspringen kann, so können wir ein solches Abspringen auch nicht vom ganzen Strom erwarten. Führt ein solcher an eine entgegenstehende Talwand, so brandet er an derselben empor wie Wasser, staut sich oder überwirft sich rückwärts über sich selbst. Während Wasser in der Brandung hin und her schlägt, bleibt der weniger bewegliche Trümmerstrom meistens schon mit dem ersten Rückschlag erstarrt stehen. Zwischen der Talwand und dem zurückgeworfenen und dadurch verdickten Rande des Trümmerstromes entsteht dadurch sehr oft das bezeichnende Brandungstälchen.

So z. B. bei **Sool** sehr schön zwischen der Kalkbreccie des Glärnisch-Guppensturzes und dem Verrucano-Abhang von der Fässisalp auf $1\frac{1}{2}$ km Länge S—N mit 20 bis 70 m Tiefe und 200 bis 300 m Breite. Hinter dem Schutthaufen Motta di Meschino, der den **Poschiavosee** gestaut hat, ca. $1\frac{1}{2}$ km lang, 20 bis 30 m tief, 150 bis 300 m breit, liegt das Tälchen von Selva piano. Der Bergsturz von **Parpan** endet am Abhang des Stätzerhornes mit einem hoch aufgeworfenen wie eine Reihe von bogenförmigen Endmoränen auf über 2 km S—N Länge sich erstreckenden Walle von 1 bis 10 m Höhe, der Bäche ablenkt und die westliche Brandungswelle darstellt. Fig. 26, S. 136.

Sehr schön und klar ausgebildet sind die Brandungsformen bei dem Trümmerstrom, der den **Obersee** im **Kt. Glarus** gebildet hat. Ein grosses Schichtenpaket von vorherrschend Schrattenkalk mit etwas Gault und Seewerkalk darüber ist an der Nordseite des Rautispitz auf 40° (ungewöhnlich!) Schichtenfall abgestürzt und gegen N geworfen worden. Sturzhöhe, Abrissrand bis Fuss der Steilbahn = 1380 m = 41° , Aufbrandung am gegenüberliegenden Flyschberg 216 m, Meerhöhe der Brandungswelle 1115 m; das ist = $\frac{1}{6,4}$ bis $\frac{1}{6}$ der Sturzhöhe. Teilung des Schuttstromes an dem gegen ENE streichenden SSE fallenden Flyschberg „Landottberg“ nach links 1300 m weit taleinwärts; nach rechts talauswärts 3600 m weit. Dabei Ablenkung des Linkszweiges um 98° , von der ursprünglichen Nordrichtung, des Rechtszweiges um 74° . Vom Teilpunkte gegen ENE führt der Hauptstrom auf 2600 m Länge im Muldental, dann bei 700 m Höhe über den Rand der Talstufe und durch diesen letzten Sprung neu belebt, hinab ins Haupttal (Linttal) und in dessen flachem Talboden noch 600 m weit radial fächerförmig ausgebreitet (Näfels). Die gekrümmte Mittellinie des Stromstriches vom Anrissrand am Rautispitz bis über Näfels misst 5 km, die Fläche der Ablagerung $2,7 \text{ km}^2$, das Volumen ca. $120,000,000 \text{ m}^3$. Gesamte Weghöhe vom Abrissrand bis zum Stromende bei Näfels = 1840 m, Fahrböschung = 16° . Obschon vorhistorisch, zeichnet sich der Schuttstrom von Rauti-Obersee durch die überall klare unverletzte Gestalt und Umrandung aus. „Kein Stein überschritt die scharf gezeichnete Grenzlinie.“ Gegen N umgibt ihn ein Brandungstälchen von 2 bis 15 m Tiefe zwischen den Brandungsbögen der Trümmermasse und deren anstehender, darunter hervorsteigender Gehänge-

unterlage. (Diese Notizen sind grösstenteils der klassischen Darstellung von J. OBERHOLZER „Prähistorische Bergstürze in den Glarneralpen“ in „Beiträge“ n. F. Lfg. IX. 1900, z. T., teils älteren eigenen Beobachtungen entnommen. Da dieser so lehrreiche Bergsturz so wenig bekannt ist, habe ich ihn hier kurz besprochen.)

Wie ein reissender Fluss an einem seiner Bewegung in den Weg tretenden Hindernisse aufbrandet und sich teilt, so macht es auch die Schneelawine, die Eislawine (Spitalmatte Gemmi) und so macht es der trockene Trümmerstrom der Felsstürze. Wir haben eine Menge von Beispielen, wo das Aufbranden 50, 100, sogar solche wo es 200 bis gegen 300m Höhe erreicht! Es ist das meistens $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{6}$ der vorangegangenen Sturzhöhe. An den Rändern der Brandungswellen findet sich keine Streuung der Trümmer, keine Spritzzone.

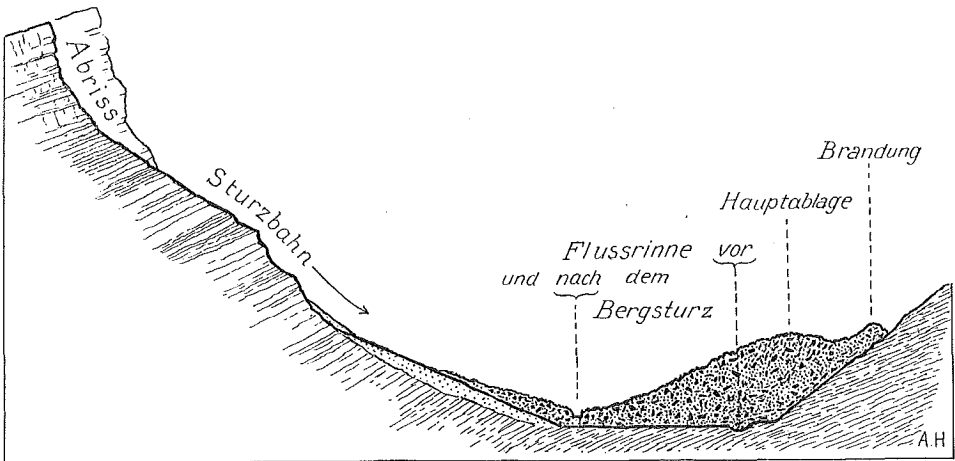


Fig. 16. Flussverschiebung durch Bergsturz.

Das Aufbranden an entgegenstehendem Steilgehänge wird um so höher, je senkrechter der Stromschuss zum Streichen (den Horizontalkurven) der Prallwand gerichtet ist. Es geht höher hinauf, wenn das Gegengefälle der Prallwand etwa 30 bis 40° beträgt, als wenn es 70 bis 90° oder unter 30° steht. Bei ganz rechtwinkligem Aufprallen und kleineren Bergstürzen kann es vorkommen, dass der Blockstrom nur emporbrandet, sich darin zum Stillstand erschöpft, und nicht seitlich abgewendet wird (Disentis 1683).

Wenn ein Sturzstrom von einem Steilabhäng herab in ein Tal fährt, so kann er nicht auf dem Talboden gleich anhalten. Er fährt wie eine sehr scharf geworfene Kegelkugel über den flachen Boden und dann am gegenüberliegenden Gehänge hinauf. Dort, am Gehängefusse bleibt der grösste Schutthaufe stehen, nicht am Fusse

derjenigen Talseite, von der der Sturz abgebrochen ist! So kommt es, dass die neue Talrinne eines von Bergsturz gedämmten Tales meistens nahe der Abrißseite liegt, der Schutthaufe im Gegenteil gegenüber der letzteren (Fig. 16).

Teilung und Ablenkung.

Mit einer starken Brandung ist auch eine starke Stauung des Stromes verbunden. Dieselbe führt dann meistens zu einer Teilung des Stromes, vom Hindernis weg nach beiden Seiten. War die Sturzrichtung senkrecht auf die Streichrichtung der im Wege stehenden Talwand, so staute sich der Schutt am höchsten und floss dann nach beiden Seiten in etwa gleicher Masse ab; die beidseitigen Teilströme erhalten etwa gleiche Stärke (Parpan, Fig. 26). Steht das stauende Gehänge schief zur Schussrichtung des Trümmerstromes, so kann ebenfalls eine Spaltung desselben eintreten. Dann aber wird der Stromteil, der sich weniger als 90° abwenden muss (stumpfer Winkel mit der Schussrichtung) stärker, derjenige, der um mehr als 90° abgewendet werden muss (spitzer Winkel mit der Schussrichtung) schwächer (Flims, Obersee am Rautispitz, Poschiavo). Je schief der Winkel von Schussrichtung zur Richtung der Brandungswand ist, desto mehr gewinnt der stumpf abgelenkte Strom und verliert der spitz zurückgewendete. Schliesslich bei ganz schiefer Richtung gibt es keine Stromspaltung mehr, sondern nur Ablenkung (Kandersteg, Voralpseestauwall u. a.).

Sobald im Grundriss gesehen die Schussrichtung des Blockstromes etwas schief zur Streichrichtung der Prallwand gerichtet ist, so entsteht beim Anprall eine Bewegungskomponente, die nach der Seite des stumpfen Winkels zur **Ablenkung** drängt. Je schief der Winkel, desto weniger hoch, aber desto breiter und länger und desto sicherer und vollständiger wird die Ablenkung, und desto geringer die daraus sich ergebende Bremsung für den weiteren Lauf des Trümmerstromes (Kandertal, Diablerets erste Ablenkung). Die voranstehende Figur 15 mag die Reihe vom senkrechten Aufprall bis zum ganz schiefen erläutern.

Der Trümmerstrom hat eine mässige Druckfestigkeit, ist aber plastisch auf Druck. Er hat ferner grosse Bewegungsenergie, aber keine Zugfestigkeit. Letztere fehlt wie in Sand oder in einer Flüssigkeit, weil die mechanischen Elemente, die einzelnen Steinstücke, nicht miteinander durch eine Kohäsion wie die Moleküle eines Festkörpers, auch nicht durch eine Klebkraft, wie diejenigen einer zähen Flüssigkeit (Honig, Teer etc.) verbunden sind.

Der Trümmerstrom von Bormio gibt uns ein Beispiel dafür, wie eine Bergecke ihn teilen kann wie der Brückenpfeiler den Fluss (Fig. 25).

Luftsprung.

Wie ein Sturzbach oder ein Wasserfall, der auf eine hinaustretende Felsplatte trifft, von dieser in die freie Luft hinausgeworfen wird, bis er in absteigendem Bogen die Bachrinne wieder erreicht, so kann auch der trockene Felssturzstrom, wenn er nach einem starken Stück steilen Abfalles über eine Terrassenkante fahren muss, dieselbe als Sprungbrett benützen und von ihr weg horizontal in die Luft hinausschiessen. Auch das ist, nur in etwas umgedrehter Lage, eine Brandung. Wie beim abspringenden Wasserfall, so ist auch beim Sprung des Trümmerstromes seine untere Fläche scharf und glatt begrenzt, bis zum Wiederaufschlagen auf den Boden. Man sieht unter der springenden Steinwolke hindurch ganz klar die Landschaft im Hintergrunde. So war es in Goldau beim Sprung über die Felswand oberhalb Grossweiher von der Nagelfluhkante bei 600 m auf 500 m der Grossweiherfläche, und so war es in Elm beim Sprung vom Schieferbruchboden bis Alpegli am Fuss des Düniberges. Nach oben aber springen die Steine zum Teil etwas auseinander und dicke Staubwolken wirbeln in die Höhe und hemmen den Blick.

Der freie Luftsprung muss eine Verkleinerung des Fahrwinkels und damit eine Verlängerung des Schußstromes zur Folge haben, denn er hat auf seinem Abschnitt der Sturzbahn die Hemmungen durch äussere und innere Reibungen fast vollständig ausgeschaltet.

Geschwindigkeit.

Die grossen Felsstürze bewegen sich mit einer ungeheuren Geschwindigkeit, viel schneller, als die Lawinen. Die Augenzeugen von Trümmerströmen (Goldau, Elm) schildern mit Bezeichnungen wie: „pfeilschnell“, „schneller als eine Lawine“, „mit unglaublicher, unbegreiflicher Schnelligkeit“, „schneller als die Eisenbahn“, „wie aus einer Kanone geschossen“ „in einem Augenblick“, „im Nu ist die Masse von der Abrißstelle bis über die Ebene hinausgefahren“.

Man muss sich aber immer vergegenwärtigen, dass diese Geschwindigkeit nicht von der Neigung der Unterlage herrührt; sondern dass es eine Wurfgeschwindigkeit ist, hervorgegangen aus einem eben erlittenen Absturz — also aus einer vorangegangenen Ladung mit lebendiger Kraft.

Mehrere Augenzeugen bei Bergstürzen können Aussagen darüber machen, welche Strecke sie in äusserster Fluchtgeschwindigkeit zu laufen vermochten vom Momente, da sie die Gefahr erkannten, bis der Schuttstrom an ihnen vorbeigefahren war, oder bis diese oder jene

Häuser weggeschlagen wurden. Die genaueste und zusammenfassendste Angabe der Art, die ich finden konnte, stammt vom jüngsten befragten Zeugen von Elm, dem damals 11jährigen sehr intelligenten Knaben Fridolin Rhyner. Er war aus Untertal geflohen und stand einen Augenblick auf der Sernftbrücke am rechtsseitigen Widerlager still, nach dem Tschingelberg zurückschauend. Da sah er, wie der ganze Plattenbergkopf losbrach. Erschreckt lief er mit noch vier anderen Knaben über die Brücke auf die Landstrasse. Er hörte Häuser und Brücke hinter sich zusammenkrachen. Neben der oberen Ecke vom Hause von Lehrer Wyss hielt er inne und sah zurück. Der Steinstrom hatte sein ganzes Zerstörungswerk eben schon vollbracht und stand starr und still. Der Weg, den Fridolin dabei, $\frac{1}{3}$ gegen E abwärts, $\frac{2}{3}$ aufwärts gegen S, dazwischen eine Richtungswendung um 90° , zurückgelegt hatte, misst (nach einem Bericht von Geometer Wild an mich) 190 m. Dafür gebraucht ein gewandter Knabe, wie er es war, 38 bis 40 Sekunden. Rechnen wir dazu noch 5 Sekunden für das Erfassen der Gefahr und die Besinnung zum Start, so kommen wir auf 45 Sekunden für die Gesamtdauer des Felssturzes. Die Trümmersmassen haben also vom obersten Abriss bis zum Stillstand einen Stromstrich von 2500 m in 45 bis 50 Sekunden zurückgelegt, woraus die mittlere Geschwindigkeit sich auf ca. 50 m in der Sekunde berechnet. Ganz ähnlich sind die von Dr. MÜLLER berechneten Zahlen, S. 150.

Aus anderen Angaben erhält man für den Absturz der Hauptmasse in Elm ungefähr $\frac{1}{2}$ Minute und für die Ausbreitung vom Düniberg bis zum Stillstand nochmals eine halbe Minute. Hieraus ergäbe sich eine mittlere Geschwindigkeit von 45 Sekundenmetern. Die maximale Geschwindigkeit hat gewiss 100 Sekundenmeter übertraffen.

Für Goldau bringt uns die Schätzung aus einigen Zeugenaussagen auf 1 bis $1\frac{1}{2}$, höchstens 2 Minuten. Daraus kann man eine mittlere Geschwindigkeit von 40 bis 70 Sekundenmetern errechnen. Diese Schätzungen können aber wohl um 50 % unrichtig sein. Bewegungen zwischen 50 und 150 Sekundenmetern sind bei Bergstürzen wohl die Regel.

Vor dem Stillstand des Trümmerstromes konnte in Elm und Goldau niemand eine Verlangsamung der Bewegung erkennen. Es schien immer, der Stillstand trete „plötzlich unvermittelt“ ein. Gewiss war die Beobachtung einer Abnahme in der Geschwindigkeit fast unmöglich, obschon sie notwendig sich einstellen musste. Immerhin bleibt die Tatsache sicher, dass der Stillstand für unsere Beurteilung als fast

plötzlich erschien. Das ist ein gewaltiger Unterschied gegenüber dem Benehmen der Schleichströme. Ein weiterer besteht darin, dass der stillstehende Schußstrom stehen bleibt und sicher sich nicht wieder bewegt. Sein Werk ist getan.

Auch das fast plötzliche Stillstehen ist verständlich aus folgenden Gründen:

Bei ungeheurer Geschwindigkeit ist die Reibung sehr gering, sie hat gewissermassen nicht Zeit, anzupacken. Wenn sie aber abnimmt, so tritt sofort die verstärkte Reibung in Spiel und schafft „beschleunigte Verlangsamung“. Der Schuttstrom schürft den Ackerboden aus, wodurch oft fast plötzlich die Reibung am Untergrunde sehr stark vermehrt wird. Der Haufen von ausgeschürftem Boden mit allerlei Einschlüssen (Häusertrümmer, Bäumen etc.), der an der Stromstirne sich auftürmt, wird ein immer grösserer Widerstand. Mit einer Ausbreitung des Trümmerstromes in offenem Gelände nimmt rasch die Reibungsfläche zu, die Geschwindigkeit ab. Endlich ist die lebendige Kraft der stürzenden Masse in Überwindung von Hindernissen, äusserer und innerer Reibung, aufgebraucht worden. Das Zusammenwirken aller dieser Ursachen bedingt ein fast plötzliches „Erstarren“. Wenn ich dies sage, ist selbstverständlich das Wort „plötzlich“ nicht in mathematisch physikalischem Sinne gemeint, sondern im praktischen, alltäglichen. Für unser Gefühl und Auge ist es „plötzlich“.

Es ist zu erwarten, dass der eben in Stillstand gelangte Trümmerstrom merklich erhöhte Wärme hat. Bis jetzt scheint dies noch nie bewusst beobachtet worden zu sein.

Strombild, Fluidalstruktur, Stromform, der Strom als Ablagerung (Fig. 20, 21 etc.).

Wenn wir einen grossen, jetzt tot daliegenden Felstrümmerstrom von günstigem Standpunkt aus, z. B. von der Abrisskante aus, überblicken, so tritt uns oft mit ergreifender Macht die Erscheinung der Strömung vor Augen — so gut, oder noch besser, als beim Gletscher oder beim Lavastrom! Eine riesenhafte Fluidalstruktur ordnet die verschiedenen Materialien (grosse Blöcke, kleinere Blöcke, Blöcke verschiedener Gesteinsart und Herkunft, eingeschleifte Erdmassen) in langgezogene, der Talform angeschmiegte Schlieren oder Streifen. Der mittlere Stromstrich zeigt querverlaufende, abwärts ausgebogene Wellen und ist stets am höchsten. Bei Eintritt in eine Talverbreiterung verliert die Oberfläche an Wölbung und die Wellen verflachen sich. Es ist sehr bemerkenswert, dass Form und fluidale Struktur unseres in 1 bis höchstens 3 Minuten hergerasteten Schuttstromes so ganz

überraschend ähnlich ist den Gestalten, welche durch langsame Bewegung entstehen! Nur das Aufbranden fehlt den langsamen; an dessen Stelle tritt stille Stauung und Ertasten des tiefsten Abflusses, wozu der Schußstrom keine Zeit hat.

Dass im Trümmerstrom des Felssturzes die Mitte sich höher wölbt — stärker als beim Fluss — kann bei jedem stehenden Trümmerstrom noch gesehen werden. Dass wirklich die Bewegung in der Mitte des Stromstriches am schnellsten war, haben Augenzeugen schon oft beobachtet.

Wo beginnt das Ablagerungsgebiet, wo die Ablagerung? Jedenfalls erst dort, wo die Böschung der Fahrbahn geringer wird als die Schutthaldenböschung (ca. 35°). Bei Steinschlägen beginnt sie bei Schutthaldenböschung, nicht aber bei Bergstürzen. Auf der Schutthaldenböschung mag die Grenze zwischen Zunahme der lebendigen Kraft (und der Geschwindigkeit) sein und deren Aufzehren beginnen.

Der Vorrat von $\frac{m v^2}{2}$ reicht aber noch viel weiter. Erst wenn er ganz aufgezehrt ist, setzt diejenige Verlangsamung ein, die eine Ablagerung zulässt. Das ist oft erst im flachen Boden draussen, verteilt im langen Trümmerstrom, der Fall. Je bedeutender der Bergsturz nach Sturzhöhe und Masse ist, desto weiter hinaus wirft er sein Ablagerungsgebiet.

Von einer Stelle dauernd abnehmenden Gefälles an wird der ganze Trümmerstrom auf seiner vollen Länge zum Ablagerungsgebiet. Die hinteren Teile erschöpfen durch die Übertragung ihrer lebendigen Kraft an die vorderen ihre Energie früher und bleiben deshalb zuerst liegen. An dem in Stillstand gelangten liegenden Trümmerstrom beobachtet man in der Regel, dass seine Dicke am Anfang der Ablagerung am mächtigsten ist, und von da gegen das unterste Ende, oft auffallend regelmässig, abnimmt. Abweichungen davon entstehen nur durch besondere Ursachen, besondere unregelmässige Widerstände (Bergvorsprung, Schwellen in der Fahrbahn, Teilung, Brandung, Ablenkung). Das Stillstehen beginnt mit den tiefsten Steinen. Die oberen rollen und fahren noch schneller. Im hintersten Teil der Ablagerung und von da an abwärts streckt sich der Strom immer mehr bis an sein unterstes Ende. Dadurch und durch das zunehmende Liegenbleiben der unteren und seitlichen Blöcke nimmt er an Dicke ab. Je weiter nach vorne im Trümmerstrom ein Block liegt, desto mehr hatte er von seinen Hinterblöcken durch Stösse und Püffe Kraft übertragen erhalten. Je weiter zurück im Strome er liegt, desto früher hat der Energieersatz durch Stösse von hinten aufgehört, so dass er selbst liegen bleiben kann. Ein langer Trümmerstrom auf flachem Boden

steht zuerst im rückliegenden Teil still. Der mittlere und die Front erstarren je einige wenige bis vielleicht 10, oder höchstens 30 Sekunden später. Der Schuttstrom ist Ablagerungsgebiet geworden.

Die am stillstehenden Strome sichtbaren Formen sind vorherrschend diejenigen der letzten Schwenkung der gewaltigen Bewegung, und sie verdecken teilweise die in der ersten Viertels- oder halben Minute vollzogenen Strömungen. Der Stromstrich verschiebt und verbiegt sich während der Schussfahrt um so mehr, je weniger gleichförmig und geradlinig Fahrbahn und Ablagerungsbahn sind. Das bleibende Fluidalbild ist dasjenige vom Schluss der Bewegung. In Elm z. B. war deutlich zu erkennen, dass nur der vordere Teil der stürzenden Masse ganz an den Düniberg hinaufbrandete. Der mittlere aber, durch den vorderen gehemmt, wendete sich, schon wenig nach beginnendem Aufstieg zur Brandung, nach links dem Bergfusse entlang, wie es uns die prachtvolle Fluidalzeichnung des Stromes an der Bergecke S-Knollen zeigt (Fig. 20!). Massen, die an den Düniberg hinaufschossen, und dort oben, die Bergkante horizontal tief durchfurchend, sich westlich hinauswarfen, konnten nicht zugleich am S-Fusse der Bergkante in so prachtvoller Fluidalanordnung stehen bleiben. Diese letztere ist wohl einige Sekunden später von Trümmern erzeugt worden, die unten entlang flossen und nicht erst an den Düniberg hinauf gerannt waren. Das gleiche gilt teilweise von dem flachen Hauptstrom zwischen Äschen und Müsli. Ähnliches finden wir auch bei anderen Sturzströmen. Freilich sind derartige Erscheinungen nur noch kurze Zeit nach der Katastrophe deutlich zu erkennen.

Wir müssen festhalten: Nicht jeder Stein beschreibt die ähnliche Fahrt. Nach Lage beim Abbruch und nach Zeitfolge krümmt sich der Stromstrich etwas anders. Vorhut, Gewalthaufe und Nachhut ändern ihre Schussbahn oft ziemlich stark während ein und derselben Katastrophe in Bruchteilen einer Minute. Mit der momentanen lokalen Stromstärke (Querschnitt mal Geschwindigkeit) müssen sich nach Ort und Zeit innerhalb des gleichen Vorganges die Flussfäden verschieben. So verbirgt und kompliziert sich sehr oft das Bild der Bewegung.

Der Schuttstrom, als Ablagerungsgebiet grosser Felsstürze, erfüllt die Bergtäler meist in ihrer ganzen Breite. Die Oberfläche zeigt grosse Wellenberge, die mit Wellentälern und Löchern abwechseln. Das sind aber nur die Oberflächenformen, das Aufschäumen in 1 bis vielleicht 10 m Höhe, während meistens die Dicke des ganzen Stromes 20 bis 60 m und sogar mehrere hundert Meter (Flims) beträgt. In Gebieten, wo der Strom in die Breite sich dehnte, findet man häufig auf grossen

Blöcken, deren Umrissgestalt angepasst, pyramidale Haufen feineren Schuttes. Solcher Schutt liegt auch unten in den Lücken und Löchern zwischen den grossen Blöcken. Auf grobblockigem Material war kleinblockiges gelagert. Eine letzte Ausbreitung des Schuttstromes erzeugte eine Dilatation. Die grossen Blöcke wurden auseinandergerückt, und auf ihnen blieb der Kleinschutt stehen, der nicht zwischen die Grossblöcke fallen konnte. (Elm zwischen Aeschen und Müsli; Bergsturz Frank in Canada-Alberta etc.). Selbstverständlich wird die Abwitterung bald diese Pyramiden zerstören. Ein frischer Trümmerstrom ist oft sehr mühsam zu durchwandern. Je nach dem Material hält die Bodenstruktur eines Trümmerstromes länger an (Goldau, Diablerets-Derborence), oder sie wird bald verwischt, wobei oft künstlicher Eingriff mithilft (Elm).

Bei vielen alten Bergstürzen sind die Ablagerungsformen, oft auch die Abrissgebiete, schon sehr gestört. Wildbäche haben ihren Schutt über den Ablagerungsgebieten abgesetzt oder dieselben zerschnitten, die Randwälle verschwemmt. Am wertvollsten für unsere Prüfung der Erscheinungen der Bergstürze sind natürlich die noch frischen Gestalten der jüngsten Ereignisse. Menschliche Kulturarbeit hat wohl noch niemals ein grosses Bergsturzgebiet so gründlich überwunden, wie es in Elm seit 1881 vollbracht worden ist. Vom flachen Trümmerstrom sieht man fast gar nichts mehr. Das Zerfallen der Schieferblöcke durch die Verwitterung hat die Arbeit begünstigt. Die Löcher wurden mit den Trümmern zerschlagener Blöcke gefüllt und die ausgeschürfte Ackererde über den Steinschutt gelegt. Unser Bild Fig. 17 und besonders Fig. 20 und 19 sind nach unmittelbarer Beobachtung kurz nach der Katastrophe hergestellt worden. Jetzt sieht es anders aus.

Wie jeder Strom, so passt sich auch der so plastische Trümmerstrom trotz seiner grenzenlosen Hast den Talformen an. In engem Tal läuft er als schmaler Strom; hinaustretend auf offenes Land breitet er sich rasch radial aus, und liefert dann einen vielfach gelappten Stirnrand, der der Bodenform genau angepasst ist. Sehr schön zeigt der Bergsturz von Goldau diese fächerige Ausbreitung. Dort wurde beobachtet, dass die vier Haupt-Radialstrahlen nicht genau gleichzeitig ihr Ende erreichten und eine gewisse Verschiedenheit hatten. Sehr schön ist die Fächerausbreitung beim Bergsturz von Frank (Canada) ausgebildet. Der Diableretstrom zeigt fächeriges Auseinandergehen seiner Schlieren in der Talausweitung von Derborence, worauf dann wieder Zusammenfassung in der Talenge auswärts folgt. Der Kernwaldbergsturz fährt in einem Fächer von 105° Weite vom Ausgangspunkte der Fahrbahnschlucht Lodi bei 810 m gegen WNW auseinander, Radius des Fächers = $2\frac{1}{2}$ km. Er stürzt dann an einer $3\frac{1}{2}$ km langen NW-Front noch über den Felsterrassenrand von 560 bis 600 m hinaus und hinab auf

den jetzt auf 460 m aufgefüllten Alluvialboden des Sarneraatales. In Gipfelwellen ragt er noch aus dem ihn mehr und mehr einschüttenden Schlierenschuttkegel heraus.

Als ausgezeichnete Beispiele für die fächerförmige Ausbreitung von Trümmerströmen in Talerweiterungen können uns gelten: Goldau, Frank, Diablerets in Derborence, Kernwald, Salez. Hierher gehört auch der von ED. RICHTER (Zeitschr. des D. und Oe. Alpenvereins) beschriebene Bergsturz im Salzachtal, etwa 4 km taleinwärts von Hallein:

Abrissgebiet westlich, linksseitig der Salzach, in Schrammbachschichten (untere Kreide), Schichtlage steil östlich einfallend, steiler als der Abhang. Höhe des deutlich nischenförmig ausgebildeten Abrissrandes 950 m. Neigung der Bahn im Abrissgebiet 45°, weiter unten abnehmend bis 20° zur Salzach. Sturzhöhe 400 m. Flache fächerförmige Ausbreitung jenseits (östlich) der Salzach. Schuttausbreitung über ca. 1 km², Fächer von 1200 bis 1500 m Radius auf völlig flachem Boden. Die Salzach nach der Regel dicht am Absturzfusse, die höckerige Ablagerung auf der anderen Seite. Volumen 3 bis 5 Millionen m³, Fahrböschung 10°. Vorhistorisch.

Strömung ohne Gefälle.

Das auf den ersten Blick Unbegreiflichste sind die erstarrten, ganz flachen Trümmerströme, wie Elm, Frank, Kandersteg, Bormio u. a. Eine Schuttmasse, aus Blöcken von bis zu vielen 100 bis über 1000 m³ Grösse, ist kilometerweit geschlossen, flach ausgebreitet über einem fast horizontalen Boden, der keine nennenswerte Böschung hat — oft nur ganz wenige Grade, oder gar noch rückläufig ist (Frank, Bormio im Stromzweig gegen W). Wie kann dieses Blockwerk sich auf diesem ebenen Talboden so ausgebreitet haben? Wasser, Schlamm-Muhrgänge könnten das nicht tun; und das Blockwerk ist trocken und war trocken! Könnten wir den flachen Untergrund mitsamt seinem Blockwerk bis auf 20 bis 30° schief stellen, so bliebe der Felschutt noch fest. Keine Nässe von Regen oder Schnee könnte ihn wieder in Bewegung setzen. Keine langsame Bewegung, kein Rutschen kann dies Trümmerwerk an seinen jetzigen Ort gebracht haben. Nur eine furchtbare Wurfbewegung war dies imstande. Es ist die Bewegung, welche der Absturz über ein steiles Berggehänge den Felsstrümmern eingeflösst hat, die sich wieder ausgeben musste, indem sie die Felsmasse nun aus ihrer Bahn über den unten liegenden Boden schleuderte. Was der Trümmerstrom an lebendiger Kraft erhalten hat, das muss er wieder abgeben, um stillestehen zu können.



Fig. 17. Flacher Blockstrom in Elm, 11. IX. 81.

Anordnung der Blöcke nach der Grösse.

Es besteht in diesen Schuttstromablagerungsgebieten im allgemeinen keine oder wenig Anordnung der Blöcke nach der Grösse. Bei langen Strömen erhält man hie und da den Eindruck, dass die Grösse talauswärts abnimmt. Die Ursache dafür muss wohl im Zerschlagen der Steine durch die Talfahrt und während derselben liegen. Manchmal findet man gar keine Regelmässigkeit in der Verteilung der Blockgrösse innerhalb eines bestimmten Blockstromes. Die Blockgrösse wird bestimmt: 1. von der Textur der abgebrochenen Felsen (Schieferung, Schichtung, Klüftung, Festigkeit, Zähigkeit, Sprödhheit); 2. Von der Fallhöhe; 3. Von der Gestalt der Fahrbahn, die grossen Einfluss auf die Art hat, wie die Blöcke unter sich zum Zusammenschlagen und zum Anschlag am anstehenden Fels gebracht worden sind.

Bei einigen Blockströmen fand ich die grossen Blöcke mehr gegen die Oberfläche, die kleiner brechenden Gesteinsarten erschienen als Unterlage. In Goldau konnte und kann man vielerorts sehen, dass vorherrschend oben das grosse Blockwerk, unten die ganz zerriebenen Molassemergel liegen. Diese haben ohne Zweifel für eine schlüpfrige, gute Fahrbahn gesorgt; oder sind sie erst nachher in die Tiefe, die Lücken füllend, eingespült worden?

Aufschürfen, Randwälle.

Die grossen Sturzströme haben an ihren Rändern, und das gilt besonders von den auf flachem Boden vorgedrungenen, untersten Teilen, niemals Streuung der Trümmer, niemals Spritzzonen. Der untere Rand und die seitlichen Ränder sind immer stark ausgeprägte geschlossene Dämme. Da stehen wir noch auf unverletztem Wiesen- grund oder Strassenboden und ein Schritt weiter steigt der Steinhaupte steil an zu 3, 5, 10 m Höhe. Eine Spritzzone, über den Trümmerstromrand greifend, findet sich nur da, wo kurz vorher ein Stromflug durch die Luft gegangen war (am Düniberg in Elm), dessen spritzende Steine den Trümmerstrom überflogen haben.

Diese höchst auffallende Erscheinung der scharfen Umrandung des Stroms hat wohl zweierlei Ursachen: Vor allem das Prinzip der gemeinsamen Bewegung („Solidarität“) der Trümmer. Sodann die Folge des Ausschürens von Wiesenboden, Ackerboden und vorgestossenen Trümmern aller Art. Wie ein Schneepflug den Schnee vor sich her aufstaut, so der Schuttstrom alles, was er vom Boden abzuschürfen vermochte. Dieses Ausschüfungsmaterial umrandet den Trümmerstrom wie eine grosse Randmoräne den Gletscher. Es kann

ihn sogar hemmen, bis an seiner Front die nachstossenden Trümmer die gehemmten übersteigen und überwälzen. In letzten Momenten sind schon solche Wälzbewegungen (an Stirnfronten von Trümmerströmen gesehen, oder nachher aus der Struktur der Front erkannt worden.

In diesen ausgeschürften Wällen findet man oft in Menge die Spuren der Übeltaten, die der Bergsturz begangen hat. Ein Trümmerstrom erzeugt keine verletzten und zu rettenden Menschen. Was er erfasst hat, ist augenblicklich in Fetzen zerrieben, was ein Meter ausserhalb blieb, ist unverletzt. Aber in den umrandenden Ausschürfungswällen liegen die Trümmer der vernichteten Häuser, die zum Teil noch erkennbaren Gegenstände ihrer Bewohner, die Fetzen von zermalmt Menschen und Tieren, alles durchknetet mit ausgeschürft Boden. Im Trümmerrand von Plurs fand man da einen Fuss, dort eine Hand oder einen zerquetschten Kopf. In Elm sind eine Anzahl von Gegenständen (z. B. mit Namen versehene Feldwerkzeuge) am äussersten Rande im unteren Teile des Ablagerungsgebietes gefunden worden, die im Keller, und ebenso solche, die im Dachboden der Häuser von Untertal, über 1 km weiter SE, aufbewahrt waren. Eine Strickleiter aus dem obersten Untertal, rechtsrandig des Trümmerstromes, eine ca. 1 m tief im Boden gelegene Wasserleitungsröhre, sind, 1400 m Stromweg davon entfernt, erstere bei Aeschen, letztere bei Müsli im Randschutt zum Vorschein gekommen. Die Arbeiten zur Wiederherstellung der Strasse und der Flussrinne haben eine grosse Menge solcher Funde gebracht. Verhältnismässig sehr selten sind Menschen aus diesen Randwalltrümmern lebend gerettet worden (Goldau etwa 6 Personen, Elm 2). Sie lagen aber nicht im Felsschutt, sondern am äussersten Rande eingeklemmt in den Trümmern von Häusern, Hecken, halb eingehüllt in Erde.

An einigen Orten, wo ich den Rändern von Bergsturztrümmerströmen nachging, stiess ich auf die Erscheinung, dass ein Stück weiter auswärts noch ein zweiter oder gar ein dritter Randwall folgte (Goldau, in Busingen und gegen den Lowerzersee [T Fig. 8], am West- und Südrande des Ablagerungsgebietes von Parpan). Die Entstehung davon ist mir noch nicht verständlich. Nur ganz provisorisch will ich sie doppelte Randwalle nennen. Vielleicht hat hier der Trümmerstrom zwei oder mehrere Brandungswellen geworfen.

Es würde viel zu lange, wollte ich alle derartigen Entdeckungen und Funde hier erzählen. Hauptsache für unser Suchen nach Verständnis der Trümmerströme ist der darin liegende volle Beweis, dass der Trümmerstrom im Talboden von Elm schon vom hintersten

Teil des Talbodens weg tief schürfend auf dem Boden eingeherefahren ist (und nicht oben durch die Luft geflogen kam, wie ROTHPLETZ behauptet hatte!).

Nicht nur im grossen schürft der Blockstrom die weiche Ackererde vor sich her. In Teilen des Ablagerungsgebietes, wo die Schuttaufhäufung nicht hoch ist, und wo in kleinerem Felschutt zerstreut ganz grosse Blöcke liegen, sah man vor der Urbarisierung, dass auf der Stoßseite jedes der sehr grossen Blöcke ein Wulst von vorgeschürfter Weicherde bis an die Oberfläche durchgebrochen ist. Im Trümmerstrom von Elm schob in der breitesten Partie und von dort talwärts jeder grosse Block seinen Erdwulst gegen N W vor sich her. Am Abhange des Düniberges, im Gebiete der Aufbrandung, hatten manche grosse Blöcke vorgeschürften Wiesengrund, dort aber, entsprechend der dortigen Bewegung, stets auf der Nordseite. Die gleiche Erscheinung haben auch MCCONNELL und R. W. BROCK im Trümmerstrom von Frank in ausgedehnter Masse gefunden.

In Elm war es der tiefgründige, tonige und sehr durchregnete Ackerboden, der für den dritten Teil der Bewegung die Unterlage in sehr ausgiebiger Weise schmierte. Die Mitte des Stromstriches war reicher an ganz grossen Blöcken. Aber auch randlich fanden sich stellenweise ganze Schlieren grosser Blöcke, oft in Reihen geordnet, mit Streifen von Ackerboden dazwischen. Blöcke von 50 bis 500 m³ waren fast überall gewöhnlich, solche von 500 bis über 1000 m³ selten. Der grösste, den wir messen konnten, hatte ca. 1260 m³. Über dem Untertal ist der Trümmerstrom 40—50 m hoch aufgeschüttet, von da gegen die NW gelegene Front nimmt seine Dicke ab und in den unteren Teilen betrug sie nur noch 2—5 m. Die Anordnung der Blöcke nach ihrer Grösse hängt vorherrschend ab von ihrer ursprünglichen und nachher fluidal verzogenen Anordnung aus dem Abrissgebiet.

Grossblöcke, anstehenden Fels vortäuschend.

Auch bei den grossen prähistorischen Bergstürzen treffen wir auf die Unregelmässigkeit in der Verteilung der Blöcke nach der Grösse, dagegen schlierenförmige Anordnung nach der Herkunft — der Gesteinsart. Bei den ganz grossen Schutthaufen findet man oft noch völlige Stücke des Gebirges als ungeheure Blöcke schwimmend in den Schutthaufen aus kleineren Gesteinsbrocken. Oft hat man solche Grossblöcke für anstehenden Fels gehalten und ihre Bergsturznatur erst ganz verkannt. Einige Beispiele hierüber:

In dem ungeheuren Bergsturzhaufen von Flims, der wohl zu 95% aus Malmkalk besteht, findet man an der Landstrasse zwischen Versam und Bonaduz und hinab zum Rhein, bei Türkenisla, Isla davoins, Malmkalkfelsen, deutlich geschichtet und über 100 m lang und 2 bis 20 m hoch, und z. T. so hintereinander gereiht, dass die Unterbrüche durch Wald nur als Lücken im Aufschluss erscheinen. THEOBALD hat nicht gewagt, diese Felsen zum Bergsturz zu rechnen, HARTUNG, ROTHPLETZ, BRÜGGER u. a. behaupteten, das sei anstehender Malmfels. Ich war erst auch unsicher und kletterte dann den Rändern dieser Felswände nach. An zahlreichen Stellen fand ich den Fels aufliegend auf der eckig splittrigen Kalksteinbreccie, die selbst in allen Lücken mit Bergsturzmehl durchsetzt ist. Die kleinen Stücke waren an der Unterseite der vermeintlich anstehenden Felsmasse mittelst Überzügen von Calcitsekretion angeklebt. Ganz so, wie zonenweise die meisten grösseren Breccienblöcke, zeigte sich auch der grosse Fels strichweise unter dem Hammer als schon innerlich zersplittert, und hier und da findet man grössere Bruchflächen konzentrisch gerippt („muschliger Bruch“). Das sind die Erscheinungen gewaltigen erlittenen Schlages. Schlaghiebe an den Blockflächen sind häufig. Überdies zeigte die gesamte geologische Untersuchung der Umgebung immer mehr, dass hier anstehender Malmfels gar nicht in den Gebirgsbau passen konnte. Die Felsfetzen schwimmen in der Bergsturzbreccie. Je grösser eine Sturzmasse war, desto eher konnten grosse Gesteinsfetzen darin transportiert werden, ohne ganz in Trümmer zu zerfallen, und bei einem Felschlipf wird das noch leichter möglich gewesen sein, als bei einem Fallsturz. Die grossen abgleitenden Schichtmassen wurden von den unterlagernden, kleineren, drehenden getragen, wie die Last eines Wagens auf dessen Rädern.

Alle mir bekannten anderen Grossblockmassen haben bescheidenere Dimensionen, als diejenigen in der Sturzbreccie von Flims, so die folgenden:

Auf Blatt IX, 1:100 000 der geologischen Karte des Schweiz, hat MÖSCH die Kalkbreccien beiderseits der Linth unterhalb Schwanden als anstehender oberer Malmkalk („Troskalk“) eingetragen. Innerhalb dieser Masse, ca. 200 m talauswärts von Schwanden, war an der Westseite der Strasse ein Kalksteinbruch angelegt. Dieser Kalkstein, etwa 130 m lang und 20 m hoch entblösst, war für ROTHPLETZ der Ausgangspunkt für seine Behauptung, das Linthtal sei ein Bruchgraben. Er behauptete, hier stehe der mit dem Bruche tiefer gesenkte Malmkalk an. Aber der Steinbruchbetrieb brachte es bald zu einer Erschöpfung dieser „Klippe von Troskalk“, und weitere Schürfungen rings um den Kalkfels und darunter zeigten deutlich, dass die Troskalkklippe nur ein grosser Block sei, schwimmend in der Bergsturzbreccie. Auch ringsherum war die echte Bergsturzbreccie vorherrschend oberer Malmkalk, aber damit gemischt fanden wir auch einige Blöcke von Schiltkalk, von Dogger Echinodermenbreccie, und endlich gar, nachsuchend in dem Steinbruch unter der Kalkwand, fand sich ein schöner eckiger Block von Nummulitenkalk. In einem späteren Stadium der Kalkausbeute beobachtete OBERHOLZER, dass z. T. dunkelbraune Schlieren einer feinen splittrigen Breccie, bestehend aus einem Gemisch von Malmkalksplintern und glaukonitischem Nummulitenkalk, den Troskalkblock umhüllten. Alles nur Breccie nach Bergsturzart, kein zusammenhängender Fels mehr! (Vergl. OBERHOLZER, „prähistorische Bergstürze in den Glarneralpen“ in „Beiträge“ Lfg. IX, neue Folge 1900).

Glarus liegt zwischen eigentümlichen kleinen Bergen. Die meisten derselben waren leicht als Reste grosser, später durch Erosion zerteilter Bergstürze zu erkennen. Nur einer dieser Hügel, der grösste, das sogenannte „Bergli“, an dessen

N- und E-Seite zusammenhängender Aufschluss durch Steinbruch, Malmkalk, WSW-ENE streichend und 53° N fallend zeigt, wurde von ARN. ESCHER und später auch von mir zuerst für anstehend gehalten. Aber seither — besonders durch die zusammenhängenden Untersuchungen von J. OBERHOLZER — hat sich ergeben, dass wir es auch im Bergli nur mit einem sehr grossen Block aus dem Bergsturz Glärnisch-Gleiter zu tun haben, der ringsum in Bergsturzbrecie liegt und auch von solcher unterteuft wird.

Der von ARBENZ zusammenhängend untersuchte und zuerst als Bergsturz erkannte Felshaufe von Gerschnialp über Engelberg bis Horbis und Obermatt war von uns lange verkannt worden. Er enthält so viele mächtige Bergfetzen, dass man ihn für etwas zerrütteten Fels hielt. Die starke Umgestaltung der äusseren Form, Eingraben der Talstufe Engelberg, überschütten mit Moränen, hatten die Bergsturznatur noch besonders verhüllt.

Die Tessinschlucht Biaschina, zwischen Lavorgo und Giornico, mit über 200 m Gefälle auf kaum $1\frac{1}{2}$ km Länge, wurde als durch Bergsturz erzeugte Talstufe erst erkannt durch den Bau eines Kraftwerkes, da der Stollenbau auf grosse Schwierigkeiten stiess. Es hatte keine rechte Voruntersuchung stattgefunden. Auch da kommen so grosse Gesteinsfetzen an der Oberfläche des Steinhügels vor, dass die Ingenieure denselben für anstehenden geschlossenen Fels gehalten hatten. Bei eingehender Voruntersuchung hätte man wohl eine viel sicherere Lösung finden können.

Gesteinsfolge im Trümmerstrom von Elm.

Der Trümmerstrom von Elm liess noch folgende Tatsachen festlegen: Von unten nach oben besteht das Tschingelberggehänge 1. vorherrschend aus Flyschsandsteinen mit Dachschiefer; 2. Darüber und darin bei ca. 1180 bis 1200 m folgen die dort ausgebeuteten feinen Clivageschiefer, ca. 30° bergewärts fallend; 3. Im Dach des Schieferbruches bis weit hinauf folgten die sogenannten „Blattengratschichten“, etwa 300 m mächtig. Bei etwa 1460 m Höhe finden sich einige dünne Bänke Assilengrünsand, darüber wieder „Wildschiefer“, und dann 4. bei 1520 bis 1530 m am „gelben Kopf“ und am Abrissrande folgt die Hauptmasse der glaukonitischen Assilinen- (Nummuliten-) Kalke, ca. 10 m mächtig. Im Trümmerstrom vom unteren Ende bis ins Untertal finden wir nun die entsprechende Ordnung der Felstrümmer, nicht etwa eine „überworfene“: die Gesteine Nr. 1 vorherrschend im untersten Teil des Trümmerstromes; Nr. 3 im Hauptteil zwischen Aeschen und Müsli; im Untertal nimmt Nr. 4 mächtig zu. Auf und zwischen diesen vom obersten Rande des Abbruchgebietes stammenden Blöcken lagen, vielfach zerschlagen und zersplittert, die mächtigen Tannestämme, die einst über dem Plattenbergkopf auf dem obersten Teile der Abrissnische stunden. Also: das oberste, hinterste im Abrissgebiete bildet auch den hintersten, zurückgebliebenen Teil des Trümmerstromes, und der unterste, also vorderste Teil im Abriss-

gebiete, die Flyschsandsteine, finden sich auch am häufigsten in dem am weitesten nach NW vorgefahrenen Teil des Trümmerstromes. Dazwischen die Hauptmasse der technisch unbrauchbaren „Wildschiefer.“ Die Strömung hat die Herkunftsfolge der Gesteine nicht verändert.

Es ist eine unrichtige Meinung, die man hie und da hört: die vom obersten Rand abstürzenden Blöcke müssten die an tieferen Stellen ausbrechenden überspringen und durch ihre grössere Absturzhöhe die vordersten werden. Das wäre richtig, wenn es sich um ein Dutzend einzelne Blöcke handeln würde. Wenn aber eine grosse Masse, zerfallend in tausende von Blöcken, im gleichen Momente in der gleichen Bahn zum Absturz gelangen, so tritt eben die einheitliche Strömung in Erscheinung. Der am höchsten abgelöste Block möchte der vorderste sein. Er eilt und schlägt auf einen etwas wenig unterhalb abgelösten, der ihm im Wege fährt. Gerade so viel lebendige Kraft, wie der erste mehr hat als der zweite, überträgt er durch seinen Zusammenstoss an den zweiten und verliert sie für sich selbst und bleibt zurück. Es bleibt dabei, er kann den zweiten nicht überholen. Tausend und tausendfältig wiederholt sich im Trümmerstrom diese Erscheinung. Kein Stein ist frei, sie sind alle im Schußstrom zu einer Einheit verbunden und müssen bei der Ordnung bleiben, in der sie in den gemeinsamen Sturm eingetreten sind. Das will aber durchaus nicht bedeuten, dass das Mehr von Fallkraft des von höher gefallenen Steines nun verloren gegangen sei. Es hat sich übertragen und überträgt sich weiter. Der ganze Leib des Sturzstromes ist erfüllt von lebendiger Kraft, zu der jeder Stein das Seinige vollauf beigetragen hat. Auf keine Art hätte er mehr wirken können.

Der Bergsturz als petrographisches Produkt, verglichen mit anderen Schuttbildungen.

Immer noch gibt es Fälle, wo infolge unzureichender Kenntnis oder Beobachtung verschiedene Arten von Schuttablagerungen verwechselt werden. Es ist notwendig, dieselben klar zu unterscheiden. Bergsturz, Gehängeschutt, Moränen, Bach- und Flußschutt, Dislokationsbreccien etc., sind scharf auseinanderzuhalten. Für unseren Zweck genügt es, die paar erstgenannten zu kennzeichnen. In dem herrlichen Buche „Geologie“ von E. Kayser, 6. Aufl., Seite 466, z. B. sind zwei echte Grundmoränengeschiebe, nach Schardt als „pseudoglacial aus dem Bergsturz von Bex“ stammend, abgebildet. Das sind aber keine Bergsturzkritzen, sondern Grundmoränenschrammen. Sie stammen wohl aus den dort reichlichen Grundmoränen, die in die Bergstürze mitgerissen worden sind. Zur Unterscheidung gehören allerdings noch Dinge, die dem geübten Auge sofort zur Entscheidung helfen, die aber schwierig in Worte zu fassen sind. Folgende kurze Charakteristik kann dienlich sein:

1. Bergsturz grosser Dimensionen.

Trümmernmaterial eckig, splittrig, wechsellvoll gegeneinander gestellt, oft Lücken zwischen den Trümmern. Das Zwischenmittel besteht in der Regel aus dem gleichen Material wie die Blöcke, aber zermalmt in eckige Splitter und Pulver (Staub, Mehl). Kein Sand, kein Ton. Grosse Trümmer oft mit Tendenz zur Zersplitterung. Auf ungeglätteten (unpolierten) Bruchflächen oft kurze, einzelne, oft gebogene, unregelmässige, grobe Hiebschrammen. Die Trümmer niemals glatt, poliert oder geschliffen, niemals gut gerundet, sondern eckig und kantig von Bruchflächen, hie und da mit „muschligem“ Bruch, begrenzt. Je gewaltiger der Bergsturz ist, desto fester und geschlossener ist die Gesteinsmehlverpackung zwischen den Gesteinsbrocken. Indessen kommt diese überhaupt nur bei Bergstürzen von Typus XIV und XV (den grossen Wurfströmen) vor. Sie fehlt allen Schleichströmen, teils weil die Zerreibung in Pulver nur ergiebig sein kann bei trockenem Material, teils weil in Pulver Zerriebenes bei den Schleichströmen meistens durch das Wasser weggeführt werden kann.

An jeder Stelle, manchmal durch den ganzen Bergsturz hindurch gilt: Vorherrschen nur einer bestimmten Gesteinsart. Allfällig verschiedene Gesteinsarten, sind meistens in schlierenförmige Schwärme oder Streifen geordnet, nur teilweise gemischt. Nur die Gesteinsarten der nahen Ausbruchsnische. Trümmer nie nach Grösse geschichtet. Blöcke aller Dimensionen, hie und da grosse, scheinbar anstehender Fels, aber in Trümmern schwimmend. Oberflächengestalt ein hügliges, hingeworfenes Haufwerk, oft von Form eines Stromes, mit scharfer Umgrenzung ohne Streuung. Brandungserscheinungen, flache Böschung der Rückenlinie — viel flacher als Schutthalden und Schuttkegel. Spritzzonen nur lokal und selten. Bergsturzhaufen sind meistens sehr wasserdurchlässig.

2. Gehängeschutt, Steinschlag, Steinlawinen, kleine Bergstürze.

Stücke nach Form und Herkunft wie bei den grossen Bergstürzen. Lagerung lockerer, fast kein Zermahlungspulver zwischen den Stücken, keine ausgeprägte Zersplitterungstextur, Schlagwunden mässig. Oberflächengestalt: Regelmässige Schuttkegel oder Schutthalden mit 20 bis 35°, höchstens 40° Böschung als maximale Aufschüttung. Aus den Steinschlagrinnen herauswachsend, Streuung der grossen Blöcke am unteren Rande, feineres Material an der Kegelspitze.

3. Moränen.

Trümmermaterial teils eckig, teils gerundet, gemischt in allen Abstufungen bei ein und derselben Gesteinsart. Die gerundeten Stücke zum Teil gut poliert und vielfach geschrammt, die eckigen nicht. Die Schrammen in die polierten Flächen eingegraben, ziemlich lang, gerade, oft etwas orientiert, oft von wechselnder Richtung. Die Trümmer sind aus allen verschiedenen Gesteinsarten der betreffenden Talseite oder des ganzen Tales zusammengesammelt, oft aus grosser Entfernung. Keine Anordnung nach der Grösse, meistens gar keine Schichtung. Zwischenmaterial vorherrschend tonig, hie und da auch sandig, oft ganz verschieden vom Gesteinsmaterial, oft an Masse vorherrschend über die Steine, so dass die polierten und geschrammten kleinen Steine im Tone dicht eingebettet sind: „béton glaciaire“. Blöcke selten bis 1000 m³. Die grossen meistens eckig und kantig, nicht poliert und nicht geschrammt; die polierten, gerundeten und geschrammten Blöcke sind meistens klein, selten bis 1 m³. Die ersteren stammen aus den Obermoränen, die letzteren aus den Grundmoränen. Sie mischen sich talabwärts am Rande und unter dem Gletscher. Äussere Form: Als Grundmoränen meistens flach ausgebreitet über Berg und Tal, als Obermoränen und Randmoränen wallförmig in Hügelzügen. Die Grundmoränen tonig, wasserundurchlässig.

Natürlich kann auch Bergsturzbreccie den Gletschern in ihre Bearbeitung fallen (Gletscherschliffe an den Blöcken des Toma patrusa bei Ems, und einigen am Bahneinschnitt bei Campagnia W Reichenau), oder Moränenmaterial in Bergstürze verwickelt werden. Es ist deshalb nie ein einzelner Block oder wenige Trümmer entscheidend, sondern der ganze Bergsturz oder die ganze Moräne.

4. Bach- und Flusskiese.

Die Ablagerungen der fließenden Wasser zeigen alle eine Ordnung nach der Grösse der Trümmer in Form von Schichtung. Abgesetzt aus dem fließenden Wasser ist die Schichtung flach — hineingespült in ein Seebecken wird sie schutthaldenartig. Zwischenmittel in Schichten oder zwischen den Geröllen feinerer Kies und Sand. Alle Geschiebe fließender Gewässer sind glatt, abgerundet, matt, niemals poliert, sie haben keine Schrammen. Ihre Flächen sind durch feine Schlagfiguren hell punktiert, keine tiefen Schlagwunden, aber manchmal Schlagringe. Mischung sämtlicher Gesteinsarten, die talaufwärts im Bach oder Flussgebiet vorkommen. Keine Anordnung nach der Herkunft (auch keine solche in Schlieren).

5. Dislokationsbreccien.

Sind entstanden durch tektonische Zerquetschung und Bewegung im anstehenden Gesteine, sind von Bergsturzbreccien zu unterscheiden, indem ihnen die Schlagwunden fehlen, Übergänge vom kompakten zum brecciösen Gestein zu verfolgen sind, und ebenso Übergänge vom brecciösen in das ganz zermahlene. Die Trümmer oft nur wenig gegeneinander verstellt, und im allgemeinen alle vom gleichen Gestein. Mischbreccien sind nicht ausgeschlossen. Lagerung nicht an freier Oberfläche, sondern im Gebirgsbau eingeschlossen, häufig von Rutschspiegeln (innere Verschiebung unter Druck) durchsetzt.

Für grosse Bergstürze sind also, im Gegensatz zu den anderen Schuttablagerungen, am bezeichnendsten: Strichweise Einförmigkeit des Materiales, Zersplitterungstextur, Zermalmungsstaub, keine Rundung, eckige Stücke mit Bruchflächen, keine Politur an den Stücken, kein Sand, kein Lehm als Zwischenmittel. Die ungeheure Zermahlung der Gesteine zu trockenem Steinmehl oder Staub, der die ganze Breccie durchsetzt, ist eine Erscheinung, die ganz nur den grossen Bergstürzen angehört.

Von Augenzeugen Gesehenes.

Die bisher aus der Beschaffenheit und Lagerung der Ablagerungsgebiete grosser Felsstürze erkannten Erscheinungen dieser ungeheuren Bewegungen sind zum grössten Teil schon von Augenzeugen verschiedener solcher Ereignisse unmittelbar gesehen worden. Meistens freilich sind die Überlieferungen solcher Beobachtungen sehr spärlich.

Ziemlich reichlich und völlig zuverlässig sind die Feststellungen und Niederschriften der Augenzeugenaussagen über den Bergsturz von Goldau durch DR. ZAY (Arth), („Goldau und seine Umgebung . . .“, Zürich 1807) und noch vollständiger diejenigen, welche Pfarrer BUSS in Glarus, Lehrer WYSS und ich über den Bergsturz von Elm gesammelt haben. Wir wollen diese Aussagen nicht wiederholen. Sie finden sich zum grossen Teil abgedruckt in: BUSS und HEIM, „Der Bergsturz von Elm“, Denkschrift, Zürich 1881, und in ALB. HEIM: „Der Bergsturz von Elm“, Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 1882. Wir wollen sie hier nur kurz in ihren Hauptergebnissen aufführen:

In Goldau wurden Vorzeichen beachtet (davon später noch näheres). Der Bergsturz war seit 30 Jahren vorausgesehen, seit einigen Tagen in Nähe erwartet. Man beobachtete das Öffnen der Felsrisse, das Abgleiten und Stürzen vieler Steine den ganzen Tag. Abends nach 4 Uhr wurde die Bewegung im Abrissgebiet lebhafter. Ganze Stücke kamen erst in langsames Gleiten; nach wenigen Minuten der Beschleunigung in lebhaftes, wildes Durcheinander-